



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

“Diseño de un sistema de control automatizado para incrementar la capacidad de lavado de jabas en una planta de procesamiento industrial en Lambayeque”

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Investigadores:

Bach. Jonathan Benjamín Huamán Rivera

Bach. Fressia Rosina Sucuple Chavez

Asesor:

Mtro. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo
ORCID: 0000-0003-0272-9375

LAMBAYEQUE – PERÚ

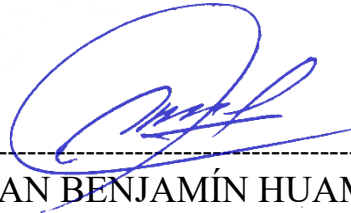
2026

“Diseño de un sistema de control automatizado para incrementar la capacidad de lavado de jabs en una planta de procesamiento industrial en Lambayeque”

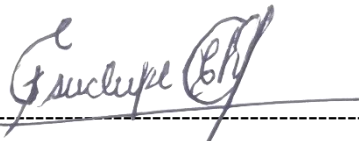
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

Presentada por:

AUTOR:



BACH. JONATHAN BENJAMÍN HUAMÁN RIVERA



BACH. FRESSIA ROSINA SUCUPLE CHAVEZ

ASESOR:



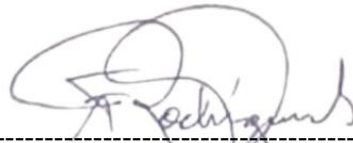
MTRO. ING. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO

TESIS

“Diseño de un sistema de control automatizado para incrementar la capacidad de lavado de jabs en una planta de procesamiento industrial en Lambayeque”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

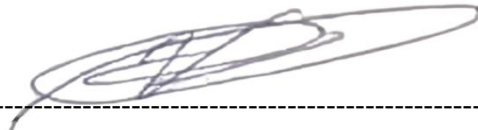
Aprobada por el jurado siguiente:



Dr. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
PRESIDENTE



MG. ING. MARTIN AUGUSTO NOMBERA LOSSIO
SECRETARIO



MG. ING. OSCAR UCHELLEY ROMERO CORTEZ
VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

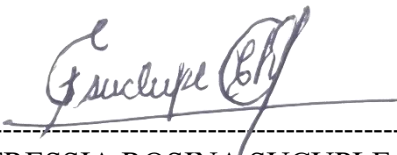
Yo, **Jonathan Benjamín Huamán Rivera** y **Fressia Rosina Sucuple Chavez**, investigadores principales, y el **Mg. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo** asesor de nuestro trabajo de investigación denominado **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE LAVADO DE JABAS EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO INDUSTRIAL EN LAMBAYEQUE”**, declaramos que este trabajo no está plagiado y no contiene información falsa. Si se determina lo contrario, responsablemente cancelaremos este informe y procederemos a los trámites administrativos necesarios. Esto podrá dar lugar a la revocación de cualquier título o grado obtenido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 31 de julio del 2025.

AUTOR:



BACH. JONATHAN BENJAMÍN HUAMÁN RIVERA



BACH. FRESSIA ROSINA SUCUPLE CHAVEZ

ASESOR:



MTRO. ING. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO



Ciudad Universitaria – Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 20.-2026.-D/FACFyM

Siendo las 11:00 am del día 20 de febrero del 2026 se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Diseño de un sistema de control automatizado para incrementar la capacidad de lavado de jabas en una planta de procesamiento industrial en Lambayeque

Designados por Resolución N° 577-2025 D/FACFyM de fecha 20 junio de 2025

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

- | | |
|--|------------|
| <u>Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos</u> | Presidente |
| <u>Mg. Ing. Martín Augusto Namberra Lossio</u> | Secretario |
| <u>Dr. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez</u> | Vocal |

La tesis fue asesorada por (el) (la) Dr. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera, nombrado por Resolución N° 577-2025 D/FACFyM de fecha 20 junio de 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 052-2026 D/FACFyM de fecha 22 de enero de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Huamán Rivera Jonathan Benjamin y Soclope Chavez Fressia Rosina y tuvo una duración de 43 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de Dieciséis (16) en la escala vigesimal, mención (Buena).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:10 p.m. se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
Presidente

Mg. Ing. Martín Augusto Namberra Lossio
Secretario

DR. ING. OSCAR UCHELLY ROMERO CORTEZ
Vocal

DR. ING. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA
Asesor

CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS

(Aprobado con Res N° 095-2020-D)

Yo, Carlos Leonardo Oblitas Vera, Asesor de tesis de: Bach. Huamán Rivera Jonathan Benjamín y Bach. Sucuple Chavez Fressia Rosina, Titulada: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE LAVADO DE JABAS EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO INDUSTRIAL EN LAMBAYEQUE”**, luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 10% verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizo dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender de la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 17 de noviembre de 2025.



Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera

Asesor

DNI 03701836

Adj.

1. Recibo Digital Turnitin firmado.
2. Vista actual con Informe de Originalidad Turnitin firmados.
3. Archivo procesado en Turnitin: INFORME FINAL DE TESIS_ Jonathan Huaman y Fressia Suclupe.docx





Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jonathan Benjamín Huamán Rivera / Fressia Rosina Sucuple C...
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA I...
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS__Jonathan_Huaman_y_Fressia_Sucl...
Tamaño del archivo: 7.46M
Total páginas: 98
Total de palabras: 11,369
Total de caracteres: 65,345
Fecha de entrega: 17-nov-2025 10:05p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2819026581

 UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA 

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE LAVADO DE JABAS EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO INDUSTRIAL EN LAMBAYEQUE”

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Investigadores:

Bach. Jonathan Benjamín Huamán Rivera

Bach. Fressia Rosina Sucuple Chavez

Asesor:

Mtro. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo

LAMBAYEQUE – PERÚ
2025



Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Asesor
DNI 03701836

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE LAVADO DE JABAS EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO INDUSTRIAL EN LAMBAYEQUE

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1%
3	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
5	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.iksadamerica.org Fuente de Internet	<1%

Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Asesor
DNI 03701836

9	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
13	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
14	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
15	mall.industry.siemens.com Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui Trabajo del estudiante	<1 %
17	cienciadigital.org Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %



20	www.fund-cenit.org.ar Fuente de Internet	<1 %
21	1library.co Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositoriotec.tec.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
24	www.theinsightpartners.com Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac Trabajo del estudiante	<1 %
26	doku.pub Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Mtro. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Asesor
DNI 03701836

DEDICATORIA

Jonathan Benjamín Huamán Rivera

Bach. Ingeniería Electrónica

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento a mis padres, Benjamín Huaman y Silvia Rivera, por ser el cimiento de mi vida y por haber creído en mi camino profesional desde el primer día. Gracias por enseñarme que con perseverancia los sueños se alcanzan; este logro es tanto suyo como mío. Agradezco a mi compañera de Vida, Isabel Neyra, por su paciencia, su apoyo constante y por ser mi refugio en los momentos difíciles. A mi hijo Gareth Benjamín, cuya llegada transformo mi mundo y me dio el impulso necesario para no rendirme nunca. Ustedes dos han sido el motor que renovó mis fuerzas y el motivo más fuerte para encontrar soluciones donde solo había dudas. Todo este esfuerzo está dedicado a ustedes, mi mayor tesoro.

Fressia Rosina Sucuple Chávez

Bach. Ingeniería Electrónica

Dedico esta tesis principalmente a Dios que ha sido fuente de mi fortaleza, sabiduría, fuerza y para superar cada desafío. A mis hijos mis pilares fundamentales, mi mayor fuente de inspiración y la razón de todo mi esfuerzo vale la pena, que cada paso que doy es por ustedes para asegurarles un futuro lleno de amor, oportunidades, esperanza y ser un ejemplo para ustedes. Gracias por ser mi hogar, mi fuerza y mi mayor motivación. Gracias a mis padres por ser mi sostén, mi ejemplo de esfuerzo, constancia porque esto no hubiera sido posible sin ustedes por haber confiado en mí y por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera. A mi abuelita Francisca por brindarme su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona. A mi familia por su apoyo incondicional, motivación y aliento constante.

ÍNDICE GENERAL

INFORMACIÓN GENERAL	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1 Síntesis de la situación problemática.	14
1.2 Formulación del problema de investigación.	16
1.3 Hipótesis.	16
1.4 Objetivos.	17
1.4.1 Objetivo general	17
1.4.2 Objetivos específicos	17
CAPITULO II: DISEÑO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes	18
2.1.1 Antecedentes Internacionales.	18
2.1.2 Antecedentes Nacionales.	19
2.1.3 Antecedentes Locales.	20
2.2 Bases teóricas	21
2.2.1 Automatización de Procesos Industriales.	21
2.2.2 Control de Calidad en la Industria Alimentaria	22
2.2.3 Optimización de Recursos en la Industria Agroalimentaria.	22
2.2.4 Máquinas para el arándano.	23
2.2.5 Características del Arándano.	23
2.3 Bases Conceptuales	24
CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	27
3.1 Procedimiento a seguir en la investigación para probar hipótesis	27
3.2 Población y muestra	28
3.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	28

CAPITULO IV: RESULTADO	30
4.1 Diagnosticar la situación actual del proceso de lavado de jabas.	30
4.2 Seleccionar las máquinas y equipos de automatización.	34
4.3 Desarrollar la lógica de control para el sistema automatizado.	51
4.3.1 Propuestas de solución.	51
4.3.2 Definición de Variables.	52
4.3.3 Modelamiento de Tablero.	53
4.3.4 Diagramas Eléctricos.	55
4.3.5 Filosofía de Control.	58
4.3.6 Código de Programación.	59
4.4 Simular el sistema automatizado desarrollado.	63
4.5 Análisis de Resultados	69
4.6 Evaluación de los resultados.	71
4.6.1 Diagnosticar la situación actual del proceso de lavado de jabas en el arándano.	71
4.6.2 Seleccionar las máquinas y equipos de automatización.	71
4.6.3 Desarrollar la lógica de control para el sistema automatizado.	71
4.6.4 Simular el sistema automatizado desarrollado.	72
4.7 Discusión de los resultados.	73
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	77
ANEXOS	79
ANEXO 1	80
1.1 Imágenes de campo del equipo.	80
ANEXO 2	82
2.1 Diagramas Eléctricos.	82
ANEXO 3	93
3.1 Código de Programación.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Diseño de contrastación de hipótesis.	27
Figura 2 - Proceso de Lavado de Jabas Manual.....	32
Figura 3 - Pilado de Jabas limpias.	33
Figura 4 - Isométrico lavadora de jabas.	35
Figura 5 - Sistema de recirculación de Agua.	36
Figura 6 - Boquillas de Presión.....	36
Figura 7 - Ubicación de sensores de nivel.	37
Figura 8 - Tabla de interruptores.	41
Figura 9 - Interruptor General.....	41
Figura 10 - Tabla de Selección de guardamotores.....	43
Figura 11 - Guardamotor.	43
Figura 12 - Tabla de selección arrancadores.....	45
Figura 13 - Arrancador Suave.....	46
Figura 14 - Tabla de selección Variadores.	48
Figura 15 - Variador de Velocidad.	49
Figura 16 - Diseño del Tablero eléctrico.	53
Figura 17 - Vista isométrica del Tablero.	55
Figura 18 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Fuerza.....	56
Figura 19 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Fuerza electrobombas.	56
Figura 20 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Fuerza Variador cadena.	57
Figura 21 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Control PLC.	57

Figura 22 - Interfaz machine expert.....	59
Figura 23 - Bloque de programación.	60
Figura 24 - Bloque de Programación automático.	61
Figura 25 - Bloque de programación manual.	62
Figura 26 - Bloque de comunicación HMI.	63
Figura 27 - HMI condiciones iniciales.....	64
Figura 28 - HMI simulación en automático.....	65
Figura 29 - HMI Simulación manual.....	66
Figura 30 - HMI simulación de alarmas.	67
Figura 31 - HMI monitoreo de señales.	68
Figura 32 - HMI velocidad de variador.	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Definición de Variables.....	24
Tabla 2 - Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.	28
Tabla 3 - Potencia Total del equipo.....	37
Tabla 4 - Dispositivos de Fuerza.....	49
Tabla 5 - Dispositivos de Control.....	50
Tabla 6 - Variables de entrada y salidas.....	52
Tabla 7 - Comparativo Proceso de Lavado.....	69
Tabla 8 - Evaluación Económica del Proyecto (VAN y TIR)	70

INFORMACIÓN GENERAL

- ***Título***

Diseño de un sistema de control automatizado para incrementar la capacidad de lavado de jabas en una planta de procesamiento industrial en Lambayeque.

- ***Autores***

Bach. Jonathan Benjamín Huamán Rivera.

Bach. Fressia Rosina Sucuple Chavez

- ***Asesor de especialidad***

Mtro. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo.

- ***Línea de investigación***

Ingenierías y tecnologías.

- ***Lugar***

Agroindustria Lambayeque.

- ***Duración estimada del proyecto***

Fecha de inicio: junio de 2025.

Fecha de finalización: septiembre de 2025.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito diseñar un sistema de control automatizado para optimizar el proceso de lavado, enjuague y desinfección de jabas en una planta de procesamiento industrial de arándanos ubicada en Lambayeque. Actualmente, el proceso se realiza de manera manual, lo cual genera ineficiencias en la producción, alto consumo de recursos, riesgos laborales y variabilidad en la calidad del lavado.

El sistema propuesto integra tecnologías de automatización mediante un controlador lógico programable (PLC), una interfaz HMI y sensores de nivel, permitiendo un control preciso y seguro de cada etapa. La lógica de control fue desarrollada en el software *EcoStruxure Machine Expert* y validada mediante simulación, demostrando mejoras significativas en productividad, ahorro energético y uniformidad del proceso.

Los resultados evidencian que la automatización del lavado de jabas incrementa la capacidad operativa, reduce costos y asegura el cumplimiento de los estándares de calidad e inocuidad exigidos por la industria agroexportadora. Se concluye que el diseño propuesto es técnica y económicamente viable, representando una solución eficiente y sostenible para el sector agroindustrial de Lambayeque.

Palabras claves: Automatización, control industrial, arándano, eficiencia, lavado de jabas.

ABSTRACT

This research project aims to design an automated control system to optimize the washing, rinsing, and disinfection process of crates at an industrial blueberry processing plant located in Lambayeque, Peru. Currently, the process is performed manually, resulting in production inefficiencies, high resource consumption, occupational hazards, and variability in washing quality.

The proposed system integrates automation technologies using a programmable logic controller (PLC), an HMI interface, and level sensors, enabling precise and safe control of each stage. The control logic was developed using EcoStruxure Machine Expert software and validated through simulation, demonstrating significant improvements in productivity, energy savings, and process uniformity.

The results show that automating crate washing increases operational capacity, reduces costs, and ensures compliance with the quality and safety standards required by the agro-export industry. It is concluded that the proposed design is technically and economically viable, representing an efficient and sustainable solution for the Lambayeque agro-industrial sector.

Keywords: Automation, industrial control, blueberry, efficiency, crate washing

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Síntesis de la situación problemática.

En la actualidad, las Agroindustrias de procesamiento de arándanos ubicada en Lambayeque enfrenta un problema crítico relacionado con la eficiencia operativa del proceso de lavado de las jabas de arándano. Este proceso, que es una de las etapas más importantes dentro de la línea de producción, se realiza de manera manual y consiste en que los operarios sumergen las jabas en tinas llenas de agua y escobillas para proceder a limpiarlas. Si bien este enfoque ha sido funcional en etapas iniciales de la planta, presenta una serie de limitaciones que afectan directamente la productividad, la calidad del producto y los costos operativos de la planta.

A. Ineficiencia en el Uso de Mano de Obra

El proceso manual demanda una gran cantidad de mano de obra, ya que se requiere que los operarios manipulen las jabas repetidamente, lo que consume tiempo y esfuerzo físico. Cada ciclo de lavado es lento, lo que limita la cantidad de jabas que se pueden procesar en un determinado tiempo. Esto repercute directamente en la capacidad de producción de la planta, que no puede satisfacer de manera eficiente la creciente demanda del mercado de arándano. La dependencia de un número elevado de operarios aumenta los costos laborales, lo que reduce la competitividad de la planta frente a otras industrias que ya han automatizado sus procesos.

B. Baja Eficiencia en la Gestión de Recursos

El proceso manual de lavado no permite una optimización adecuada de los recursos como el agua, energía y detergentes. Dado que los operarios no cuentan con un control preciso sobre el flujo

de agua o los tiempos de inmersión, a menudo se desperdician grandes cantidades de estos recursos. Esta falta de automatización también impide una correcta regulación de las variables operativas, lo que genera una alta variabilidad en la calidad del lavado y desinfección, afectando la consistencia del producto final.

C. Riesgos en la Calidad del Producto Final

El control de calidad en el proceso manual es más susceptible a errores humanos, como la limpieza inadecuada de las jabas o también la exposición de los arándanos a contaminantes por tiempos excesivos de lavado. Además, los cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura del agua, no pueden ser regulados de manera efectiva si no se tiene un sistema automatizado. La falta de consistencia en el proceso de lavado puede derivar en productos finales de menor calidad, lo que pone en riesgo el cumplimiento de los estándares de seguridad alimentaria que exigen los organismos reguladores nacionales e internacionales. Esto es crucial, ya que el arándano es un producto exportable y cualquier incumplimiento en los estándares de calidad puede resultar en rechazos de lotes en los mercados internacionales.

D. Falta de Flexibilidad y Escalabilidad

La dependencia de un proceso manual también limita la flexibilidad y también la escalabilidad de la planta. En períodos de alta demanda, la capacidad que tienen los operarios es insuficiente para cubrir el volumen necesario de jabas para el lavado, lo que genera retrasos en el proceso de producción y también reduce la eficiencia global de la planta. Además, la expansión o mejora de la planta para poder aumentar la producción se ve restringida por la disponibilidad de mano de obra calificada, lo cual representa una barrera significativa para el crecimiento del negocio.

E. Desventajas Económicas y Competitivas

Los costos operativos asociados con la mano de obra manual son considerables. Además de los salarios, la planta incurre en otros gastos relacionados con la capacitación de los operarios, la supervisión del proceso y el riesgo de posibles accidentes laborales. La falta de un sistema automatizado también aumenta el consumo de recursos como agua y energía, lo que eleva los costos de operación. En este contexto, la planta enfrenta desafíos económicos adicionales al competir con otras industrias más avanzadas tecnológicamente, que ya han implementado soluciones de automatización para optimizar sus procesos.

1.2 Formulación del problema de investigación.

¿Cómo diseñar un sistema de control automatizado para el proceso de lavado, enjuague y desinfección de jabas de arándano en una planta de procesamiento en Lambayeque?

1.3 Hipótesis.

Si se diseña un sistema de control automatizado para el proceso de lavado, enjuague y desinfección de jabas de arándano en la planta de procesamiento de Lambayeque, entonces se logrará mejorar la eficiencia operativa del proceso, incrementando la capacidad de producción, reduciendo los costos de operación y garantizando la calidad e inocuidad del producto final.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de control automatizado para el proceso de lavado, enjuague y desinfección de jabas de arándano en una planta de procesamiento en Lambayeque, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa, incrementar la capacidad de producción y garantizar la calidad e inocuidad del proceso, mediante la aplicación de tecnologías de automatización industrial.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la situación actual del proceso de lavado, enjuague y desinfección de jabas de arándano en la planta de procesamiento de Lambayeque, identificando sus limitaciones y oportunidades de mejora.
- Seleccionar los equipos, sensores y dispositivos de automatización adecuados para cada etapa del proceso, considerando criterios de eficiencia, compatibilidad y seguridad industrial.
- Diseñar la arquitectura del sistema de control automatizado, incluyendo el desarrollo de la lógica de funcionamiento, los diagramas eléctricos y la programación del PLC y HMI.
- Simular el funcionamiento del sistema automatizado propuesto mediante software especializado, con el fin de verificar la secuencia de control, seguridad operativa y desempeño general.
- Evaluar los resultados obtenidos de la simulación, determinando las mejoras alcanzadas en la eficiencia, capacidad de producción y control de calidad del proceso de lavado de jabas.

CAPITULO II: DISEÑO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales.

