



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN
DE LAVADO AUTOMATIZADA CON LIMPIADOR ULTRASÓNICO
PARA UNA ETAPA DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FRUTAS**

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

AUTOR: JUSTO BAUTISTA MORÁN ZAVALA

TUTOR: ING. DIEGO ROBERTO FREIRE QUIROGA, MSc

Guayaquil - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Justo Bautista Morán Zavala con documento de identificación N° 0950604587, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 1 de septiembre de 2025.

Atentamente,



Justo Bautista Morán Zavala

0950604587

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

Yo, Justo Bautista Morán Zavala con documento de identificación N° 0950604587, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño e implementación de un prototipo de estación de lavado automatizada con limpiador ultrasónico para una etapa de línea de producción de frutas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 1 de septiembre de 2025

Atentamente,



Justo Bautista Morán Zavala

0950604587

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Roberto Freire Quiroga con documento de identificación N° 0917208084, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE LAVADO AUTOMATIZADA CON LIMPIADOR ULTRASÓNICO PARA UNA ETAPA DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FRUTAS", realizado por Justo Bautista Morán Zavala con documento de identificación N° 0950604587, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 1 de septiembre de 2025

Atentamente,



Ing. Diego Roberto Freire Quiroga, MSc.
0917208084

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada instante de mi vida. Gracias por bendecirme con sabiduría, perseverancia y valentía para alcanzar este sueño. A Él sea toda la gloria, y como dice su Palabra: “Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13).

A mis padres, Justo Morán Pérez y Daisy Leonor Amaya, y junto a mi hermana menor, Katherine Morán Zavala, quienes con amor incondicional me han alentado en los momentos más difíciles y celebrado los pequeños logros. Gracias por no dejar que me rinda, por motivarme siempre a seguir adelante y por ser la razón de mi esfuerzo diario.

A ustedes, mi más profundo agradecimiento, porque este logro también les pertenece; sin su apoyo, este camino no habría sido posible.

Justo Moran Zavala

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, mi más sincero y profundo agradecimiento a Dios Todopoderoso, por ser mi guía constante, mi refugio en la dificultad y mi fortaleza en los momentos de debilidad. Gracias por las innumerables bendiciones derramadas sobre mi vida, la de mi familia, mis compañeros y mis docentes. Su Palabra me recuerda siempre que “El principio de la sabiduría es el temor de Jehová” (Proverbios 9:10), y ha sido Su sabiduría la que me ha sostenido y conducido hasta este momento tan especial.

Con un amor infinito, doy gracias a mis progenitores, Justo Morán Pérez y Daisy Leonor Amaya. Ellos me educaron con valores sólidos y me instruyeron para que con fe persista en cada objetivo que me trazo. En todos los momentos de mi vida, y en particular durante esta etapa universitaria, ellos han sido el pilar incondicional y la base de todo. Su ayuda, su sacrificio y su amor son los que me han motivado a seguir adelante y no rendirme nunca. “Honra a tu padre y a tu madre, para que tus días se alarguen en la tierra que Jehová tu Dios te da” (Éxodo 20:12). Queridos padres, este logro también les pertenece a ustedes.

Agradezco a mi hermana, Katherine Morán Zavala, por ser un apoyo y fuente de inspiración en los tiempos difíciles y por recordarme que la fe y el trabajo arduo permiten lograr los sueños.

A mis colegas y compañeros de la universidad, gracias por los ánimos que me dieron, por el apoyo que me ofrecieron en los momentos más difíciles y por acompañarme en este recorrido lleno de desafíos y aprendizajes.

Estoy especialmente agradecido con mi tutor de tesis, MSc. Diego Freire Quiroga, por la orientación, la paciencia y el apoyo en esta fase crucial de mi desarrollo profesional. Dios lo guarde y lo ampare en todos los días venideros.

Por último, a todos los que han formado parte de este proceso de alguna manera, les agradezco eternamente. Como se encuentra escrito en Jeremías 29:11: “Porque yo sé los planes que tengo para vosotros, dice Jehová, planes de bienestar y no de mal, para daros un futuro y una esperanza.”

Justo Morán Zavala

RESUMEN

Este proyecto técnico presenta la elaboración y ejecución de un modelo experimental de estación de lavado automatizada con limpiador ultrasónico, enfocado en una fase del proceso productivo de frutas. El control se lleva a cabo a través de un panel HMI y un PLC Siemens S7-1500. Este estudio surge de la necesidad de investigar nuevas aplicaciones para los limpiadores ultrasónicos en procesos agroindustriales, dado que su empleo ha predominado en los sectores médico y de manufactura precisa, pero ha sido poco utilizado en la industria alimentaria. En este marco, el proyecto tiene como objetivo evidenciar la viabilidad operacional y técnica de implementar esa tecnología en un ambiente automatizado. Además, busca contribuir al fortalecimiento práctico y académico de los alumnos de la Universidad Politécnica Salesiana en el ámbito del control industrial y la automatización.