A nivel internacional, (Sánchez et al., 2020) Este estudio en "Automatización del proceso de lavado de frutas en la industria alimentaria" analiza la implementación de sistemas automatizados para el lavado y desinfección de productos frescos en plantas procesadoras de frutas, particularmente en la industria de frutas tropicales. Se diseñó un sistema automatizado que controlaba el flujo de agua, la temperatura y el tiempo de exposición para garantizar una limpieza uniforme y una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Los resultados mostraron una mejora significativa en la capacidad de procesamiento y también una reducción del desperdicio de agua y detergentes, lo que permitió tener una reducción en los costos operativos y también un aumento en la calidad del producto final. Además, el proceso automatizado permitió mejorar la seguridad alimentaria, al controlar de manera más precisa los parámetros que se necesitan para la desinfección.

A nivel internacional, (Smith et al., 2019) realizaron este estudio sobre un "Sistema de automatización en el procesamiento de berries (arándano, mora)" en Estados Unidos, donde se desarrolló un sistema de control automatizado para la clasificación, lavado y también empaquetado de berries (arándanos, frambuesas y moras). El sistema incluyó robots y también sensores para automatizar las fases de lavado y clasificación, controlando el tiempo de inmersión de las frutas, la temperatura del agua y también los niveles de desinfectante. El sistema no solo aumentó la capacidad de procesamiento, sino que también mejoró la uniformidad del lavado, lo que resultó en

un producto final con mayor calidad y también vida útil. Además, se destacó la reducción de la necesidad de mano de obra y también el ahorro de recursos (agua, energía, productos químicos).

2.1.2 Antecedentes Nacionales.

A nivel nacional, (Gómez et al., 2021) En este estudio de "Automatización en la industria agroalimentaria en el Perú" se aborda la implementación de sistemas automatizados en diversas etapas del proceso agroindustrial, enfocándose en el tratamiento y también lavado de frutas en plantas procesadoras peruanas. En particular, se analizó la automatización del proceso de lavado de uvas y también cítricos en una planta que está en la región de Ica. El sistema que se propuso incluía la automatización del flujo de agua, el control de la temperatura y también la gestión de detergentes, lo que mejoró la eficiencia del proceso y también redujo el desperdicio de recursos. La automatización permitió una reducción de costos operativos y un aumento en la capacidad de producción, lo que permitió a la planta cumplir con los estándares internacionales de calidad. Además, el sistema integrado ayudó a mejorar la seguridad alimentaria, garantizando un proceso de lavado más uniforme.

A nivel nacional, (Sánchez y Rodríguez, 2022) En este estudio de una "Implementación de automatización en el proceso de lavado de frutas en Lambayeque" se analiza la implementación de un sistema automatizado de lavado y desinfección en una planta procesadora de mango en Lambayeque, región productora clave de frutas en el Perú. El sistema automatizado consistió en una línea de lavado con control de tiempo, temperatura del agua y dosificación de productos desinfectantes, lo que permitió optimizar el uso de recursos como el agua y los detergentes. La planta experimentó una mejora en la eficiencia operativa y una reducción significativa en los costos

laborales, al disminuir la cantidad de operarios necesarios para la ejecución de esta tarea. El sistema también permitió aumentar la capacidad de producción sin comprometer la calidad de los productos finales, logrando un lavado más uniforme y controlado, lo que cumplió con los estándares de exportación.

2.1.3 Antecedentes Locales.

A nivel local, (Flores & Julca, 2023) llevó a cabo un estudio titulado “Diseño de una máquina automatizada armadora de canastillas plásticas para el proceso de empacado de fruta en planta procesadora agrícola Cerro Prieto s.a.”. El objetivo general de esta investigación fue diseñar una Máquina Automatizada armadora de canastillas plásticas para el proceso de empacado de fruta en la planta procesadora Agrícola Cerro Prieto S.A. Este estudio tiene un significativo con el fin de mejorar la producción y reducir costos en el proceso de empacado de frutas como Palta Hass y Uva de Mesa. Se identificó un cuello de botella en la etapa de abastecimiento de canastillas, que se realizaba manualmente, causando retrasos y sobrecostos. La nueva máquina, que puede ser operada por un solo operador, utilizará componentes aptos para el contacto con alimentos y será controlada por un PLC y otros dispositivos. Se evaluará su impacto en la productividad y costos 10 después de su implementación. Esta investigación concluye en reducir el tiempo de armado en un 45% comparado con el proceso manual, eliminando problemas como ausencias y distracciones del personal. Se planea operar en doble turno para maximizar la producción. La inversión en tres máquinas es accesible, y se prevé recuperar el 80% de la inversión en el primer año y el 20% en el segundo, generando ganancias a partir de entonces, con costos de mantenimiento controlados.

Así mismo a nivel local, (Ruiz, 2024) realizó un estudio titulado “Implementación de un Proyecto Piloto para la Automatización del Proceso de Cosecha de Arándano del Negocio de Congelado

para Mejorar la Productividad y Competitividad en la Empresa Camposol S.A. - Virú". El objetivo de esta investigación es demostrar que la automatización del proceso de cosecha de arándano para el negocio de congelado puede mejorar significativamente tanto la productividad como la competitividad de la empresa Camposol S.A. - Virú. Este estudio pone de manifiesto la efectividad de la automatización en la cosecha de arándanos, un aspecto crucial dado que Camposol, líder en agroexportaciones, enfrenta el reto de la escasez de mano de obra. La implementación del proyecto piloto ha sido exitosa, logrando reducir los días de precosecha de 41 a solo 7 en tres ciclos de cosecha con maquinaria. Esto asegura además el cumplimiento de los estándares de contacto con alimentos mediante el uso de un PLC y también otros dispositivos de control. Los resultados de la automatización son sobresalientes: la productividad aumentó de 2.25 kg/hora a 590.5 kg/hora, lo que representa un asombroso incremento del 26143%. Asimismo, el costo por kilogramo disminuyó de \$1.356 a \$0.152. Con un Valor Actual Neto Esperado (VANE) de \$623,354.73 y también una Tasa Interna de Retorno (TIRE) del 62.39%, el proyecto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también se muestra económicamente viable, generando un valor significativo para la empresa.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Automatización de Procesos Industriales.

La automatización de procesos industriales se refiere a la aplicación de tecnologías y sistemas de control que permiten la realización de tareas sin intervención humana directa, optimizando tiempos y recursos. Esta teoría sostiene que la automatización no solo aumenta la capacidad de producción, sino que también mejora la precisión de las operaciones, reduce errores humanos y mejora la

calidad del producto final. En el contexto del lavado de jabs de arándano, la automatización puede implicar el uso de sensores, actuadores, y sistemas de control que supervisen el proceso de lavado de manera más eficiente y uniforme que el proceso manual. (Koren, Y, 2010).

2.2.2 Control de Calidad en la Industria Alimentaria

El control de calidad es fundamental en la industria alimentaria para garantizar que los productos cumplan con los estándares de seguridad alimentaria y calidad. En el proceso de lavado de arándanos, es importante controlar variables como la temperatura del agua, el tiempo de exposición y la dosificación de desinfectantes para asegurar un lavado eficiente y uniforme. El uso de un sistema automatizado permite un monitoreo más preciso y constante de estos parámetros, lo que puede mejorar la seguridad e higiene del producto final, reduciendo riesgos de contaminación. (Kader A. A, 2005)

2.2.3 Optimización de Recursos en la Industria Agroalimentaria.

La optimización de recursos en la agroindustria busca reducir el uso innecesario de agua, energía y productos químicos durante los procesos de producción. En el caso del lavado de jabs de arándano, un sistema automatizado puede permitir una distribución controlada de estos recursos, asegurando que solo se utilicen en la cantidad necesaria para obtener los mejores resultados. Esta teoría establece que, al integrar tecnología en los procesos, es posible mejorar la sostenibilidad del proceso y reducir los costos operativos. (Batres, M., & García, M., 2017).

2.2.4 Máquinas para el arándano.

El calibrador Berryway representa un avance significativo en la clasificación y también envasado de frutos, diseñado para minimizar el impacto durante el proceso, lo que ayuda a conservar la pruina y también la frescura del producto final. Este sistema se complementa con Berryscan e Insight, que son herramientas de análisis que garantizan una alta precisión en la detección de defectos y también en la evaluación de la calidad global de los frutos. En cuanto al análisis de calidad, los sistemas de clasificación emplean cámaras multiespectrales para identificar una variedad de defectos, como heridas frescas, blanduras y también daños por insectos, así como para medir la firmeza y también los niveles de azúcar (BRIX). Esta capacidad de análisis que tiene permite ofrecer un producto final de mayor calidad, lo que mejora la experiencia del consumidor y también facilita el posicionamiento de productos en el mercado como opciones premium. Respecto a la automatización y sostenibilidad, la automatización no solo se limita al calibrado, sino que también incluye soluciones de envasado que cumplen con normativas de reducción de plástico. El Grupo MAF RODA presenta llenadoras y también pesadoras versátiles que permiten a los almacenes adaptarse a la demanda de manera eficiente, lo que contribuye a una industria más sostenible (Maf Roda, 2023).

2.2.5 Características del Arándano.

El arándano es una planta recientemente domesticada que ha visto un aumento significativo en su cultivo debido a la alta demanda por sus propiedades nutritivas y organolépticas. Este arbusto, con una vida productiva de más de 20 años, incluye variedades como highbush, lowbush y ojo de conejo, siendo la primera la más común. Su cultivo se ha expandido en países como México, donde su proximidad al mercado estadounidense y condiciones climáticas favorables han impulsado su rentabilidad. El arándano requiere un clima con entre 400 y 1200 horas de frío y se adapta a suelos

arenosos con un pH entre 4.5 y 5.5. Su sistema radicular es superficial y se beneficia de micorrizas, pero es sensible a la asfixia radicular. Condiciones climáticas adecuadas, como veranos soleados, mejoran la calidad de la fruta, mientras que el exceso de calor puede concentrar la cosecha y afectar la producción escalonada. Evitar vientos y lluvias fuertes es crucial para prevenir daños en frutos y flores. (Intagri, 2017).

2.3 Bases Conceptuales

En el proyecto se presentan las siguientes variables:

Variable Independiente: Diseño e implementación del sistema de control automatizado.

Variable dependiente: Resultados del proceso de lavado.

Tabla 1 - Definición de Variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Instrumento
Diseño e implementación del sistema de control	El diseño e implementación de un sistema de control automatizado hace referencia a la integración de tecnologías de automatización para	El diseño e implementación y simulación del sistema automatizado se define como el proceso de crear un sistema de	Planificación y especificación técnica del sistema (programación).	PLC y sensores.
			Sistema de simulación.	Software de control y monitoreo

<p>automatizado (Independiente).</p>	<p>gestionar y controlar los procesos de lavado, enjuague y desinfección de las jabas de arándano, con el fin de reemplazar o mejorar los procedimientos manuales. El sistema incluye elementos como sensores, actuadores, controladores lógicos programables (PLC) e interfaces de usuario, los cuales permiten monitorear y ajustar los parámetros del proceso de manera continua y precisa. (DOOR3, 2023).</p>	<p>control automatizado para el lavado de jabas de arándano que incluya las tres etapas (lavado, enjuague, y desinfección), el cual usa sensores de temperatura, flujo de agua, tiempo de inmersión y dosificación de productos químicos. Además, incluye la instalación y pruebas del sistema para asegurarse de que cumple con los estándares operativos definidos.</p>	<p>Sistema de monitoreo.</p>	<p>HMI</p>
---	---	---	------------------------------	------------

<p>Resultados del proceso de lavado. (Dependiente).</p>	<p>El rendimiento o los resultados del proceso de lavado se refieren a los impactos medibles que se derivan de la implementación del sistema automatizado. Esto incluye indicadores relacionados con la eficiencia (tiempo, costos) y la calidad (uniformidad del lavado, reducción de residuos). El rendimiento refleja la capacidad del sistema automatizado para mejorar o modificar los procesos tradicionales y, en última instancia, optimizar la operación. (Intagri, 2017).</p>	<p>El rendimiento se evaluará en función de mediciones cuantificables de los resultados obtenidos tras la simulación del sistema de control automatizado, tales como el número de jabas procesadas por unidad de tiempo, el tiempo total de lavado, los costos asociados, y la calidad del lavado (basada en la limpieza y desinfección de las jabas)</p>	<p>Capacidad de producción. Secuencia de funcionamiento. Costos operativos.</p>	<p>Software de monitoreo.</p>
--	---	---	---	-------------------------------

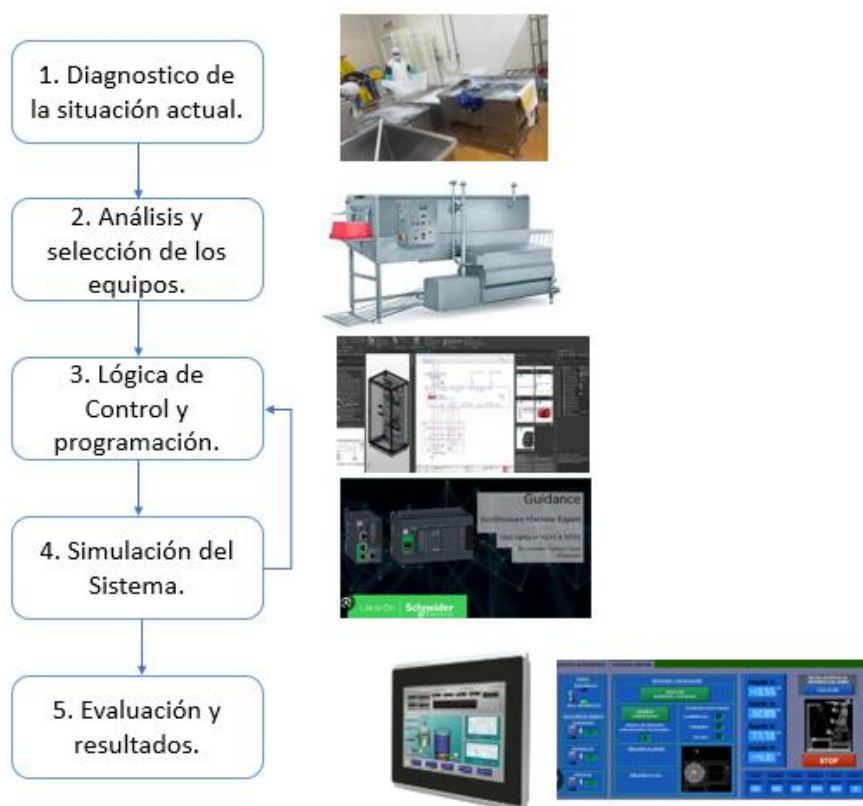
Fuente elaboración propia.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Procedimiento a seguir en la investigación para probar hipótesis

Establecer un plan para evaluar y validar las hipótesis formuladas mediante un enfoque en bloques que representa las principales etapas del sistema automatizado.

Figura 1 - Diseño de contrastación de hipótesis.



Fuente elaboración propia.

3.2 Población y muestra

- Población:

La población está constituida por todas las agroindustrias que procesan arándanos, enfocándose en las etapas de lavado, enjuague y desinfección de las jabas.

- Muestra:

La muestra está constituida por un conjunto representativo de agroindustrias hipotéticas con características y procesos estándar en la producción de arándanos, utilizadas para el diseño y simulación del sistema automatizado. Estas agroindustrias ejemplifican los requisitos generales del sector y serán tomadas como referencia en la investigación.

3.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

Tabla 2 - Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.

Categoría	Descripción
Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de Proceso: Evaluación detallada de cada etapa del lavado de jabas para identificar el proceso de mejora de mejora. - Modelado y Simulación: Uso de software para crear modelos 3D de los diseños mecánicos y eléctricos, y para simular su rendimiento.
Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> - Software de Simulación: Herramientas como Machine Expert de Schneider para el código de programación. - Software de Diseño Simulación HMI: herramienta de visualización Interfaz Maquina y humano.

	<ul style="list-style-type: none">- Software de Diseño Eléctrico: Herramientas como Eplan para el diseño de circuitos eléctricos y sistemas de control.
Equipos	<ul style="list-style-type: none">- Computadoras de Alto Rendimiento: Para ejecutar software de modelado y simulación, así como para el análisis de datos.
Materiales	<ul style="list-style-type: none">- Documentación Técnica: Manuales, catálogos y hojas de datos técnicos para los componentes y equipos utilizados.

Fuente elaboración propia.

CAPITULO IV: RESULTADO

4.1 Diagnosticar la situación actual del proceso de lavado de jabas.

En la planta de procesamiento de arándanos ubicada en Lambayeque, el proceso de lavado de jabas constituye una etapa esencial dentro de la cadena productiva, debido a que garantiza las condiciones de inocuidad y limpieza necesarias para el manejo del fruto. Actualmente, este procedimiento se desarrolla de manera manual, utilizando tinajas con agua y escobillas, donde los operarios realizan la limpieza de cada jaba de forma individual.

Si bien este método ha sido funcional en los inicios de la operación de la planta, en la actualidad se han identificado múltiples limitaciones que afectan la eficiencia del proceso:

- Tiempo de operación elevado: cada jaba requiere un tiempo prolongado de lavado, enjuague y desinfección, lo cual disminuye la capacidad de producción de la planta frente a la creciente demanda.
- Alta demanda de mano de obra: el proceso depende de un número considerable de operarios, lo que incrementa los costos laborales y reduce la competitividad frente a empresas que ya han implementado procesos automatizados.
- Uso ineficiente de recursos: al no contar con sistemas de regulación y control, el consumo de agua, detergentes y energía es elevado, generando sobrecostos operativos.
- Variabilidad en la calidad de limpieza: la ausencia de control estandarizado provoca diferencias en el grado de limpieza y desinfección, aumentando el riesgo de contaminación cruzada y comprometiendo los estándares de inocuidad exigidos en mercados internacionales.

- Riesgos laborales: los operarios están expuestos a condiciones poco ergonómicas, contacto prolongado con agua y químicos, y posibles accidentes durante la manipulación manual de las jabas.
- Limitaciones de escalabilidad: en temporadas de alta demanda, el proceso manual resulta insuficiente para cumplir con el volumen requerido de lavado, ocasionando retrasos en la producción y pérdidas económicas.

Este diagnóstico evidencia que el método actual de lavado de jabas no responde adecuadamente a las exigencias de la agroindustria moderna, donde se requiere eficiencia, calidad y sostenibilidad. Por lo tanto, se justifica la necesidad de diseñar un sistema de control automatizado que permita optimizar el proceso, incrementando la capacidad de producción, reduciendo costos y garantizando la calidad e inocuidad del producto final.

Diagrama de Flujo sobre el proceso.

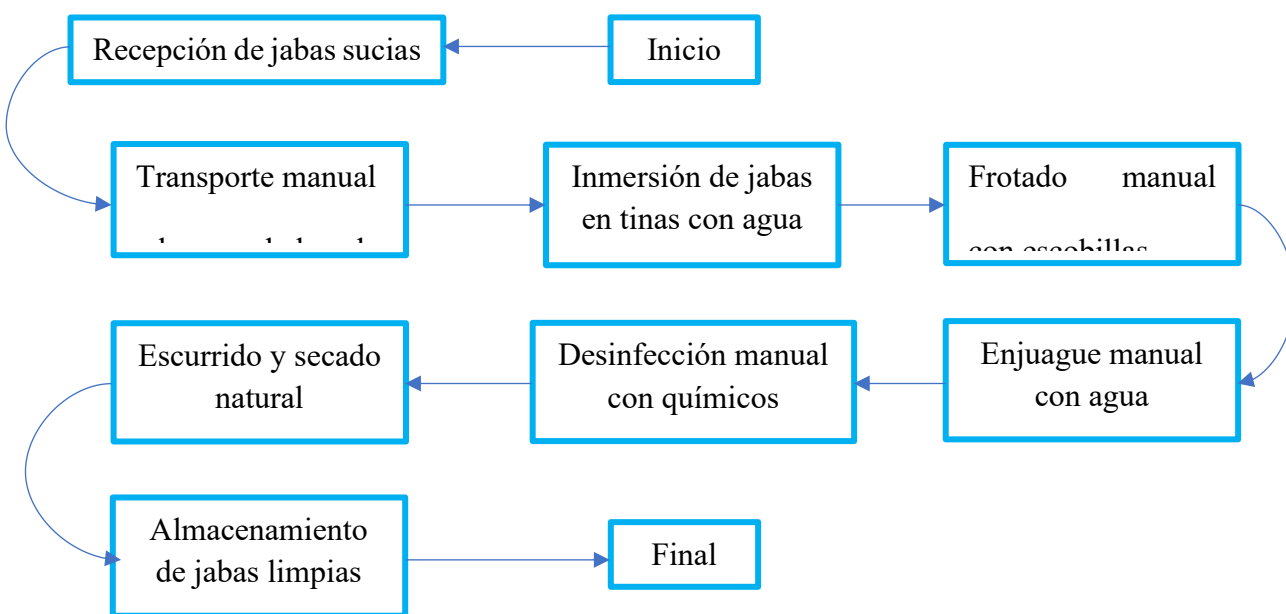


Figura 2 - Proceso de Lavado de Jabas Manual.



Fuente: Elaboración propia.

En la presente figura 2, se observa a un operario realizando de manera manual el lavado de jabas de arándano, el proceso de lavado de jabas requería la intervención de 6 operarios para alcanzar una capacidad aproximada de 500 jabas por hora, utilizando guantes de protección y sumergiendo las jabas en tinas de agua fabricadas en acero inoxidable. Este procedimiento implica movimientos repetitivos de frotado y enjuague, lo cual genera fatiga muscular progresiva y una disminución en el rendimiento del trabajador conforme avanza el turno. Asimismo, el carácter repetitivo de la labor, sumado a la manipulación constante de agua y agentes químicos, expone al personal a riesgos ergonómicos y de salud ocupacional, además de limitar la capacidad de trabajo y la eficiencia global del proceso..

Figura 3 - Pilado de Jabas limpias.



Fuente: Elaboración propia.

En esta imagen se aprecia el apilado de jabas que han sido sometidas al proceso de lavado manual, conformando la etapa final antes de su traslado al área de almacenamiento. El operario se encarga de drenar el exceso de agua contenido en las jabas y asegurar que queden listas para su reutilización. Sin embargo, este procedimiento sigue dependiendo de la fuerza y disponibilidad del trabajador, lo que puede generar variaciones en la calidad del drenado, retrasos en la liberación de jabas limpias y limitaciones en la continuidad operativa de la planta. Asimismo, la ausencia de un sistema automatizado en esta etapa ocasiona que la productividad esté condicionada al esfuerzo físico y al tiempo disponible del personal.

4.2 Seleccionar las máquinas y equipos de automatización.

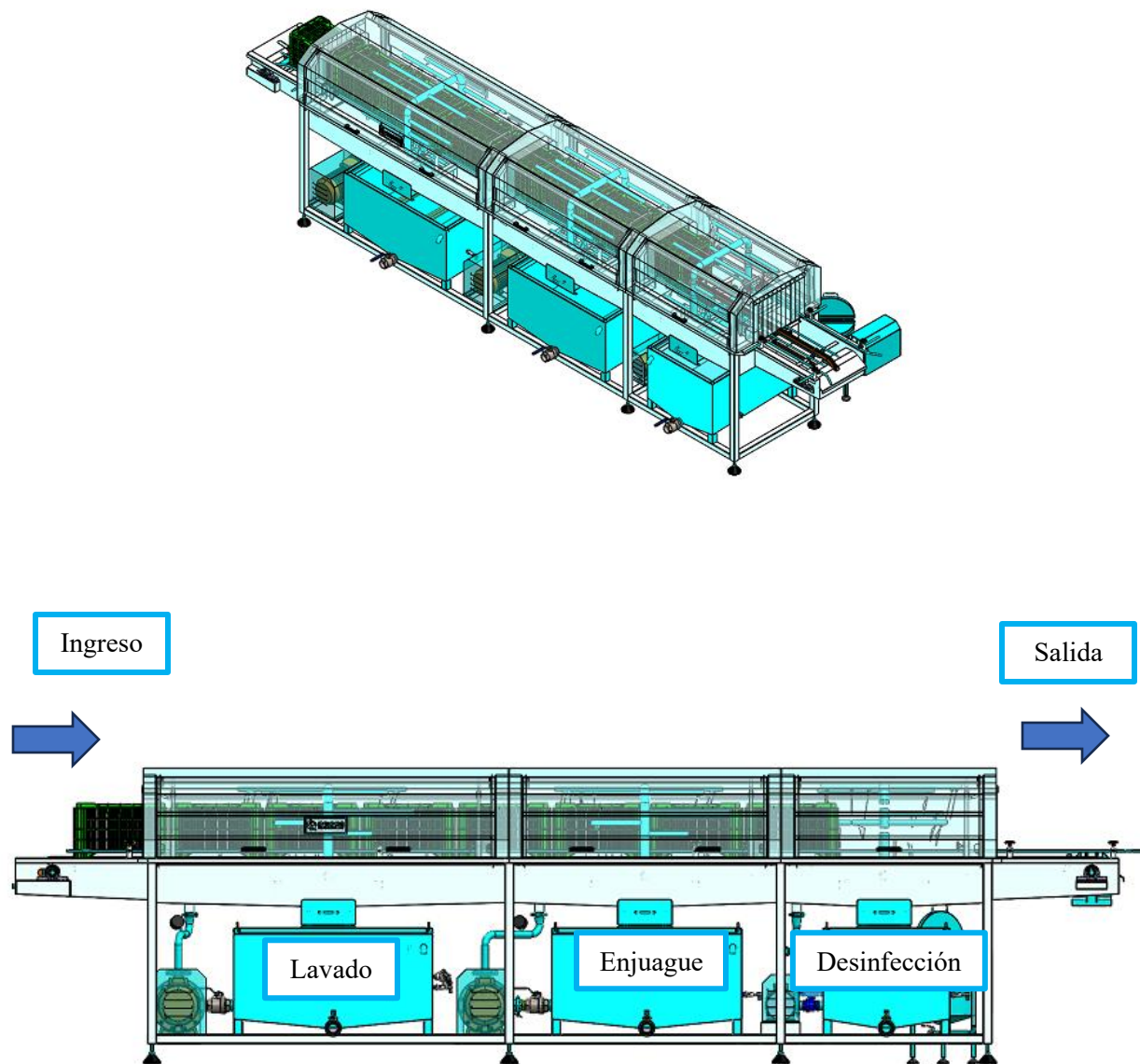
Para el diseño del sistema automatizado de lavado, enjuague y desinfección de jabs de arándano, se requiere la integración de equipos que permitan garantizar un control eficiente, seguro y confiable de todo el proceso. La selección de máquinas y dispositivos se ha realizado considerando los criterios de eficiencia operativa, compatibilidad, disponibilidad en el mercado local y facilidad de integración con sistemas de control industrial.

1. Diseño mecánico de la máquina compacta

Se plantea una máquina compacta que integre las tres etapas del proceso en un solo sistema:

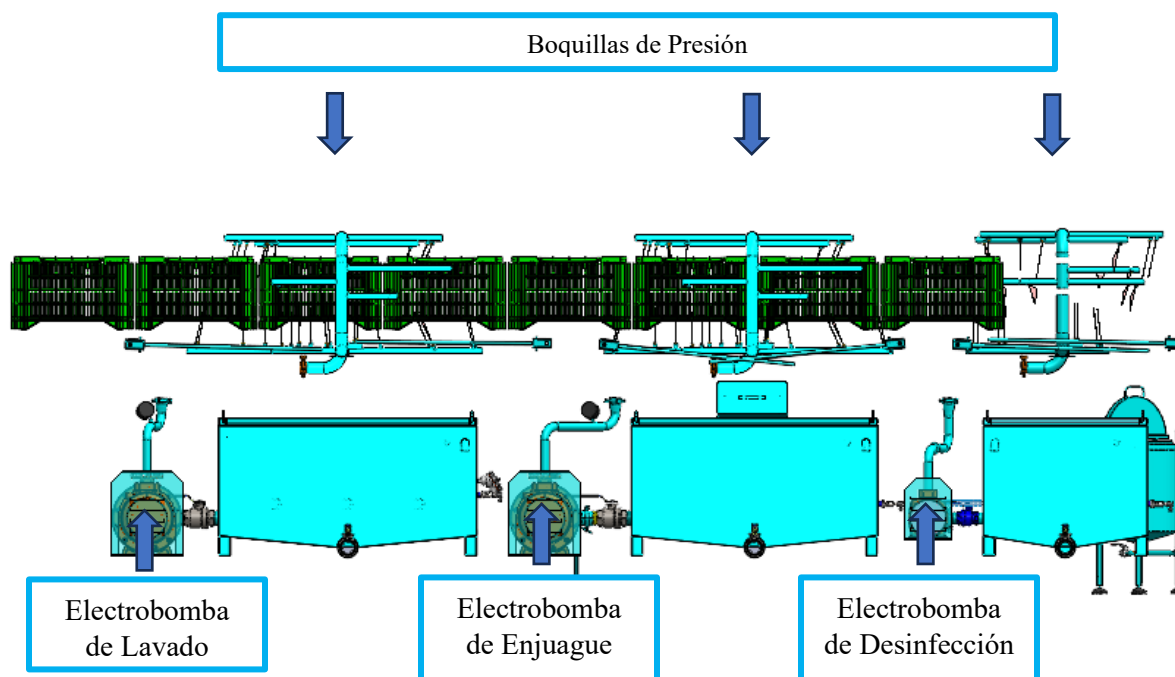
- **Estructura en acero inoxidable:** Asegura resistencia a la corrosión, cumplimiento de normas sanitarias y facilidad de limpieza.
- **Tres tinas independientes:** Cada etapa (lavado, enjuague y desinfección) dispone de una tina de acero inoxidable que almacena agua o solución desinfectante.
- **Sistema de recirculación de agua:** Cada tina cuenta con una bomba de 10 HP que impulsa el líquido hacia boquillas a presión, garantizando una limpieza uniforme de las jabs.
- **Boquillas a presión:** Dirigen el flujo de agua o solución hacia las jabs, asegurando el contacto directo con todas sus superficies.
- **Mecanismo de transporte:** El desplazamiento de las jabs entre etapas se realiza mediante un sistema de cadena impulsado por un motor eléctrico con variador de velocidad, lo que permite regular el tiempo de permanencia en cada etapa.

Figura 4 - Isométrico lavadora de jabas.



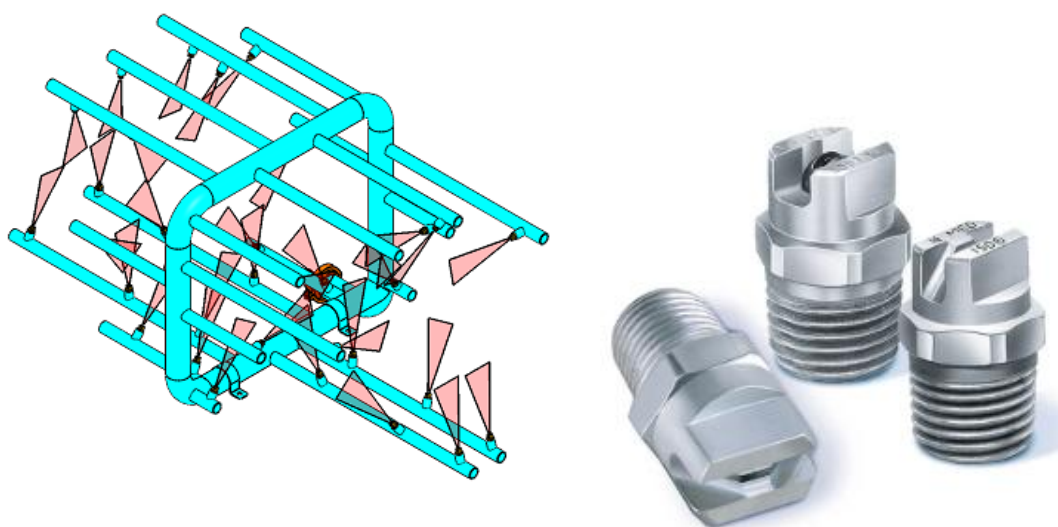
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 - Sistema de recirculación de Agua.



Fuente: Elaboración propia.

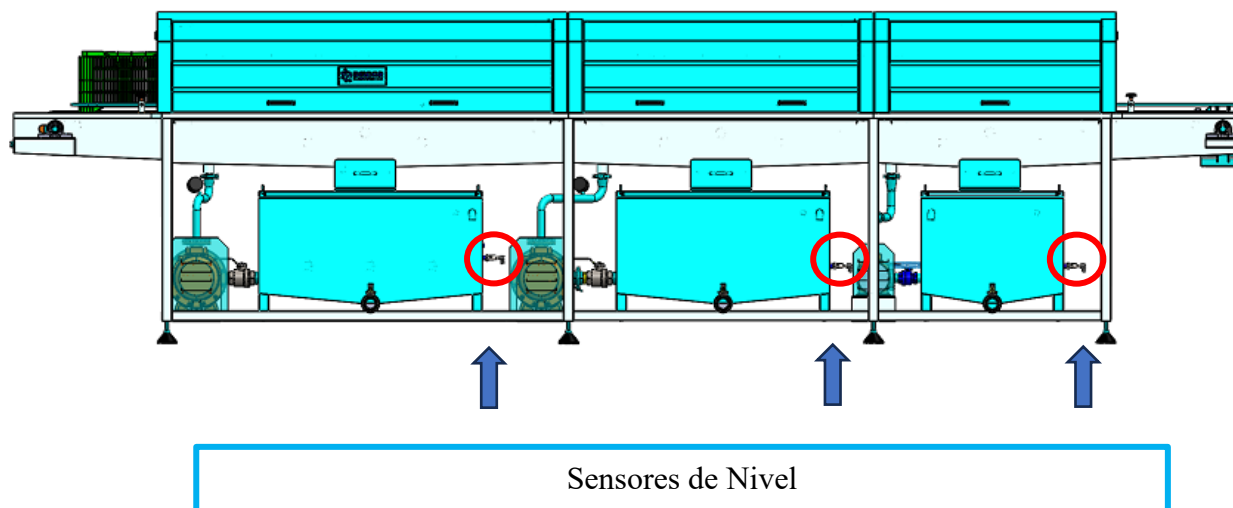
Figura 6 - Boquillas de Presión.



Fuente: Elaboración propia.

Las boquillas, dirigen el flujo de agua o solución hacia las jabas, asegurando el contacto directo con todas sus superficies.

Figura 7 - Ubicación de sensores de nivel.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3 - Potencia Total del equipo.

M01	7,5 KW	440 V 3Ø	Electrobomba de Lavado.
M02	7,5 KW	440 V 3Ø	Electrobomba de Enjuague.
M03	7,5 KW	440 V 3Ø	Electrobomba de Desinfección.
M04	0,75 KW	440 V 3Ø	Motorreductor – Cadena Motriz.
Numero de Motor	Potencia	Tensión	Definición

Fuente: Elaboración propia.

Potencia Total del equipo: 23,3 KW. Tensión 440 V.

2. Cálculos para la selección de dispositivos eléctricos de potencia.

Antes de realizar los cálculos se revisa la siguiente información que nos ayudara a entender los principios de control hacia un motorreductor eléctrico.

Los motores eléctricos desempeñan un papel fundamental en el progreso de la industria. Estos dispositivos transforman la energía eléctrica en energía mecánica mediante el aprovechamiento de las propiedades magnéticas generadas por la corriente eléctrica. Se dividen en motores monofásicos y polifásicos: los primeros funcionan utilizando una única fase de un sistema eléctrico, mientras que los segundos emplean varias fases, entre los cuales destacan los motores trifásicos con sus diferentes configuraciones.

En el ámbito industrial, los motores trifásicos son los más empleados debido a la alta potencia que pueden suministrar y a su eficiencia operativa dentro de los sistemas eléctricos. Dentro de los motores de corriente alterna, se distinguen principalmente los monofásicos, los de inducción tipo jaula de ardilla y los de uso general, con potencias nominales que van aproximadamente desde 0,18 hasta 1500 kW.

El motor de inducción tipo jaula de ardilla se clasifica en las siguientes categorías:

- **Clase A:** motores de diseño estándar, con par de arranque y deslizamiento normales.
- **Clase B:** presentan un par de arranque medio, una corriente de arranque más reducida y bajo deslizamiento.
- **Clase C:** se caracterizan por un par de arranque elevado, corriente de arranque baja y deslizamiento inferior al 5 % a plena carga.

- **Clase D:** ofrecen un par de arranque muy alto (275 % o más del par nominal), corriente de arranque baja y un deslizamiento considerable a plena carga.

Además de estas, la NEMA reconocía antiguamente los diseños Clase E y F, conocidos como motores de arranque suave. Estos se utilizaban en aplicaciones con bajo par de arranque y donde era necesario reducir la corriente de arranque. Sin embargo, dichos modelos han quedado en desuso en la actualidad.

El interruptor.

El interruptor termomagnético es un elemento diseñado para cortar el paso de corriente eléctrica en un circuito cuando esta supera los límites establecidos. Este dispositivo actúa ante dos tipos de fallas: la parte térmica responde frente a una sobrecarga, mientras que la parte magnética interviene ante un cortocircuito.

Se trata de un componente esencial en toda instalación eléctrica, por lo que está presente en la mayoría de edificaciones. Actualmente, su uso es de carácter obligatorio a nivel mundial en cualquier construcción que cuente con un sistema eléctrico, debido a su eficacia y capacidad de protección.

El principio de funcionamiento del interruptor termomagnético se basa en los efectos térmicos y magnéticos producidos por el paso de la corriente. Está constituido principalmente por una lámina bimetálica y un electroimán. En términos simples, opera gracias a la dilatación del metal provocada por el calor y a las fuerzas de atracción magnética que se generan durante el flujo de corriente. Para garantizar la protección adecuada de los tableros eléctricos, es necesario calcular las corrientes de cortocircuito que puedan presentarse en cada uno. Este análisis debe considerar la carga total suministrada por el cuadro de distribución correspondiente.

Potencia Total TCCM01 = 23,3 KW - Datos del cuadro de Cargas.

Calcular la corriente: Usamos la fórmula de la potencia para corriente alterna (trifásica).

Como datos generales se tiene:

P = Es la potencia activa expresada en Watts.

V = Es el voltaje nominal del sistema (440V).

$\cos \varphi$ = Es el FP (0.8) datos generales.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

➤ Para el interruptor general TCCM01.

$$I_{TCCM01} = \frac{23300 \text{ w}}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0,8}$$

$$I_{TCCM01} = 38,4 \text{ Amp}$$

Considerando un factor de sobrecarga de un 25% indicado en Tabla.

$$I_{TCCM01}' = 38,4 \cdot 1,25 = 48 \text{ Amp.}$$

Se debe contar con un interruptor termomagnético con un valor de disparo mayor a tabla:

Tabla de la lista de materiales SIEMENS. 3VM1163-4EE32-0AA0 / 3 x 63 Amp.

- Capacidad de ruptura según IEC 60898 / IEC 60947-2. 20 kA.
- Tensión de empleo: 230/440 VAC, 72 VDC/polo.

Figura 8 - Tabla de interruptores.

Código (MLFB)	Regulación (A)		Capacidad de Ruptura (kA)			Precio Lista Unit. \$/.
	Sobrecarga	Cortocircuito	220 VAC	380/415 VAC	440 VAC	
Disparador por sobreintensidad termomagnético, TRIPOLAR TM, sobrecarga: regulable ($I_r=0.7$ a $1 \times I_n$), cortocircuito fijo TM220 ATFM, capacidad "S"						
3VM1196-4EE32-QAA0	11 - 16	320	55	36	20	390
3VM1120-4EE32-QAA0	14 - 20	320	55	36	20	390
3VM1125-4EE32-QAA0	18 - 25	320	55	36	20	390
3VM1132-4EE32-QAA0	22 - 32	320	55	36	20	390
3VM1140-4EE32-QAA0	28 - 40	400	55	36	20	390
3VM1150-4EE32-QAA0	35 - 50	500	55	36	20	390
3VM1163-4EE32-QAA0	44 - 63	630	55	36	20	390
3VM1180-4EE32-QAA0	56 - 80	800	55	36	20	427
3VM1110-4EE32-QAA0	70 - 100	1000	55	36	20	495
3VM1112-4EE32-QAA0	88 - 125	1250	55	36	20	659
3VM1116-4EE32-QAA0	112 - 160	1600	55	36	20	694
3VM1220-4EE32-QAA0	140 - 200	2000	55	36	20	935
3VM1225-4EE32-QAA0	175 - 250	2500	55	36	20	979
3VM1340-4EE32-QAA0	280 - 400	4000	55	36	36	1,465
3VM1463-4EE32-QAA0	440 - 630	6300	55	36	36	1,882

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 - Interruptor General.



Fuente: Elaboración propia.

El guardamotor.

Un guardamotor es un dispositivo de protección utilizado en sistemas eléctricos para salvaguardar los motores eléctricos contra diversas anomalías que podrían dañarlos o afectar su funcionamiento. Las principales funciones de un guardamotor son:

- Protección contra sobrecarga: El guardamotor evita que el motor se sobrecaliente debido a corrientes excesivas, que pueden ocurrir por condiciones de carga extrema.
- Protección contra cortocircuitos: Actúa rápido en caso de un cortocircuito en el circuito del motor, desconectando la alimentación para prevenir daños graves.

En resumen, el guardamotor es fundamental para proteger la inversión en motores eléctricos y asegurar su operación segura y eficiente

Para la selección de nuestro guardamotor se realizó de la siguiente manera por tablas.

- Electrobomba 1 – Tina de Lavado.

Datos:

- Tensión de Trabajo: 460 V.
- Corriente: 11,83 Amp.
- Factor de Potencia: 0,8 Amp.
- Potencia: 7,5 KW.

Cálculo teórico.

$$I_{M03} = \frac{7500 \text{ w}}{\sqrt{3} \cdot 460 \cdot 0,8}$$

$$I_{M03} = 11,83 \text{ Amp}$$

➤ Selección de Guardamotor según Tabla.

Guardamotor SIEMENS.

- Código: 3RV2021-4AA10.
- Regulación: 10 a 16 Amp.

Figura 10 - Tabla de Selección de guardamotores.

Código (MLFB)	Tamaño Constructivo	Regulación (A)		Corriente de Cortocircuito (A)	Capacidad de Ruptura (kA)		Precio Lista Unit. \$.
		220 V	400 V		220 V	400 V	
Guardamotores SIRIUS Innovations 3RV20 para arranques en clase 10¹							
3RV2011-1EA10	S00	2.8	4	52	100	50	78.50
3RV2011-1FA10	S00	3.5	5	65	100	50	78.50
3RV2011-1GA10	S00	4.5	6.3	82	100	50	78.50
3RV2011-1HA10	S00	5.5	8	104	100	50	85.90
3RV2011-1JA10	S00	7	10	130	100	10	85.90
3RV2011-1KA10	S00	9	12.5	163	100	10	91.10
3RV2011-4AA10	S00	10	16	208	100	55	91.10
3RV2021-1AA10	S0	1.1	1.6	21	100	100	87.90
3RV2021-1BA10	S0	1.4	2	26	100	100	87.90
3RV2021-1CA10	S0	1.8	2.5	33	100	100	87.90
3RV2021-1DA10	S0	2.2	3.2	42	100	100	87.90
3RV2021-1EA10	S0	2.8	4	52	100	100	87.90
3RV2021-1FA10	S0	3.5	5	65	100	100	87.90
3RV2021-1GA10	S0	4.5	6.3	82	100	100	87.90
3RV2021-1HA10	S0	5.5	8	104	100	100	87.90
3RV2021-1JA10	S0	7	10	130	100	100	87.90
3RV2021-1KA10	S0	9	12.5	163	100	100	87.90
3RV2021-4AA10	S0	10	16	208	100	55	97.40
3RV2021-4BA10	S0	13	20	260	100	55	107.00
3RV2021-4CA10	S0	16	22	286	100	55	124.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11 - Guardamotor.



Fuente: Elaboración propia.

Arrancador Suave.

Un arrancador suave es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos para controlar el arranque y paro de motores eléctricos, reduciendo la corriente de arranque y evitando picos de tensión que podrían dañar el motor o los componentes del sistema. Su principal función es suavizar el inicio y la parada del motor, lo que incrementa la vida útil tanto del motor como del sistema eléctrico en general.

Las funciones principales de un arrancador suave incluyen:

- Reducción de corriente de arranque: Permite disminuir la corriente que se utiliza al poner en marcha el motor, evitando así los picos de corriente que pueden ser perjudiciales para el motor y los circuitos eléctricos.
- Control de par motor: Ajusta progresivamente el par de arranque del motor, lo que permite un inicio más suave y evita el impacto mecánico sobre el motor y los componentes conectados.
- Protección del motor: Ofrece protección adicional contra sobrecarga y fallos del sistema, asegurando que el motor opere dentro de los parámetros seguros establecidos.
- Desaceleración controlada: También facilita la desaceleración del motor de manera controlada, evitando paradas bruscas que podrían dañar tanto el motor como la maquinaria conectada.

Para la selección de nuestro arrancador suave se realizó de la siguiente manera por tablas.

- Electrobomba 1 – Tina de Lavado.

Datos:

- Tensión de Trabajo: 460 V.

- Corriente: 11,83 Amp
- Factor de Potencia: 0,8 Amp.
- Potencia: 7,5 KW.

$$I_{M03} = 11,83 \text{ Amp}$$

➤ Selección del arrancador según Tabla.

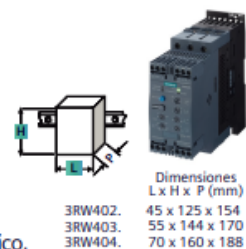
Arrancador suave SIEMENS.

- Código: 3RW4024-1BB14.
- Regulación: 12,5 Amp.

Figura 12 - Tabla de selección arrancadores.

Arrancadores electrónicos suaves SIRIUS 3RW40

- Arranque y parada suave con limitación de corriente.
- Preparados para arranque de motores de alta eficiencia IE3.
- Versión estándar para motores desde 12.5A hasta 106A (se puede utilizar en sistemas de alimentación de hasta 480 V).
- Contactor de BY pass interno y algoritmo patentado de "Balanceo de polaridad".
- Protección de sobrecargas, clase de disparo 10/15/20, protección termistor(opcional)
- Certificación ATEX atmósferas explosivas, normas CE, UL /CSA.
- Parametrización sencilla mediante potenciómetros.
- Tecnología de conmutación híbrida para una pérdida de potencia mínima y control de motor bifásico.



Código (MLFB)	Tamaño Constructivo	Corriente (A)	Potencia del Motor (HP)			Tensión de Control (VAC)	Precio Lista Unit. \$.
			220 V	380 V	440 V		
3RW4024-1BB14	S0	12,5	4	7,5	10	110 - 230	444.00
3RW4026-1BB14	S0	25	7.5	15	15	110 - 230	522.00
3RW4027-1BB14	S0	32	12.5	20	25	110 - 230	624.00
3RW4028-1BB14	S0	38	15	25	30	110 - 230	745.00
3RW4036-1BB14	S2	45	15	30	30	110 - 230	889.00
3RW4037-1BB14	S2	63	25	40	50	110 - 230	1,056.00
3RW4038-1BB14	S2	72	28	50	58	110 - 230	1,224.00
3RW4046-1BB14	S3	80	30	55	60	110 - 230	1,378.00
3RW4047-1BB14	S3	106	40	60	75	110 - 230	1,501.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13 - Arrancador Suave.



Fuente: Elaboración propia.

Variador de Velocidad.

La función principal de un variador de velocidad es controlar la velocidad de un motor eléctrico ajustando la frecuencia y, en algunos casos, el voltaje de la corriente que recibe. Esto permite modificar la velocidad de giro del motor según las necesidades del proceso o la aplicación en la que se está utilizando. Algunas de las funciones y beneficios de un variador de velocidad incluyen:

- **Control de velocidad:** Permite ajustar la velocidad del motor de manera precisa, lo que es esencial en aplicaciones donde la velocidad es un factor crítico.
- **Ahorro energético:** Al optimizar la velocidad del motor para las demandas específicas de la aplicación, se pueden reducir significativamente los consumos energéticos en comparación con el funcionamiento a una velocidad constante.
- **Arranque suave:** Los variadores de velocidad permiten un arranque controlado del motor, evitando picos de corriente que pueden dañar el motor y otros componentes del sistema.

- Control de par: Algunos variadores también permiten el control del par motor, lo que es útil en aplicaciones que requieren un torque específico.
- Mejora del rendimiento del proceso: Al poder ajustar la velocidad del motor, se puede mejorar la calidad del producto final, por ejemplo, en procesos de fabricación o transporte.
- Reducción de vibraciones y ruido: Un arranque y paro controlados reducen las vibraciones y el ruido en el sistema, lo que mejora la vida útil del equipo y el confort en el entorno de trabajo.
- Flexibilidad en operación: Permiten modificar parámetros de operación de manera rápida y fácil, adaptándose a diferentes requerimientos sin necesidad de cambiar físicamente el equipo.
- En resumen, los variadores de velocidad son herramientas esenciales en la automatización industrial y en una amplia gama de aplicaciones que requieren un control preciso del movimiento y el consumo energético.

Para la selección de nuestro variador se realizó de la siguiente manera por tablas.

- Motorreductor 4 – Cadena Motriz.

Datos:

- Tensión de Trabajo: 440 V.
- Corriente: 1,18 Amp
- Factor de Potencia: 0,8 Amp.

- Potencia: 0,75 KW.

$$I_{M03} = 1,18 \text{ Amp}$$

- Selección de Variador según Tabla.

Variador SIEMENS.

- Código: 6SL3210-5BE17-5UV0.

Figura 14 - Tabla de selección Variadores.

Código (MLFB)	Potencia (LO)		Fusible IEC 65kA Referencia	Portafusible	Guardamotor IEC 65kA Referencia
	HP	KW			
SINAMICS V20 - 200...240 V					
6SL3210-5BB13-7UV1	0.5	0.37	3NA3803	3NP1121-1CA20	3RV2011-1HA10
6SL3210-5BB17-5UV1	1	0.75	3NA3805	3NP1121-1CA20	3RV2011-1KA10
6SL3210-5BB21-1UV0	1.5	1.1	3NA3807	3NP1121-1CA20	3RV2021-4BA10
6SL3210-5BB21-5UV0	2	1.5	3NA3812	3NP1121-1CA20	3RV2031-4BA10
6SL3210-5BB22-2UV0	3	2.2	3NA3814	3NP1121-1CA20	3RV2021-4EA10
6SL3210-5BB23-0UV0	4	3	3NA3820	3NP1121-1CA20	3RV2031-4UA10
SINAMICS V20 - 380...480 V					
6SL3210-5BE13-7UV0	0.5	0.37	3NA3801	3NP1123-1CA20	3RV2011-1CA10
6SL3210-5BE17-5UV0	1	0.75	3NA3801	3NP1123-1CA20	3RV2011-1EA10
6SL3210-5BE21-1UV0	1.5	1.1	3NA3801	3NP1123-1CA20	3RV2011-1GA10
6SL3210-5BE21-5UV0	2	1.5	3NA3801	3NP1123-1CA20	3RV2011-1HA10
6SL3210-5BE22-2UV0	3	2.2	3NA3803	3NP1123-1CA20	3RV2011-1JA10
6SL3210-5BE23-0UV0	4	3	3NA3805	3NP1123-1CA20	3RV2011-1KA10
6SL3210-5BE24-0UV0	5	4	3NA3807	3NP1123-1CA20	3RV2011-4AA10
6SL3210-5BE25-5UV0	7.5	5.5	3NA3812	3NP1123-1CA20	3RV2021-4AA10
6SL3210-5BE27-5UV0	10	7.5	3NA3822	3NP1123-1CA20	3RV2031-4DA10
6SL3210-5BE31-1UV0	15	11	3NA3822	3NP1123-1CA20	3RV2031-4VA10
6SL3210-5BE31-5UV0	20	15	3NA3822	3NP1123-1CA20	3RV2032-4VA10
6SL3210-5BE31-8UV0	30	22	3NA3822	3NP1123-1CA20	3RV2041-4KA10
6SL3210-5BE32-2UV0	40	30	3NA3824	3NP1123-1CA20	3RV2041-4LA10

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15 - Variador de Velocidad.





Fuente: Elaboración propia.



3. Tablero eléctrico de fuerza.

Se incluye un tablero centralizado con los siguientes componentes:

- Seccionadores y protecciones para la seguridad del sistema.
- Contactores y relés de control.
- Arrancadores suaves para bombas.
- Variadores de Velocidad.

Tabla 4 - Dispositivos de Fuerza.

Item	Descripción del Producto	Codificación	Marca	Imagen
01	interruptor automático 3VM1 IEC Grado de Protección: IP20. Temperatura: - 40 °C a 70 °C.	3VM1163-4EE32-0AA0	SIEMENS	
02	Interruptor automático tamaño. Grado de Protección: IP20. Temperatura: -20 °C a 60 °C.	3RV2021-4AA10	SIEMENS	



03	Arrancador suave SIRIUS S0 12,5 A, 5,5 kW/400 V, 40 °C AC 200-480 V. Grado de Protección: IP20. Temperatura: -20 °C a 60 °C.	3RW4024-1BB14	SIEMENS	
04	VARIADOR SINAMICS V20 1 HP 380-440 VAC TRIFASICO, SIEMENS.	6SL3210-5BE17- 5UV0	SIEMENS	


Fuente: Elaboración propia.

4. Control y Automatización.

- PLC Schneider TM241: Gestiona la lógica de control de todas las etapas.
- HMI Weintek: Permite al operario supervisar en tiempo real los parámetros de operación y realizar ajustes.
- Sensores de nivel (uno por tina): Monitorean el nivel de agua o solución y envían la señal a un relé para activar o desactivar bombas de recirculación.

Tabla 5 - Dispositivos de Control.

Item	Descripción del Producto	Codificación	Marca	Imagen
01	PLC modicon m241, 24 entradas digitales, 16 salidas digitales relé ethernet. Grado de Protección: IP20. Temperatura: -10 °C a 50 °C.	TM241CE40R	SCHNEIDER	
02	Pantalla industrial HMI marca Weintek modelo MT8071IP 7" 24 VDC CON ETHERN. Grado de Protección: IP20. Temperatura: -10 °C a 50 °C.	MT8071IP	WEINTEK	

04	SWITCH DE NIVEL ELECTRO-OPTICO LSO.02 WIKA MODELO: LSO.02 FLUIDO: LIQUIDOS MEDIDA: 1/2" TEMPERATURA FLUIDO: -30 A 140 °C ALIMENTACIÓN: 24 VDC PRESIÓN MAX.:50 BAR SEÑAL DE SALIDA: 24VDC	LSO.02	WIKA	
----	---	--------	------	---

Fuente: Elaboración propia.

5. Software de programación y diseño

- Machine Expert (Schneider): Programación del PLC.
- **EasyBuilder (Weintek)**: Desarrollo de la interfaz HMI.
- **EPLAN Electric**: Diseño y documentación de planos eléctricos.

4.3 Desarrollar la lógica de control para el sistema automatizado.

La lógica de control se desarrolla con el objetivo de garantizar un funcionamiento secuencial, seguro y eficiente del sistema de lavado, enjuague y desinfección de jabas. El sistema se basa en el uso de un PLC Schneider TM241, un HMI Weintek y dispositivos de campo como bombas, variador de velocidad, sensores de nivel y electroválvulas.

4.3.1 Propuestas de solución.

La solución planteada consiste en diseñar un sistema de control automatizado que integre en una sola máquina las tres etapas críticas: lavado, enjuague y desinfección de jabas de arándano. El

diseño considera la utilización de tinas de acero inoxidable para cada etapa, bombas de 10 HP controladas por arrancadores suaves, un motor de arrastre con variador de velocidad para el transporte mediante cadena, y un conjunto de sensores de nivel que aseguran el correcto funcionamiento de las bombas. El sistema estará gobernado por un PLC Schneider, con interfaz de supervisión en un HMI Weintek, lo que permitirá al operario configurar tiempos de proceso, monitorear estados y recibir alarmas en caso de fallos.

El enfoque busca garantizar productividad, seguridad y ahorro de recursos frente al proceso manual.

4.3.2 Definición de Variables.

Tabla 6 - Variables de entrada y salidas.

Tipo	Variable	Descripción
Entrada DI	Sensor de nivel bajo (Tina 1, 2, 3)	Verifica disponibilidad mínima de agua/desinfectante.
Entrada DI	Sensor de nivel alto (Tina 1, 2, 3)	Controla el llenado y evita reboses.
Entrada DI	Pulsador de inicio	Ordena el arranque del ciclo de lavado.
Entrada DI	Pulsador de parada de emergencia	Detiene inmediatamente el proceso.
Entrada DI	Selector modo automático/manual	Permite seleccionar el modo de operación.
Entrada AI	Potenciómetro variador	Ajusta la velocidad del motor transportador.
Salida DO	Motor transportador de cadena	Traslada las jabas entre estaciones.
Salida DO	Bomba de lavado (10 HP)	Acciona boquillas de la tina de lavado.
Salida DO	Bomba de enjuague (10 HP)	Acciona boquillas de la tina de enjuague.
Salida DO	Bomba de desinfección (10 HP)	Acciona boquillas de la tina de desinfección.
Salida DO	Alarmas visuales y sonoras	Indican condiciones de fallo o fin de ciclo.

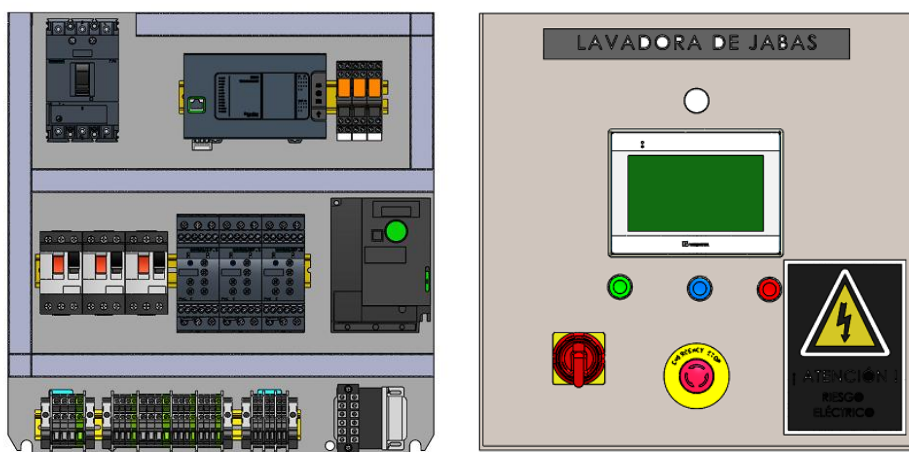
Salida HMI	Pantalla de supervisión	Configuración de tiempos, monitoreo de estados, alarmas.
-------------------	-------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Modelamiento de Tablero.

En esta etapa se desarrolló el modelamiento del tablero eléctrico utilizando el software SolidWorks, aplicando criterios de diseño orientados a la optimización del espacio, la accesibilidad para el mantenimiento y la correcta distribución de los componentes.

Figura 16 - Diseño del Tablero eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

Vista de Modelamiento y Criterios para el Diseño

En esta fase se realizó el modelamiento del tablero eléctrico empleando el software SolidWorks, definiendo las dimensiones generales, la disposición interna y los parámetros de diseño que aseguran su funcionalidad y seguridad. Se consideraron criterios como la distribución óptima de

los componentes, la facilidad de acceso para mantenimiento, la ventilación interna, y la organización del cableado. El modelado tridimensional permitió visualizar de manera precisa la estructura del tablero y realizar los ajustes necesarios antes de su integración definitiva.

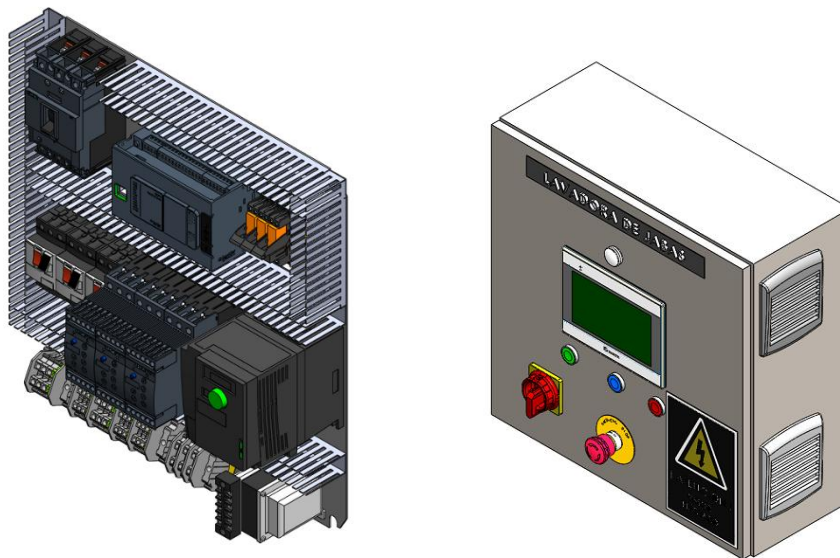
Integración de Dispositivos Eléctricos en Placa de Montaje y Tablero

Una vez definido el diseño base, se procedió a la integración de los diferentes dispositivos eléctricos sobre la placa de montaje. En esta etapa se ubicaron los componentes principales — como interruptores, contactores, relés, fusibles y borneras— considerando su función dentro del circuito y el cumplimiento de las normas técnicas aplicables. El software permitió verificar la correcta alineación, separación y fijación de los equipos, garantizando un montaje seguro y ordenado dentro del tablero.

Revisión de Funcionalidad del Tablero sobre los Dispositivos Eléctricos

Finalmente, se efectuó una revisión funcional del tablero en el entorno virtual de SolidWorks, evaluando la interacción entre los dispositivos eléctricos y su disposición general. Esta verificación permitió comprobar que el diseño cumplía con los requerimientos operativos y de seguridad, así como identificar posibles interferencias o limitaciones antes de la fabricación física. De esta manera, se aseguró la viabilidad del ensamblaje y el correcto funcionamiento del sistema eléctrico diseñado.

Figura 17 - Vista isométrica del Tablero.



Fuente: Elaboración propia.

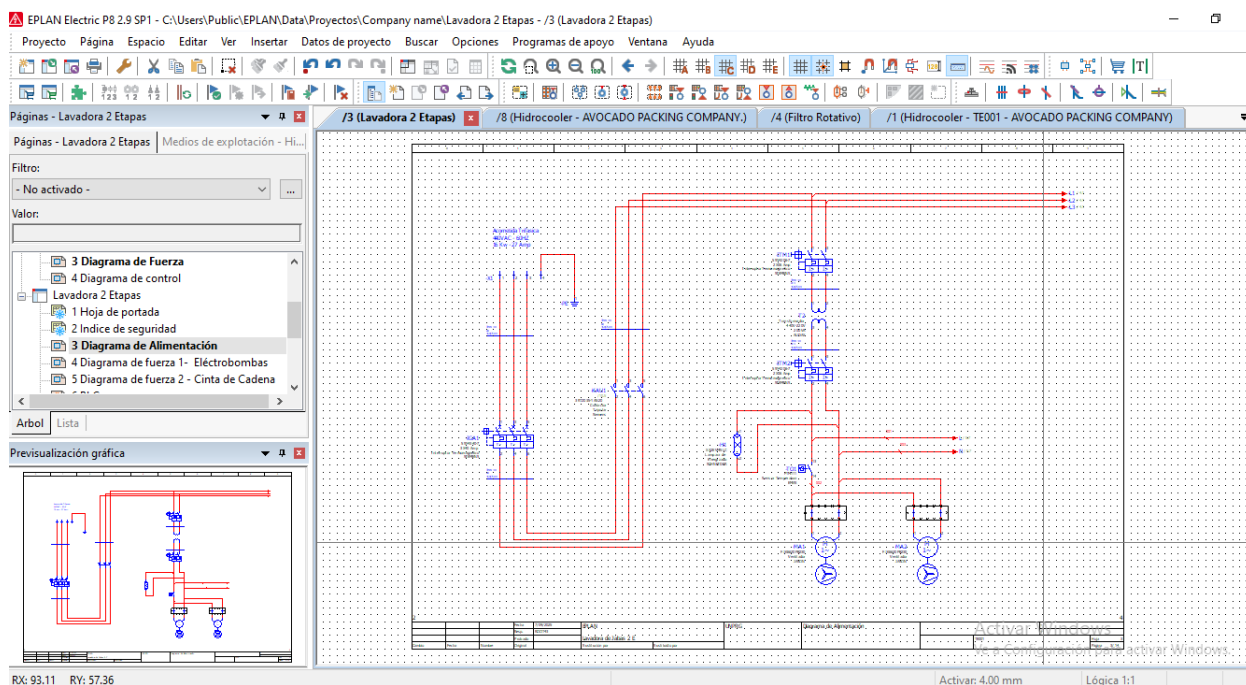
4.3.4 Diagramas Eléctricos.

Los diagramas eléctricos se diseñarán en el software EPLAN Electric P8, contemplando la distribución de potencia y control:

- Diagrama de potencia: incluye las conexiones de las bombas de 10 HP con sus respectivos arrancadores suaves, motor transportador con variador de velocidad y protección mediante relés térmicos.
- Diagrama de control: integra los sensores de nivel, pulsadores de inicio/parada, emergencias, electroválvulas y salidas hacia el PLC.
- Diagrama de comunicaciones: establece la conexión entre el PLC y el HMI Weintek mediante protocolo Modbus TCP/IP.

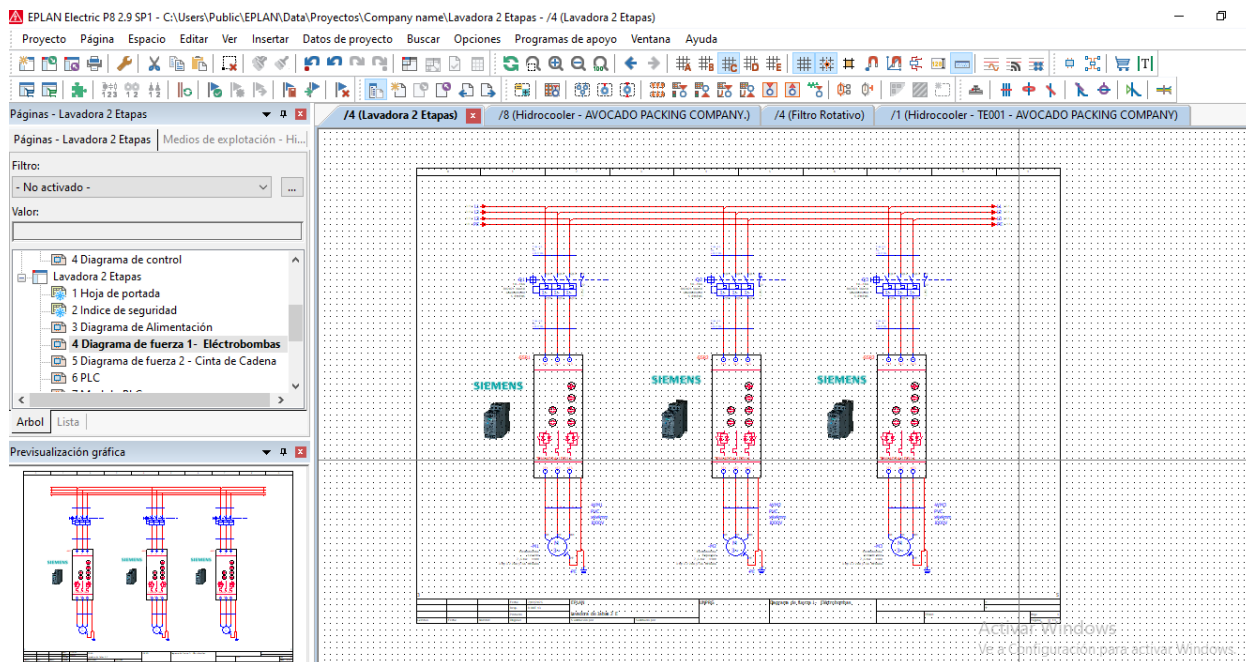
Estos esquemas permitirán validar la correcta interconexión entre equipos, garantizando seguridad eléctrica y facilidad de mantenimiento.

Figura 18 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Fuerza.



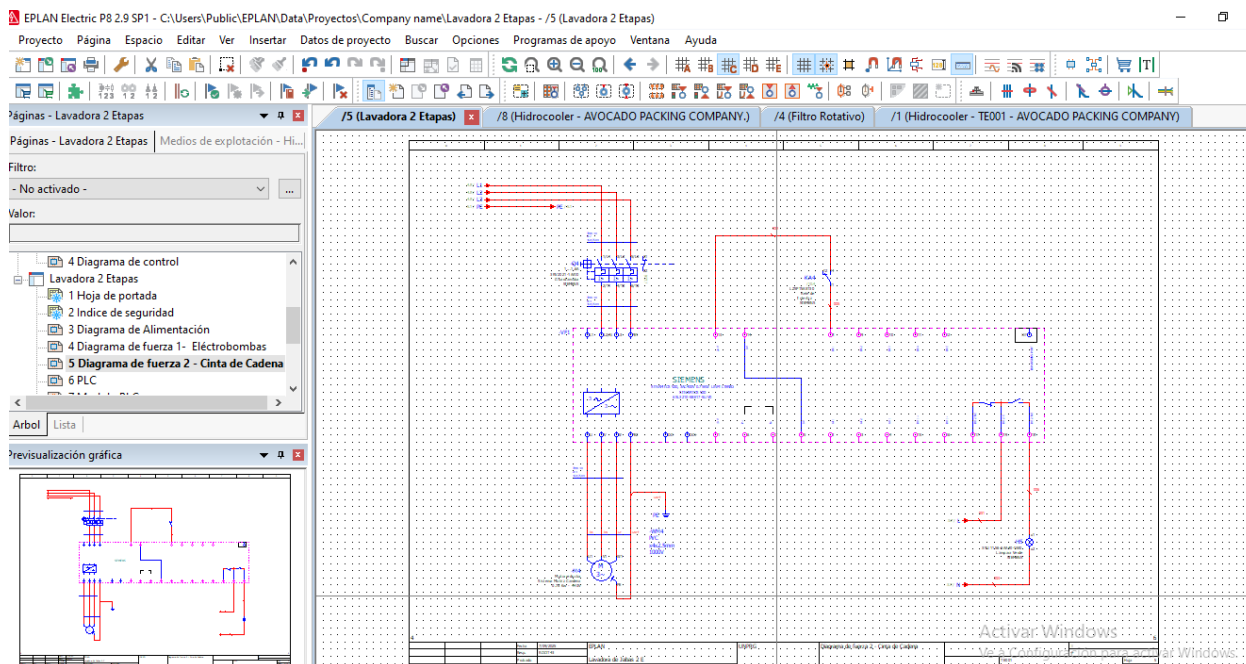
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Fuerza electrobombas.



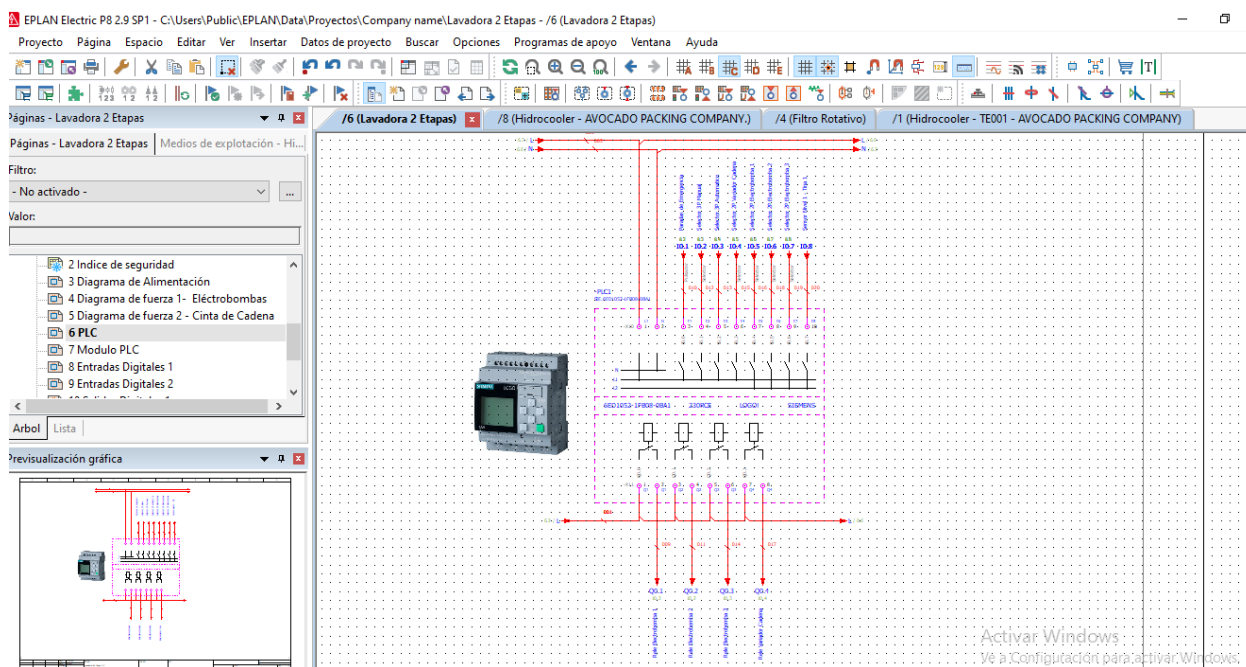
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Fuerza Variador cadena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 - Esquema eléctrico en Eplan – Hoja de Control PLC.



Fuente: Elaboración propia.

Para revisar más detalle de los diagramas eléctricos revisar anexos 3.

4.3.5 Filosofía de Control.

La filosofía de control define las reglas básicas del funcionamiento automático:

1. Condiciones iniciales

- El ciclo solo inicia si las tres tinas cuentan con nivel mínimo de agua.
- El HMI permite al operario seleccionar el modo de operación (manual o automático).

2. Modo automático

- El motor transportador desplaza la jaba hacia la tina de lavado.
- La bomba de lavado se activa por un tiempo programado en el HMI.
- Finalizado el lavado, la jaba avanza hacia la tina de enjuague, donde se repite la operación.
- Luego pasa a la tina de desinfección, activándose la bomba correspondiente.
- Al culminar, la jaba es trasladada a la zona de descarga.

3. Modo manual

- El operario puede activar bombas y transportador de forma independiente, útil para pruebas o mantenimiento.

4. Seguridad

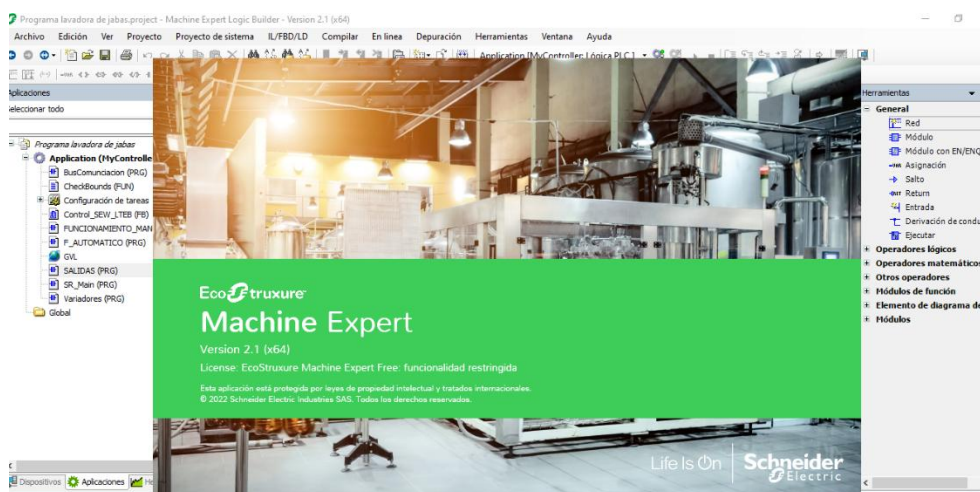
- En caso de nivel bajo, sobrecarga o pulsación de emergencia, el sistema detiene todo el ciclo.
- Alarmas luminosas y sonoras alertan al operario.

4.3.6 Código de Programación.

La programación del PLC se realizará en el software EcoStruxure Machine Expert bajo lógica de escalera (Ladder). El código contempla:

- Rutina de inicio: verificación de niveles, estado de bombas y variador.
- Secuencia de ciclo automático: temporización y activación de cada etapa (lavado → enjuague → desinfección → descarga).
- Bloques de seguridad: paro de emergencia, alarmas de bajo nivel y sobrecarga.
- Comunicación con HMI: intercambio de variables para tiempos, arranque/parada, conteo de jabas procesadas y reportes de fallos.

Figura 22 - Interfaz machine expert.



Fuente: Elaboración propia.

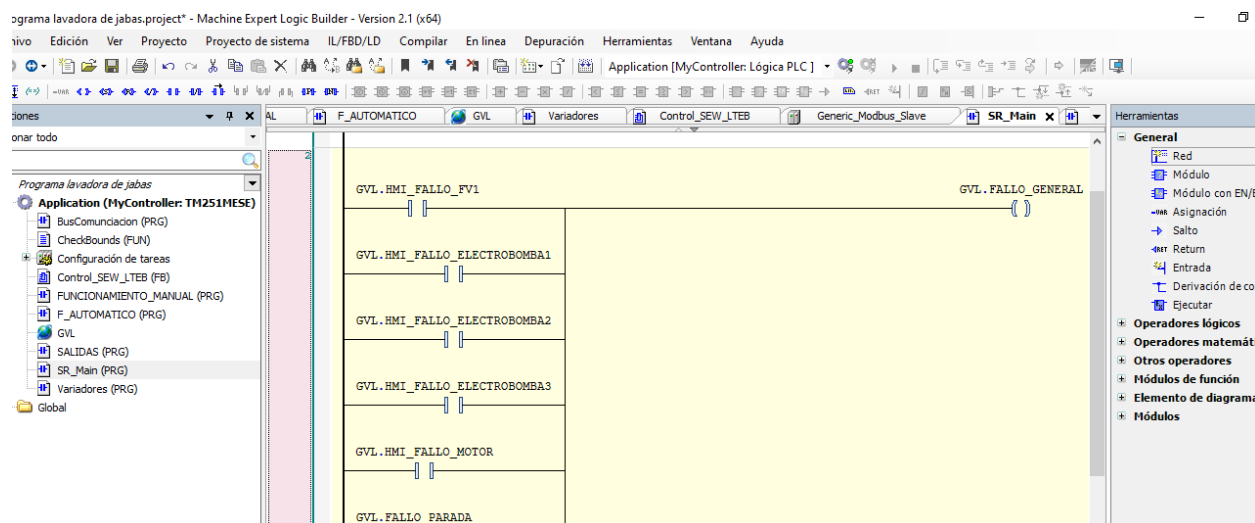
El código de programación se desarrolló en el software EcoStruxure Machine Expert de Schneider Electric, utilizando el lenguaje de programación Ladder (LD), conforme a la norma IEC 61131-3. La lógica implementada corresponde al diseño de la secuencia de lavado, enjuague

y desinfección de jabas, integrando rutinas de seguridad, control manual y automático, y comunicación con la interfaz HMI.

A. Bloque de inicialización

- Verifica las condiciones mínimas antes de iniciar el ciclo automático:
 - Presencia de nivel mínimo en las tres tinas.
 - Selector en modo automático.
 - Ausencia de alarmas activas.
- Si alguna condición no se cumple, el sistema permanece en estado de espera y muestra el mensaje correspondiente en la HMI.

Figura 23 - Bloque de programación.



Fuente: Elaboración propia.

B. Secuencia de ciclo automático

- El ciclo inicia al presionar el pulsador de arranque.
- Se activa el motor transportador, desplazando la jaba hasta la tina de lavado.
- La bomba de lavado se activa durante un tiempo definido en la HMI.
- Finalizado el lavado, la cadena avanza hasta la tina de enjuague, donde se repite la operación.
- Posteriormente, la jaba pasa a la tina de desinfección, activándose la bomba correspondiente por el tiempo configurado.
- El proceso culmina con la descarga de la jaba en la zona de salida.

Figura 24 - Bloque de Programación automático.

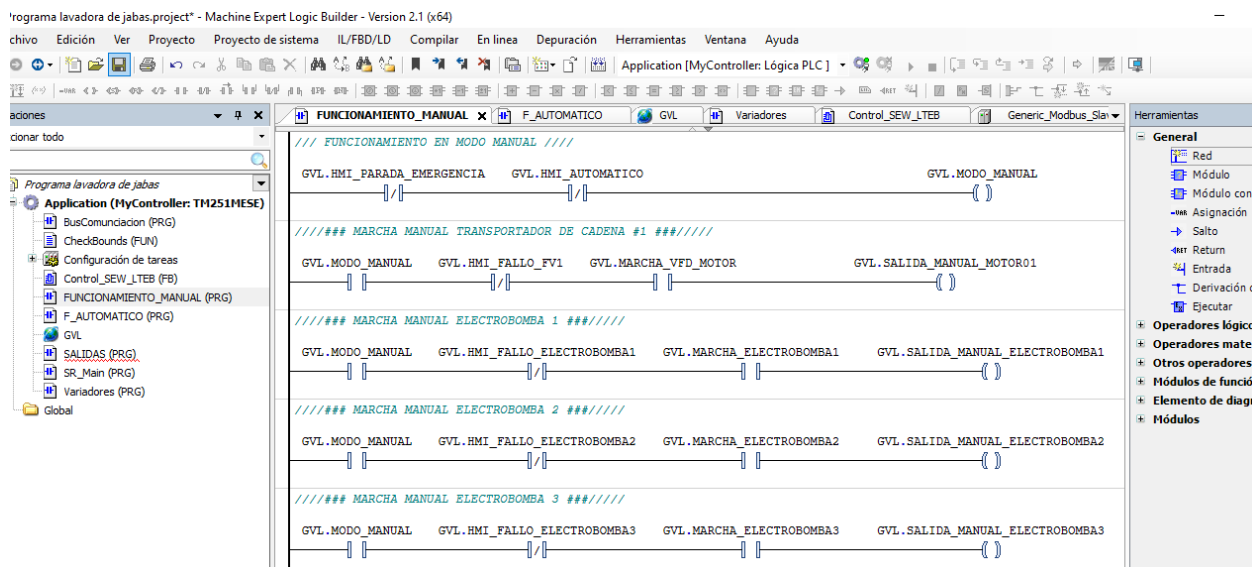


Fuente: Elaboración propia.

C. Modo manual

- En este modo, cada salida (bombas y transportador) puede ser activada individualmente desde la HMI o mediante pulsadores locales.
- Es útil para pruebas, mantenimiento y verificación de equipos.

Figura 25 - Bloque de programación manual.

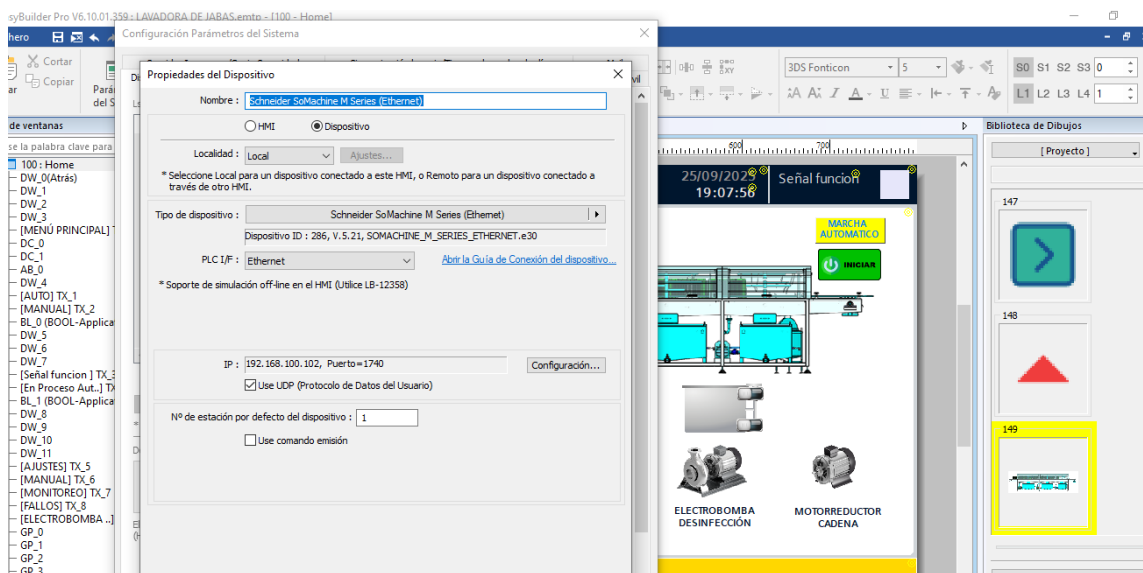


Fuente: Elaboración propia.

D. Comunicación con HMI

- Variables de entrada/salida se comparten con la HMI mediante protocolo Ethernet.
- Desde la HMI se configuran: velocidad de cadena, contador de jabas procesadas y gestión de alarmas.
- En pantalla, el operario visualiza en tiempo real los estados de bombas, motor transportador y niveles de las tinas.

Figura 26 - Bloque de comunicación HMI.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 Simular el sistema automatizado desarrollado.

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de la lógica de control programada en el PLC Schneider TM241 y verificar la interacción de los dispositivos de campo, se llevó a cabo la simulación del sistema automatizado en el entorno del software EcoStruxure Machine Expert. Esta etapa permitió identificar posibles fallas de diseño, confirmar la secuencia de operación y garantizar la seguridad del sistema antes de la implementación física.

La simulación se estructuró en las siguientes fases:

A. Prueba de condiciones iniciales

- Se verificó que el ciclo no iniciara sin la presencia de nivel mínimo de agua en las tres tinas.

- La interfaz HMI presentó correctamente los indicadores de nivel y las opciones de operación en modo manual y automático.

Figura 27 - HMI condiciones iniciales.



Fuente: Elaboración propia.

B. Simulación en modo automático

- Al presionar el pulsador de inicio, se activó la rutina de transporte de jabas.
- Se comprobó que el motor de arrastre, gobernado por el variador de velocidad, trasladara las jabas entre cada etapa de forma secuencial.
- Las bombas de lavado, enjuague y desinfección se activaron en los tiempos programados desde el HMI.

Figura 28 - HMI simulación en automático.

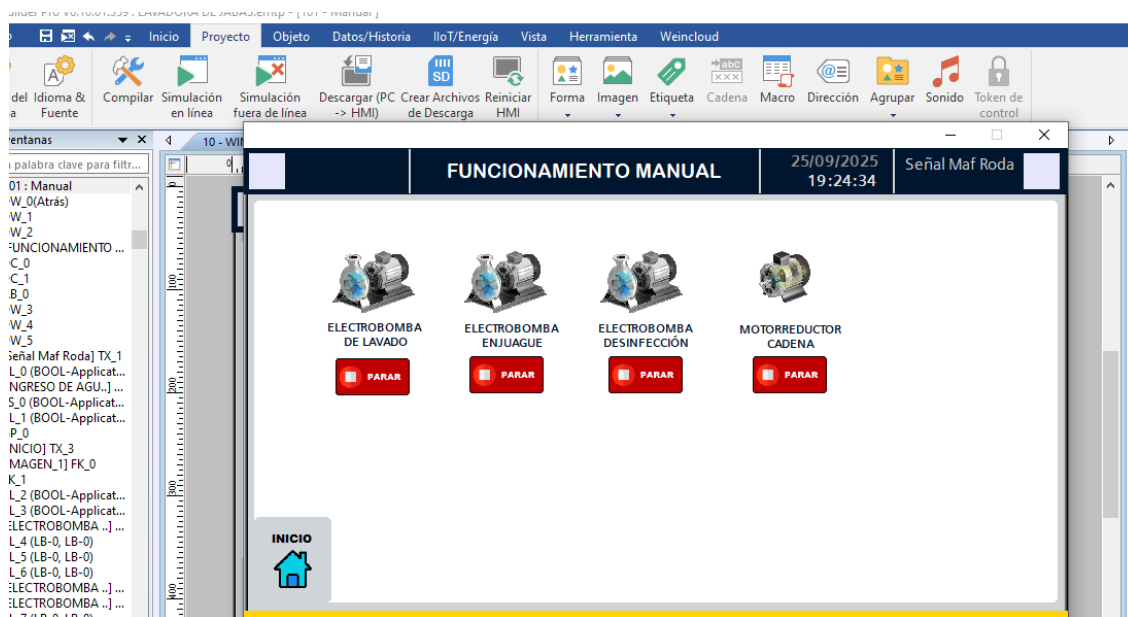


Fuente: Elaboración propia.

C. Simulación en modo manual

- Se comprobó la activación independiente de cada bomba y del motor transportador.
- Este modo permitió verificar que los equipos podían ponerse en marcha de forma individual para pruebas y mantenimiento.

Figura 29 - HMI Simulación manual.

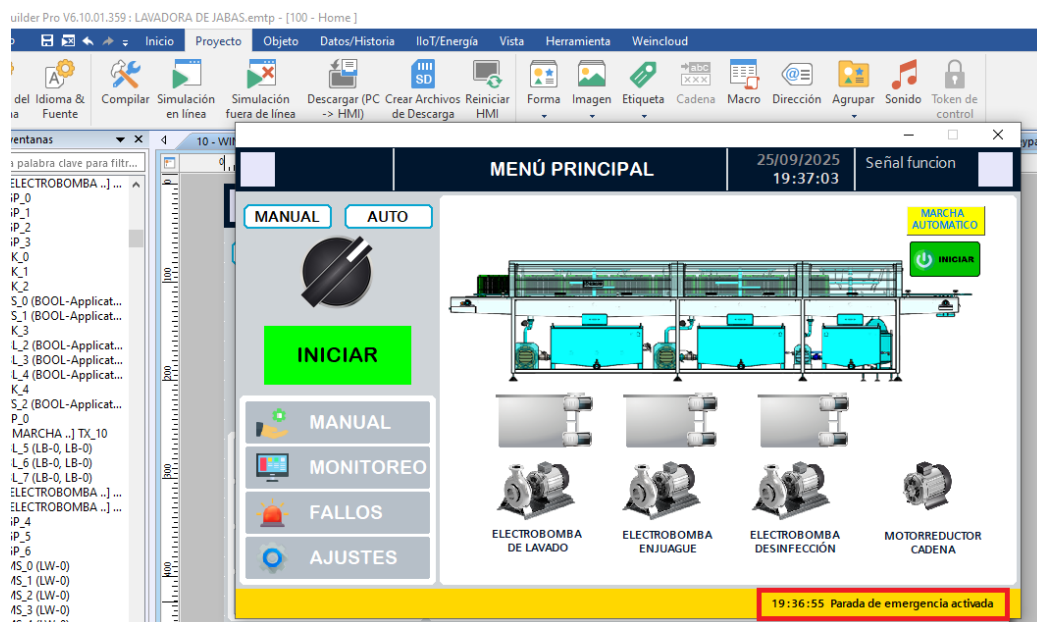


Fuente: Elaboración propia.

D. Prueba de alarmas y seguridad

- Se activaron alarmas visuales y sonoras cuando el nivel de agua fue insuficiente.
- Se simuló una sobrecarga en las bombas, confirmando que el sistema detenía el proceso automáticamente.
- Al presionar el pulsador de emergencia, se observó el paro inmediato de todos los actuadores.

Figura 30 - HMI simulación de alarmas.

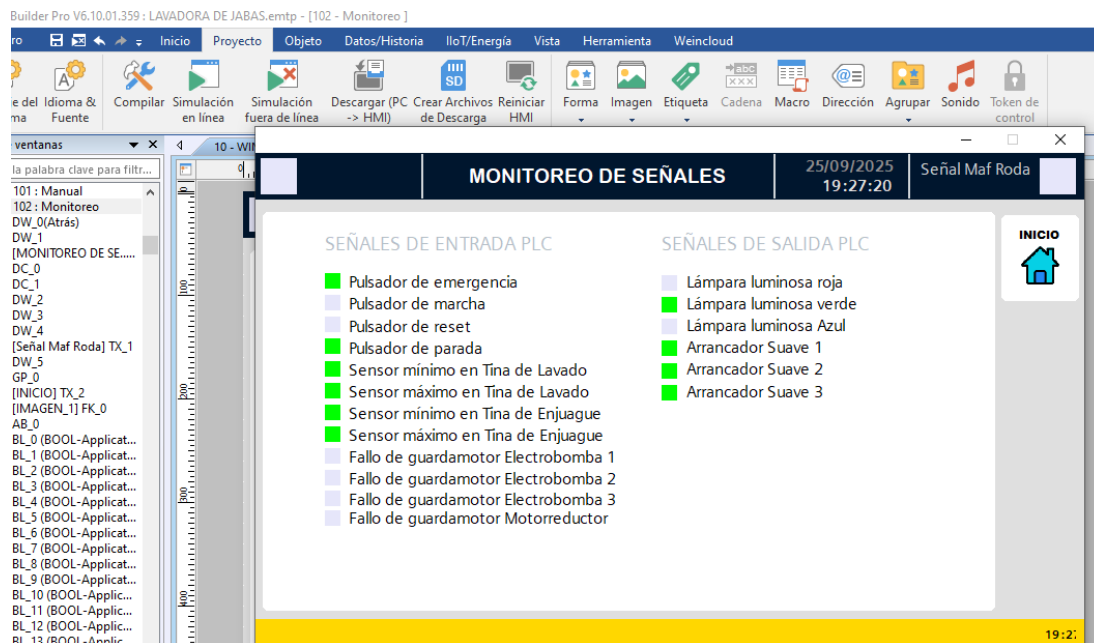


Fuente: Elaboración propia.

E. Validación en HMI

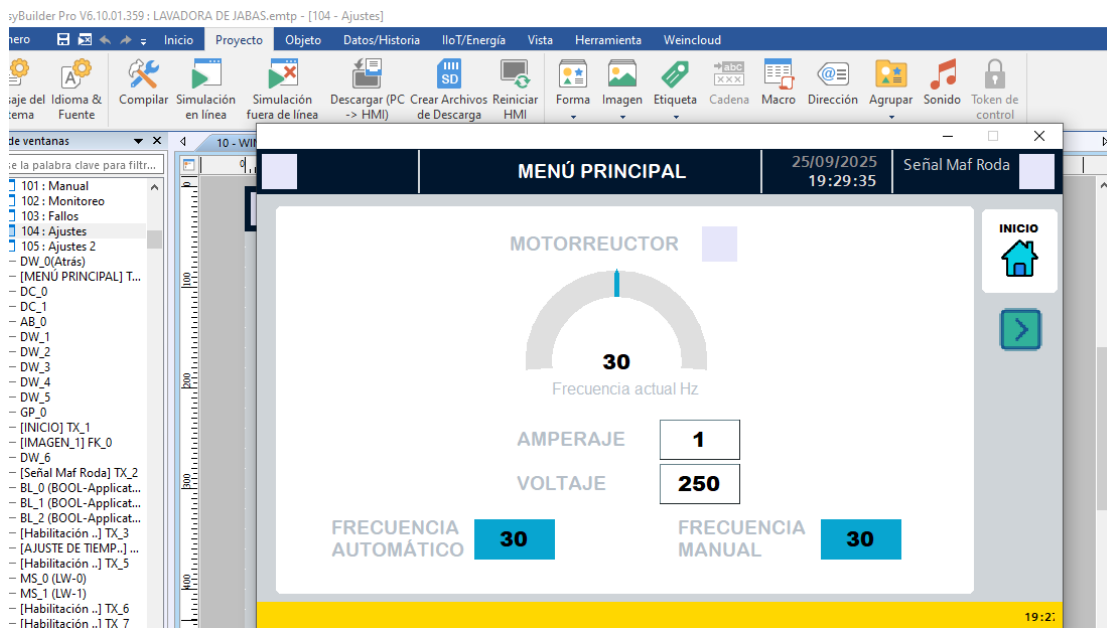
- Se corroboró que todos los estados de los dispositivos (bombas, motor, sensores) se visualizaran en la pantalla.
- El operador pudo ajustar los tiempos de cada etapa (lavado, enjuague y desinfección) de manera flexible.

Figura 31 - HMI monitoreo de señales.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32 - HMI velocidad de variador.



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Análisis de Resultados

En el sistema manual, el proceso de lavado de jabas requería la intervención de seis operarios para alcanzar una capacidad aproximada de 500 jabas por hora. Cada trabajador realizaba tareas de lavado, enjuague y desplazamiento de las jabas, lo cual implicaba un esfuerzo físico considerable, tiempos muertos y una alta dependencia del factor humano.

Con la implementación del sistema automatizado, el número de operarios se redujo a dos personas, encargadas principalmente de la supervisión del proceso y la carga/descarga del sistema. Esta automatización permitió triplicar la capacidad de lavado (de 400–500 jabas/hora a 1200 jabas/hora) y reducir en un 67% la cantidad de personal requerido, generando un ahorro significativo en costos de mano de obra anual.

Tabla 7 - Comparativo Proceso de Lavado

Indicador	Proceso Manual	Sistema Automatizado	Mejora / Ahorro
Personal requerido	6 operarios	2 operarios	-67%
Capacidad de lavado	500 jabas/hora	1200 jabas/hora	+140%
Producción diaria (8 horas)	4,000 jabas	9,600 jabas	+140%
Consumo de agua (L/día)	8,000 L	2,000 L (recirculada)	-75%
Consumo energético (kWh/mes)	450	380	-15.5%
Costo mensual de mano de obra (S/.)	9,000	3,000	Ahorro: 6,000 S/.
Costo anual estimado de operación (agua + energía + mantenimiento)	13,000	8,500	Ahorro: 4,500 S/.
Ahorro Total Anual Estimado (S/.)			10,500 S/.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la inversión inicial de S/ 32,000, una tasa de descuento del 10% anual y una vida útil de 5 años, los flujos netos de beneficios se proyectan como sigue:

Tabla 8 - Evaluación Económica del Proyecto (VAN y TIR)

Año	Flujo Neto (S/.)	Factor de Descuento (10%)	Valor Presente (S/.)
0	-32,000	1.000	-32,000
1	10,500	0.909	9,545
2	10,500	0.826	8,673
3	10,500	0.751	7,886
4	10,500	0.683	7,171
5	10,500	0.621	6,520
Total, VAN (S/.)			+7,795

Fuente: Elaboración propia.

TIR estimada: 17.2%

Periodo de Recuperación: 3.5 años.

Interpretación de Resultados

Los resultados obtenidos evidencian una mejora integral en la eficiencia del proceso, tanto en el aspecto técnico como económico. La automatización permitió:

- Reducir la cantidad de personal de seis a dos operarios (67% menos).
- Incrementar la capacidad de producción en más del 140%.
- Disminuir el consumo de agua en 75% y el consumo energético en 15.5%.
- Alcanzar un VAN positivo de S/ 7,795 y una TIR de 17.2%, superiores a la tasa de descuento del 10%, confirmando la viabilidad económica del proyecto.

Estos indicadores validan plenamente la hipótesis planteada: la implementación de un sistema automatizado de control permite incrementar la capacidad de lavado de jabas y optimizar los recursos humanos y materiales en la planta industrial de Lambayeque.

4.6 Evaluación de los resultados.

Análisis.

- Con el primer resultado

4.6.1 Diagnosticar la situación actual del proceso de lavado de jabas en el arándano.

El diagnóstico permitió identificar las principales limitaciones del proceso manual de lavado, tales como el alto consumo de tiempo y recursos, la variabilidad en la calidad de limpieza, la elevada dependencia de la mano de obra y los riesgos laborales asociados. Estos hallazgos evidenciaron la necesidad urgente de un sistema automatizado que garantice eficiencia, inocuidad y sostenibilidad en la operación.

- Con el segundo resultado

4.6.2 Seleccionar las máquinas y equipos de automatización.

La selección de componentes mecánicos, eléctricos y de control aseguró la viabilidad técnica del proyecto. La elección de materiales en acero inoxidable, bombas de alta potencia, sensores de nivel, un variador de velocidad y un PLC Schneider con interfaz HMI proporcionó una solución integral, adaptable y en concordancia con las exigencias de la industria agroexportadora.

- Con el tercer resultado

4.6.3 Desarrollar la lógica de control para el sistema automatizado.

La programación en Machine Expert y la filosofía de control definida garantizan un proceso secuencial, seguro y eficiente. Se estableció la comunicación entre PLC, HMI y dispositivos de

campo, validando la coherencia del sistema para operar en modo automático y manual, con salvaguardas de seguridad que previenen riesgos eléctricos, mecánicos y operativos.

- Con el cuarto resultado

4.6.4 Simular el sistema automatizado desarrollado.

La simulación virtual confirmó la efectividad de la programación y la correcta interacción entre los componentes seleccionados. Se validó que el sistema cumple con los requisitos de productividad, ahorro de recursos y también reducción de riesgos, además de que garantiza un monitoreo confiable desde el HMI. Esto reduce la probabilidad de que hayan fallos en la etapa de implementación física.

Síntesis

La evaluación de los resultados demuestra que el sistema automatizado que se propuso para el lavado de jabas de arándano es técnica y operativamente viable. El diagnóstico inicial que se hizo permitió evidenciar las deficiencias del proceso manual, lo que justifica la necesidad de modernización. La selección de equipos adecuados y también la implementación de una lógica de control robusta proporcionaron una solución integral que responde a los requerimientos de eficiencia, inocuidad y también sostenibilidad. Finalmente, la simulación corroboró que el diseño que se planteó es capaz de optimizar tiempos de proceso, reducir costos operativos, minimizar riesgos laborales y también garantizar los estándares de calidad que exige la industria agroexportadora.

4.7 **Discusión de los resultados.**

Los resultados que se obtuvieron en el desarrollo del sistema automatizado de lavado de jabas de arándano permiten establecer una comparación directa con el proceso manual que actualmente se utiliza en la planta. El diagnóstico inicial (4.1) evidenció deficiencias significativas en eficiencia, calidad y también seguridad, aspectos que fueron abordados en las siguientes fases del proyecto.

La selección de equipos y componentes (4.2) mostró que es posible integrar tecnologías que están disponibles en el mercado local —como bombas de recirculación de alta potencia, variadores de velocidad, sensores de nivel y un PLC Schneider TM241 con HMI Weintek— para conformar una solución compacta y estandarizada. Esto coincide con la tendencia que se señala en investigaciones previas sobre automatización en agroindustrias, donde la confiabilidad y también la disponibilidad de repuestos son factores claves para tener sostenibilidad operativa.

La lógica de control que se diseñó (4.3) aporta una secuencia estructurada que garantiza un proceso uniforme de lavado, enjuague y también desinfección, lo que reduce la variabilidad y el riesgo de contaminación cruzada. Esto responde directamente a los objetivos de asegurar la inocuidad alimentaria, alineándose con normativas internacionales que se exigen para la exportación de arándanos. Además, el sistema incorpora medidas de seguridad como alarmas y también paradas de emergencia, lo cual supera las limitaciones de seguridad que están presentes en el método manual.

La simulación del sistema (4.4) validó que la integración entre dispositivos mecánicos, eléctricos y también de control es funcional y cumple con las expectativas de diseño. La posibilidad de poder ajustar parámetros desde el HMI permite adaptar la capacidad productiva a la demanda, lo que ofrece flexibilidad y escalabilidad al proceso. Este resultado refuerza la premisa de que la

digitalización y también el control automatizado incrementan la competitividad en la industria agroexportadora, al garantizar procesos más rápidos, seguros y también económicos.

En términos comparativos, mientras que el proceso manual requería un elevado número de operarios, mayor consumo de agua y también detergentes, así como tiempos prolongados, el sistema automatizado reduce la dependencia de la mano de obra, optimiza recursos hídricos y energéticos, y también eleva la productividad general. Esto representa no solo una mejora tecnológica, sino también un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y también en la reducción de costos operativos.

Finalmente, los resultados confirman que el proyecto responde al objetivo general que se planteó, demostrando la viabilidad de implementar un sistema automatizado de lavado de jabas en la agroindustria del arándano. No obstante, se recomienda que estudios futuros validen la eficiencia del sistema en condiciones reales de planta y también con volúmenes de producción elevados, esto a fin de complementar la simulación con datos empíricos de operación continua.

CONCLUSIONES

- El análisis del proceso manual evidenció ineficiencias críticas en tiempos de operación, consumo de agua, energía y también estabilidad del lavado, así como elevados riesgos laborales y variabilidad en la calidad. Estos hallazgos que se obtuvieron confirman la necesidad de un sistema automatizado que incremente la capacidad operativa y también mejore la inocuidad del proceso de lavado de jabas.
- La selección de componentes de automatización fue técnicamente viable y adecuada, integrando bombas de recirculación, sensores de nivel, variadores de velocidad, arrancadores suaves, un PLC Schneider y también un HMI Weintek. La elección de estos dispositivos garantizó compatibilidad, confiabilidad y también cumplimiento de normas de seguridad industrial, lo que permitió un diseño robusto y escalable.
- La lógica de control que se desarrolló permitió estructurar un proceso secuencial, seguro y estandarizado, lo cual reduce la variabilidad del lavado, enjuague y también desinfección. La implementación de rutinas de seguridad, paradas de emergencia y también monitoreo constante aseguró un funcionamiento preciso y adaptable, elevando el nivel de control del proceso frente al método manual que se tenía.
- La simulación validó la eficiencia del sistema que se diseñó, demostrando reducciones significativas en tiempos de ciclo, ahorro de recursos y también mejora en la uniformidad del proceso. Asimismo, permitió verificar el comportamiento del sistema ante fallas, la respuesta de las alarmas y también la supervisión a través del HMI, lo que confirma la viabilidad técnica y operativa del sistema automatizado.

RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de forma gradual mediante pruebas piloto, con el fin de validar su desempeño real en planta, ajustar parámetros operativos y detectar posibles mejoras antes de la implementación total. Esto permitirá garantizar un arranque seguro y una transición eficiente desde el proceso manual
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para bombas, sensores, variadores, tableros y mecanismos de transporte, con cronogramas periódicos y registros de intervención. Con ello se asegura la continuidad operativa del sistema, reduce costos correctivos y alarga la vida útil de los equipos.
- Capacitar al personal de operación y mantenimiento en el uso de la HMI, interpretación de alarmas, protocolos de seguridad y procedimientos de operación. La correcta interacción del operario con el sistema es clave para garantizar una operación segura, estable y eficiente.
- Monitorear de manera continua los indicadores de desempeño del proceso, como tiempos de ciclo, consumo de agua y energía, cantidad de jabs procesadas, alarmas recurrentes y disponibilidad del sistema. Esto permitirá medir objetivamente el impacto del sistema automatizado y aplicar mejoras continuas.
- Se sugiere que estudios futuros evalúen el funcionamiento del sistema en condiciones reales durante campañas de alta demanda, midiendo su comportamiento ante grandes volúmenes de producción y variaciones en las condiciones operativas, a fin de complementar los resultados obtenidos en la simulación y asegurar su escalabilidad.

REFERENCIAS

- Antiva Osorio. (2022). *Automatización del riego a partir de los parámetros hidrodinámicos del sustrato en un cultivo de arándanos*.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2176?locale-attribute=en>
- Antonio Creus Solé. (2010). *Instrumentación Industrial 8ª Ed. - Marcombo—Libros técnicos, de arte, formación y científicos*. https://www.marcombo.com/libro/libros-tecnicos-de-arte-y-cientificos/electronica-libros-tecnicos-y-cientificos/instrumentacion-electronica/instrumentacion-industrial-8a-ed/?srsltid=AfmBOoodLlePL7uN4GV2D-OD_TlmlxSr74vQKM-3DDREmYKeH36d8KGM
- Baca Lopez. (2021). *Diseño y simulación de un sistema automatizado del proceso de producción de arándanos frescos para el incremento de la productividad en una empresa exportadora*. <https://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/4489>
- Bolton. (2010). *Libro Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica De Bolton—Buscalibre*. <https://www.buscalibre.pe/libro-mecatronica-sistemas-de-control-electronico-en-la-ingenieria-mecanica-y-electrica/9789587783292/p/49990635>
- DOOR3. (2023). *Diseño de sistemas automatizados: Agilizar la eficiencia y la innovación*. DOOR3. <https://www.door3.com/blog/automated-systems-design>
- Flores & Julca. (2023). *Diseño de una máquina automatizada armadora de canastilla plásticas para el proceso de empacado de fruta en la empresa agrícola Cerro Prieto s.a.*
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11605>
- Intagri. (2017). *El Cultivo de Arándano o Blueberry | Intagri S.C.*
<https://www.intagri.com/articulos/frutillas/El-Cultivo-de-Arándano-o-Blueberry>

Jeldres Romero, J.- juanjeldesromero@gmail.com. (2014). *Implementación y automatización de un sistema de pesaje de arándanos.*

<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/1198>

Maf Roda. (2023). *La automatización, herramienta clave en el desarrollo del sector del arándano.* <https://www.poscosecha.com/maf-roda/la-automatizacion-herramienta-clave-en-el-desarrollo-del-sector-del-arandano>

Pérez, E. M., Acevedo, J. M., & Silva, C. F. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización.* Marcombo.

Ruiz Ruiz, A. (2024). *Implementación de un Proyecto Piloto para la Automatización del Proceso de Cosecha de Arándano del Negocio de Congelado para Mejorar la Productividad y Competitividad en la Empresa Camposol S.A. - Virú.*

<https://hdl.handle.net/20.500.14414/21026>

Salcedo Gonzalez, J. C. (2023). *Diseño de una máquina automatizada, para la obtención de un corte tipo bastón de papa nativa en la Empresa Taya, Huancavelica.* *Universidad Continental.* <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13295>

ANEXOS

ANEXO 1

1.1 Imágenes de campo del equipo.

a. Lavado de jabas manual.



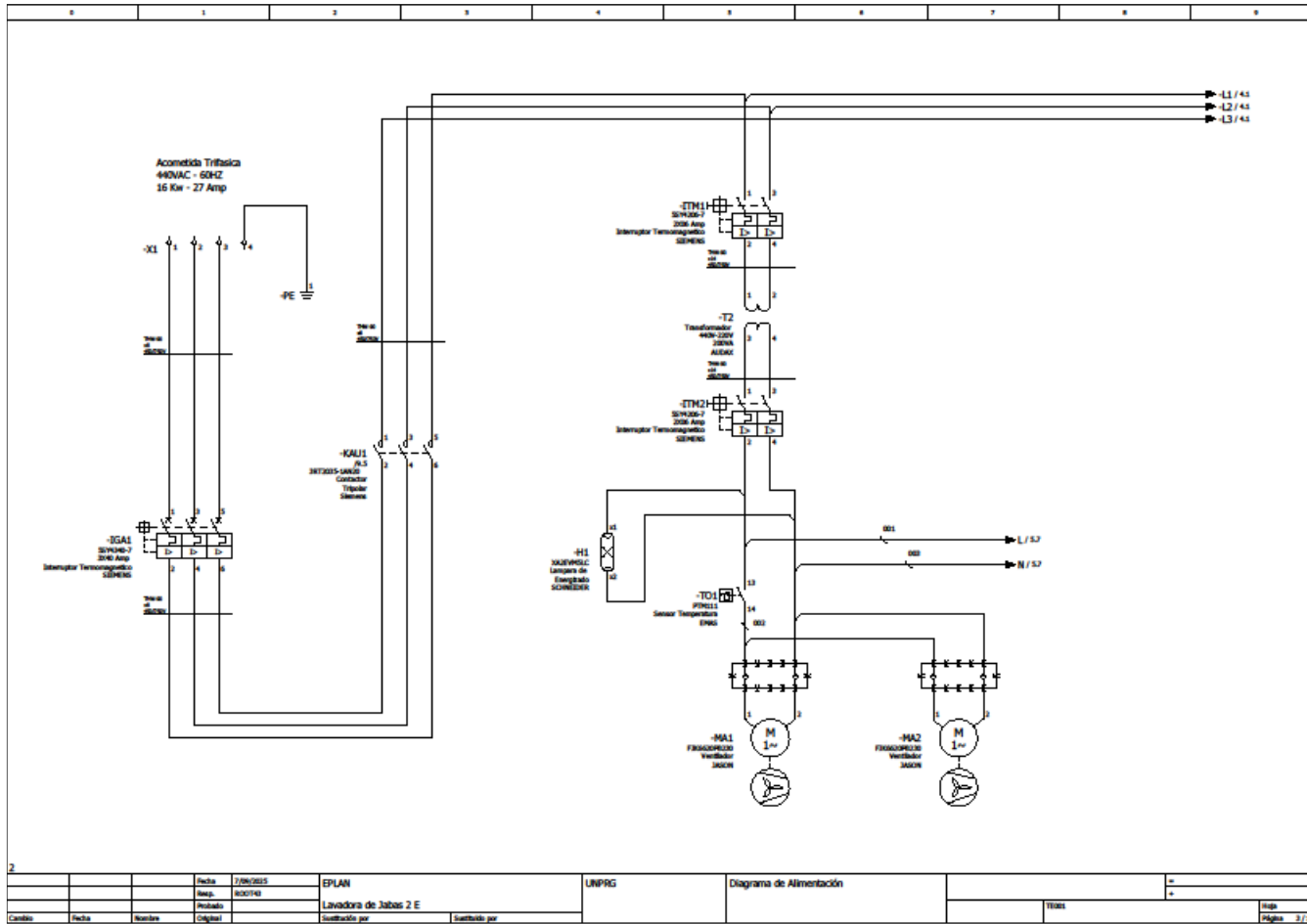


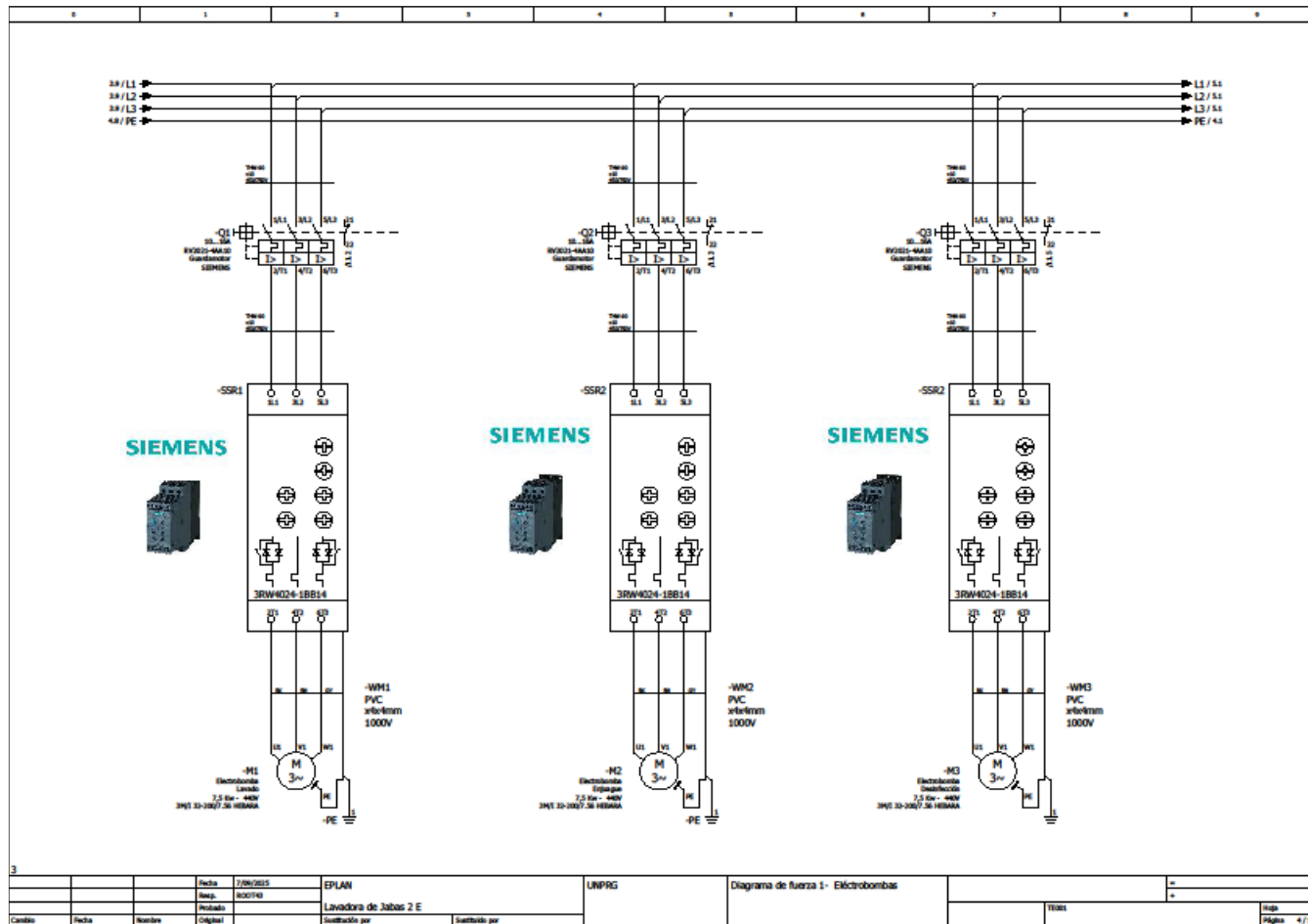
ANEXO 2

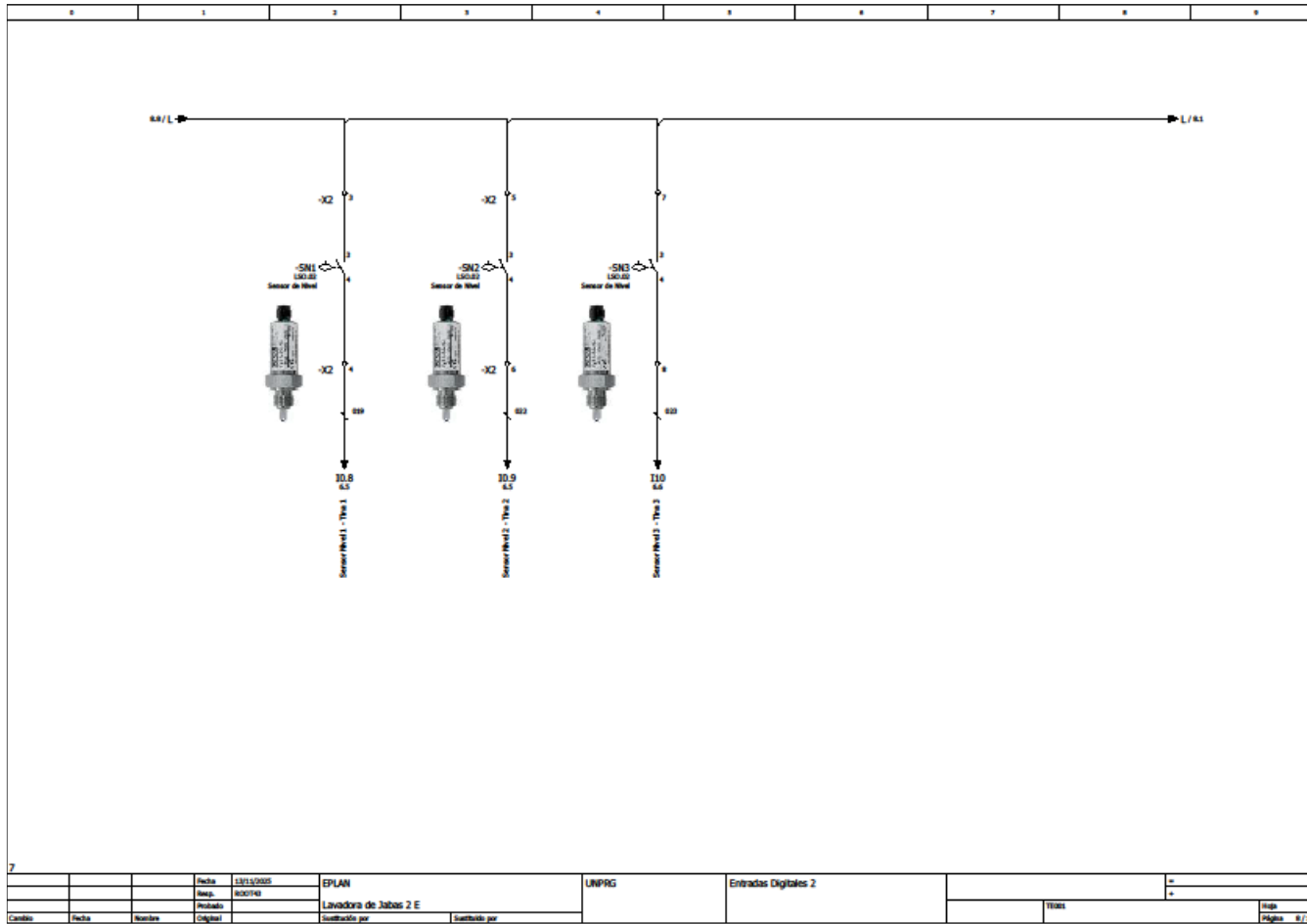
2.1 Diagramas Eléctricos.

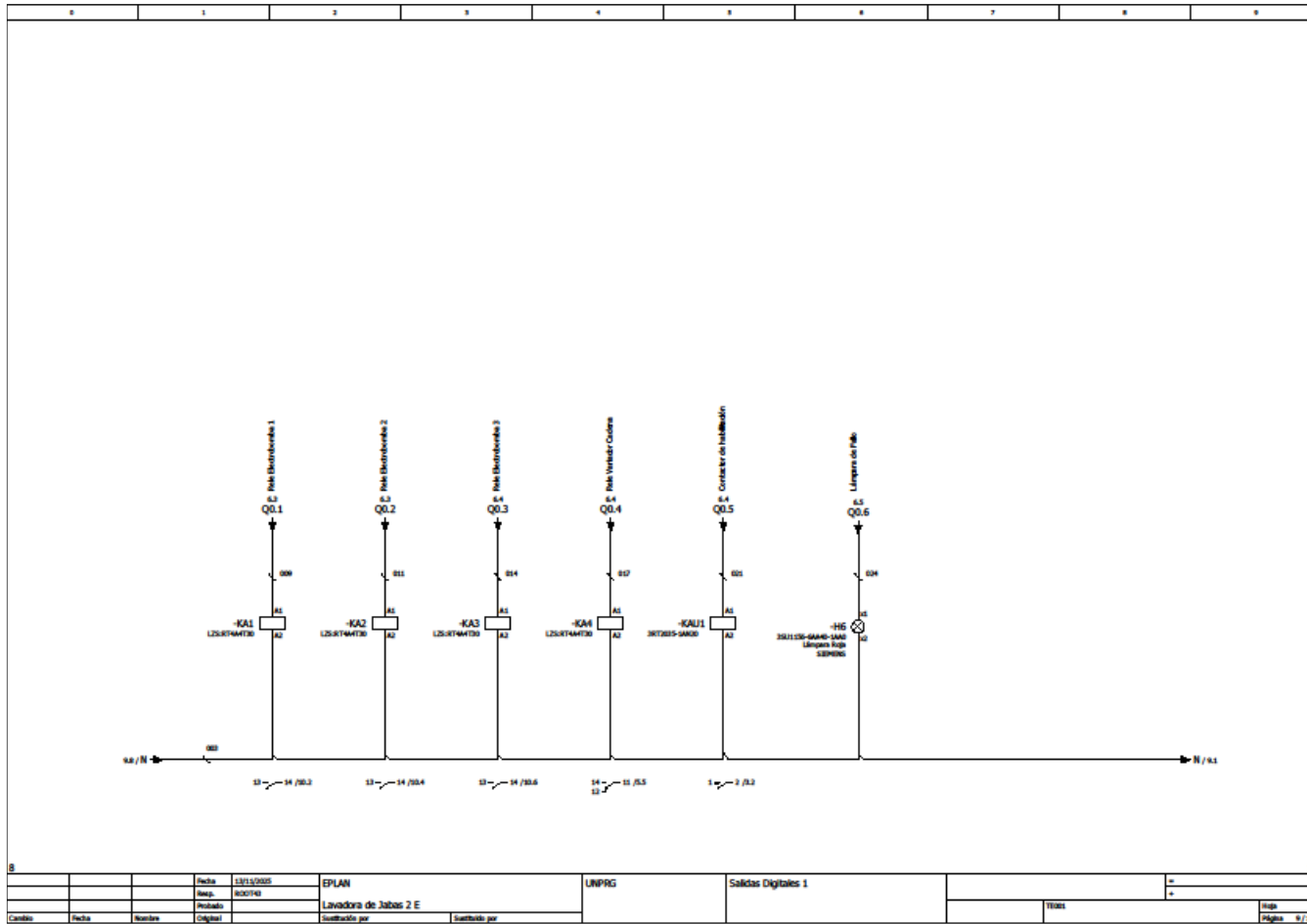
a. Diagramas Eléctricos.

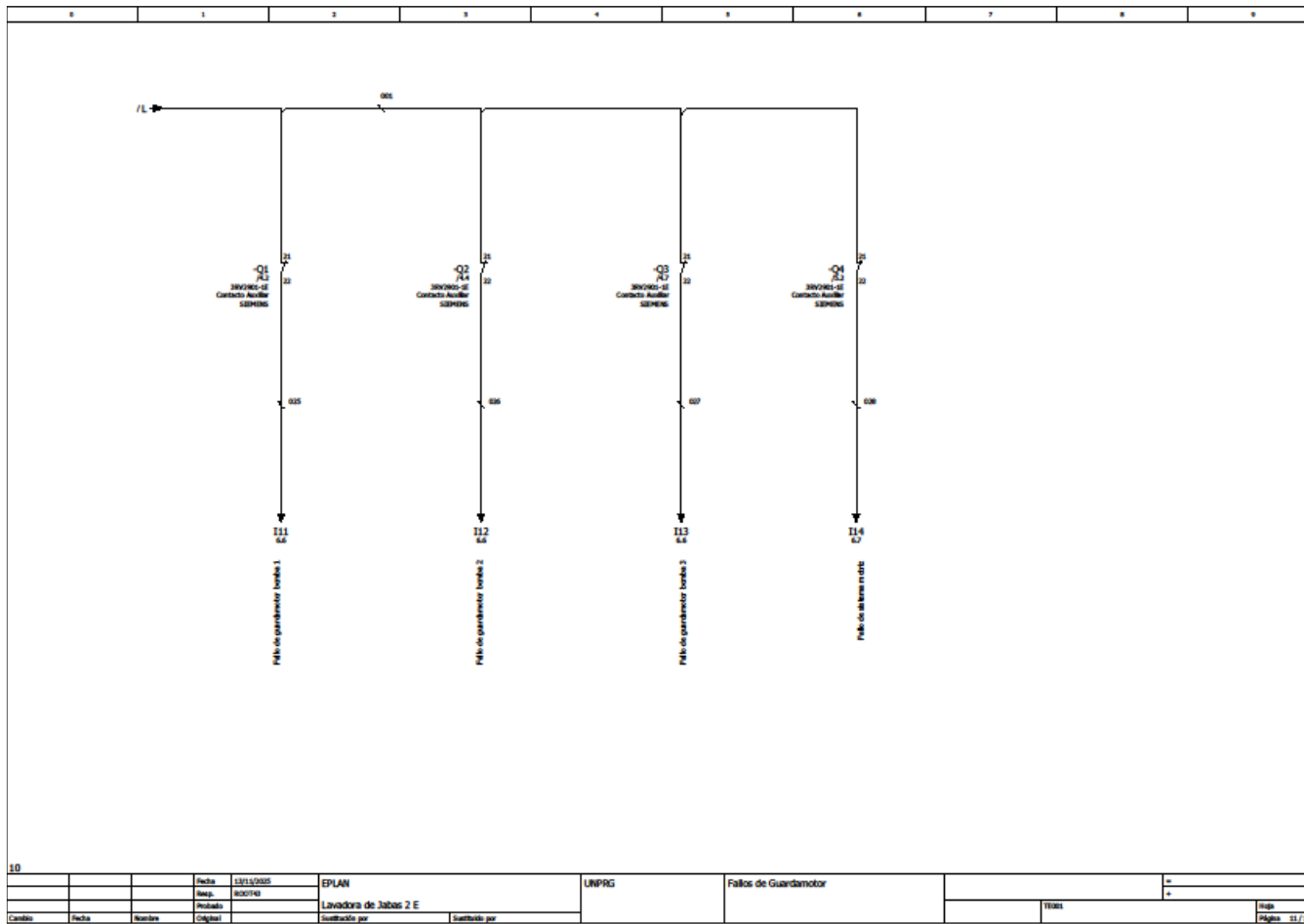
1	2	3	4	5	6	7	8	9
TABLEROS ELECTRICOS								FOL_00
Ingeniería de Maquinaria - Automatización Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque								Lambayeque - Perú
Empresa/Cliente		Proyecto de Investigación UNPRG						
Descripción del Proyecto		Lavadora de Jabas 2 E						
Número de diseño		TE001						
Circuito		Diagramas eléctricos						
Nombre de proyecto		Lavadora 2 Etapas						
Acometida: III + T.T		Tensión: 460 V						
Consumo Eléctrico:		38 Amp						
Tensión de mando:		220 VAC						
Potencia:		23 Kw						
Responsable del proyecto		Jonathan & Fressia						
Creado		21/02/2025				Número de páginas		13
Modificado		13/11/2025				Año de Construcción:		2025
								2
	Fecha	21/02/2025	EPLAN		UNPRG	Hoja de portada		=
	Fecha	02/02/2025	Crear Diagrama					=
	Fecha		Lavadora de Jabas 2 E					
Cambio	Fecha	Nombre	Objeto	Creado por	Revisado por	Título		Hoja
								1
								Página 1 / 13







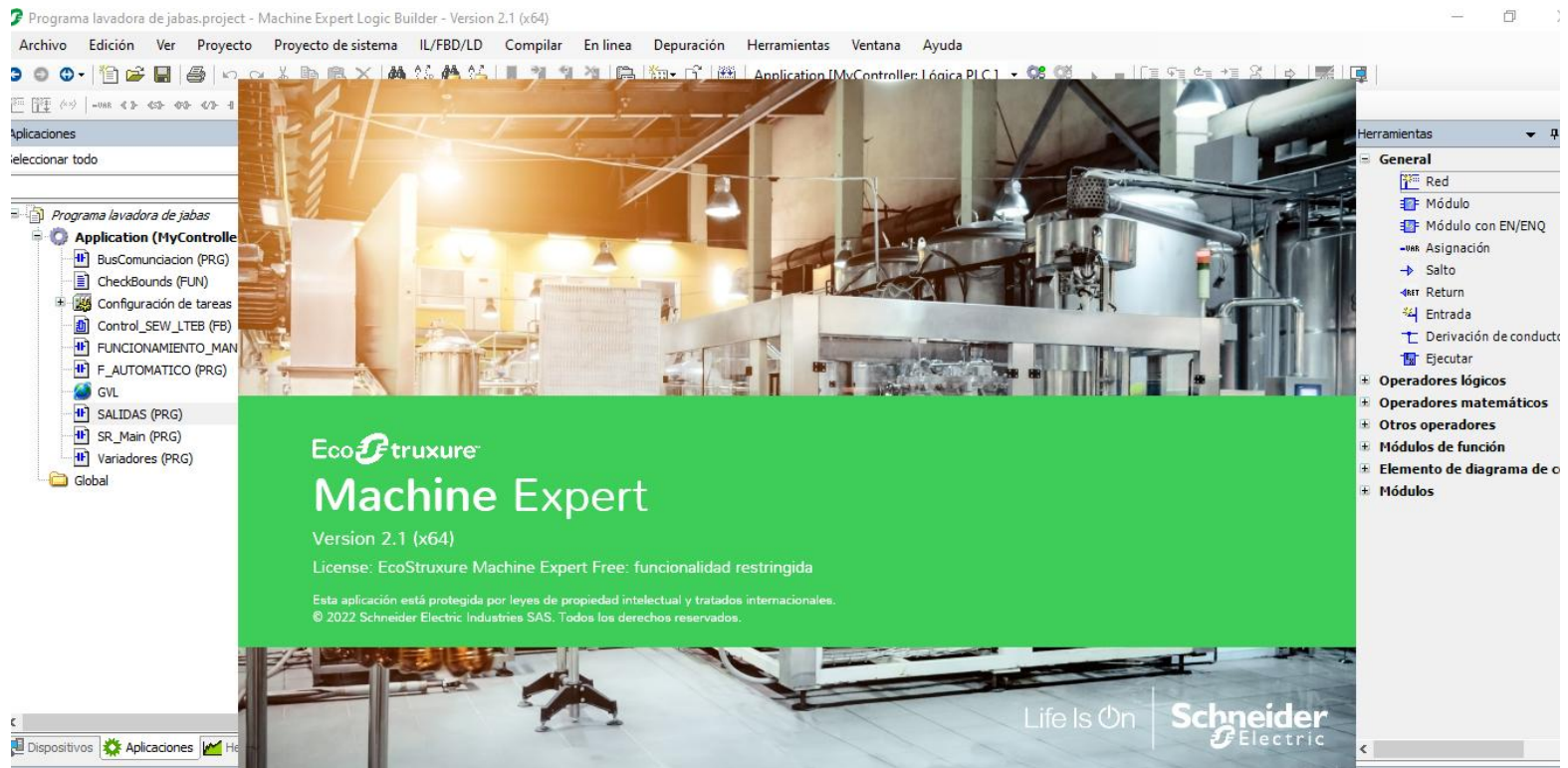


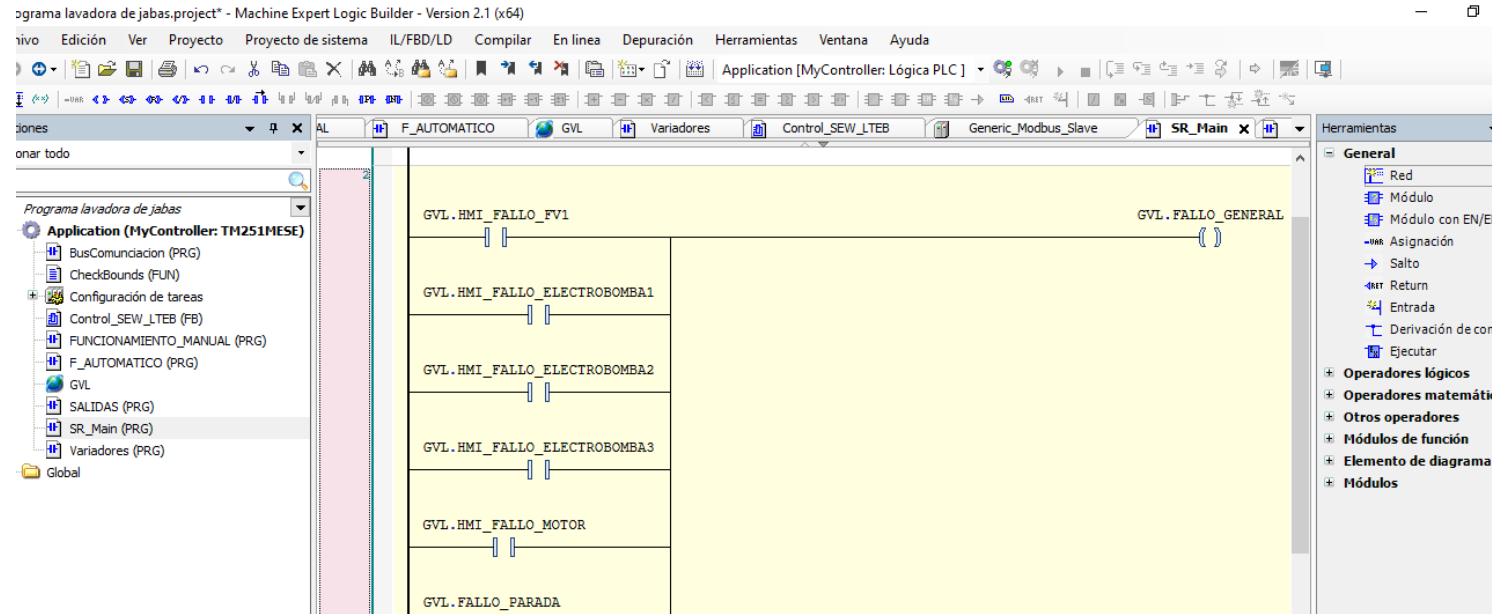


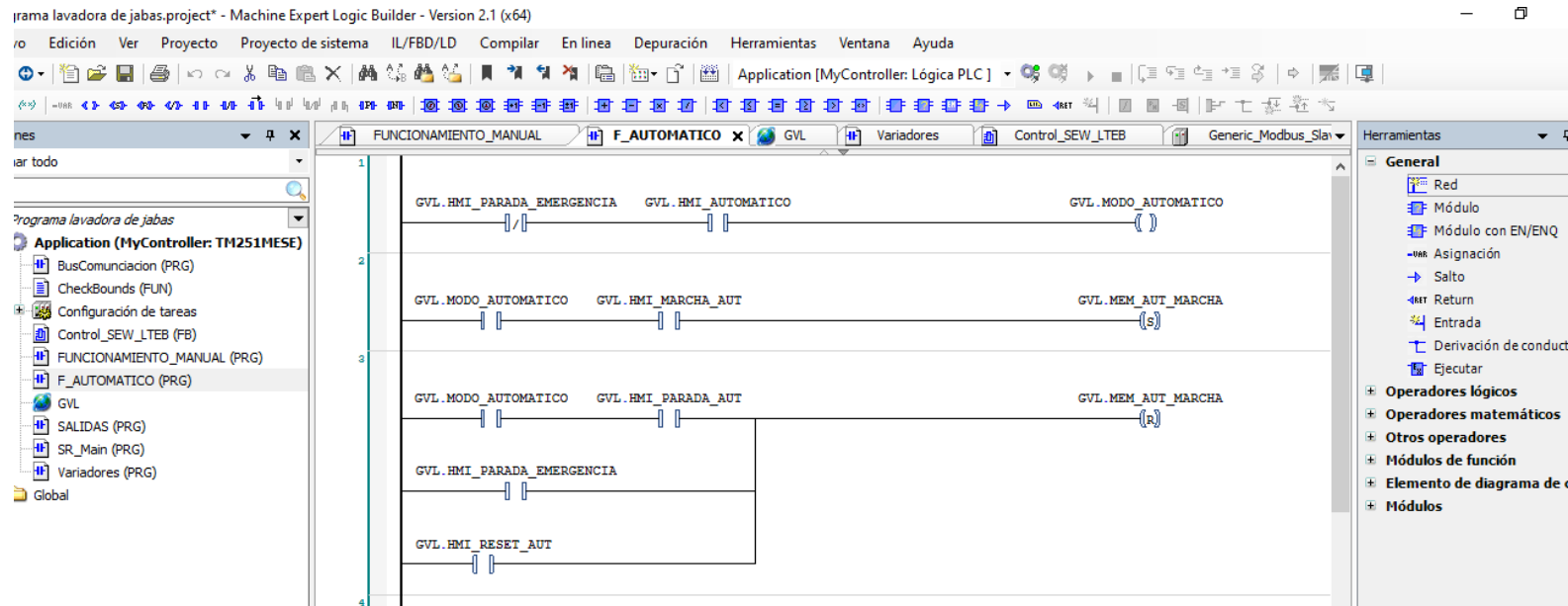
ANEXO 3

3.1 Código de Programación.

a. Código de programación.







'rograma lavadora de jabas.project* - Machine Expert Logic Builder - Version 2.1 (x64)

Archivo Edición Ver Proyecto Proyecto de sistema IL/FBD/LD Compilar En línea Depuración Herramientas Ventana Ayuda

Application [MyController: Lógica PLC]

Funciones

Clonar todo

Programa lavadora de jabas

Application (MyController: TM251MESE)

- BusComunicacion (PRG)
- CheckBounds (FUN)
- Configuración de tareas
- Control_SEW_LTEB (FB)
- FUNCIONAMIENTO_MANUAL (PRG)
- F_AUTOMATICO (PRG)
- GVL
- SALIDAS (PRG)
- SR_Main (PRG)
- Variadores (PRG)
- Global

Herramientas

General

- Red
- Módulo
- Módulo con
- Asignación
- Salto
- Return
- Entrada
- Derivación d
- Ejecutar
- Operadores lógico
- Operadores mater
- Otros operadores
- Módulos de funció
- Elemento de diagr
- Módulos

```

/// FUNCIONAMIENTO EN MODO MANUAL ///
GVL.HMI_PARADA_EMERGENCIA      GVL.HMI_AUTOMATICO      GVL.MODO_MANUAL
||/|                            ||/|                            ( )

////### MARCHA MANUAL TRANSPORTADOR DE CADENA #1 ###/////
GVL.MODO_MANUAL      GVL.HMI_FALLO_FV1      GVL.MARCHA_VFD_MOTOR      GVL.SALIDA_MANUAL_MOTOR01
||/|                  ||/|                  ||/|                  ( )

////### MARCHA MANUAL ELECTROBOMBA 1 ###/////
GVL.MODO_MANUAL      GVL.HMI_FALLO_ELECTROBOMBA1      GVL.MARCHA_ELECTROBOMBA1      GVL.SALIDA_MANUAL_ELECTROBOMBA1
||/|                  ||/|                  ||/|                  ( )

////### MARCHA MANUAL ELECTROBOMBA 2 ###/////
GVL.MODO_MANUAL      GVL.HMI_FALLO_ELECTROBOMBA2      GVL.MARCHA_ELECTROBOMBA2      GVL.SALIDA_MANUAL_ELECTROBOMBA2
||/|                  ||/|                  ||/|                  ( )

////### MARCHA MANUAL ELECTROBOMBA 3 ###/////
GVL.MODO_MANUAL      GVL.HMI_FALLO_ELECTROBOMBA3      GVL.MARCHA_ELECTROBOMBA3      GVL.SALIDA_MANUAL_ELECTROBOMBA3
||/|                  ||/|                  ||/|                  ( )

```