La primera etapa del desarrollo del sistema fue el análisis y la comprensión del procedimiento de lavado, teniendo en cuenta fases como la identificación de envases con frutas, el control de la temperatura del agua a través de resistencias para calentarla, la activación del transductor ultrasónico y finalmente, la extracción del contenedor para reiniciar el ciclo. Cuando se estableció la secuencia de operaciones, se diseñó el esquema de programación dentro del software TIA Portal V18. Esto permitió que tanto la interfaz gráfica de operación en el HMI como la lógica de control en el PLC quedaran configuradas, lo cual asegura una interacción segura y amigable con el usuario.

La metodología utilizada es de carácter experimental e investigativa, con el objetivo de corroborar el comportamiento de los distintos subsistemas, garantizar la estabilidad del proceso y verificar que la activación de cada componente sea precisa. Para ello, se llevaron a cabo ensayos utilizando el transductor de temperatura PT100, el módulo de conversión analógica de temperatura, el módulo step-down LM2596S DC-DC, el controlador de potencia del transductor ultrasónico y el circuito que regula la resistencia para calentar.

El prototipo muestra resultados positivos, evidenciando que la combinación de limpieza ultrasónica y un sistema automatizado de control presenta beneficios en términos de eficiencia y uniformidad durante el lavado, factores cruciales para el sector de procesamiento de frutas. Además, el proyecto contribuye al ámbito académico, ya que sirve como ejemplo práctico para investigaciones futuras sobre la implementación de tecnologías automatizadas en procesos

agroindustriales.

Palabras clave: TIA Portal, PLC S7-1500, HMI, Limpiador Ultrasónico, Resistencia de Calentamiento de Agua, Sensor PT100, Módulo Step-Down LM2596S DC-DC, Driver de Potencia Ultrasónica, Automatización Agroindustrial.

ABSTRACT

This thesis project presents the development and implementation of an experimental model of an automated washing station with an ultrasonic cleaner, focused on a stage of the fruit production process. The control system is carried out through an HMI panel and a Siemens S7-1500 PLC. This study arises from the need to explore new applications for ultrasonic cleaners in agro-industrial processes, given that their use has mainly been concentrated in the medical and precision manufacturing sectors, with limited implementation in the food industry. Within this context, the project aims to demonstrate the operational and technical feasibility of applying this technology in an automated environment. Furthermore, it seeks to contribute to the academic and practical training of students at Salesian Polytechnic University in the field of industrial control and automation.

The first stage of system development consisted of analyzing and understanding the washing procedure, considering steps such as identifying containers with fruits, controlling the water temperature through heating resistors, activating the ultrasonic transducer, and finally extracting the container to restart the cycle. Once the sequence of operations was defined, the programming scheme was designed in TIA Portal software. This allowed both the graphical user interface on the HMI and the control logic in the PLC to be configured, ensuring a safe and user-friendly interaction.

The methodology applied was experimental and research-oriented, with the objective of verifying the performance of the different subsystems, ensuring process stability, and confirming the precise activation of each component. For this purpose, tests were conducted using the PT100 temperature transducer, the analog conversion module, the LM2596S DC-DC step-down module, the ultrasonic transducer power driver, and the heating resistor control circuit.

The prototype showed positive results, evidencing that the combination of ultrasonic cleaning with an automated control system provides significant benefits in terms of efficiency and uniformity during the washing process—factors that are crucial for the fruit processing industry. Additionally, this project contributes to the academic field, as it serves as a practical example for future research on the implementation of automated technologies in agro-industrial processes.

Keywords: TIA Portal, PLC S7-1500, HMI, Ultrasonic Cleaner, Water Heating Resistor, PT100 Sensor, LM2596S DC-DC Step-Down Module, Ultrasonic Power Driver, Agro-Industrial Automation.

Índice de Contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
I. Introducción	1
II. Problema	3
2.1 Justificación	5
III. Objetivos	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos específicos	6
IV. Marco Hipotético	7
V. Fundamento Teórico	8
5.1 Automatización Industrial	8
5.1.1 Automatización a Procesos de Limpieza Agrícola	8
5.1.2 Impacto ambiental	9
5.2 Hardware	9
5.2.1 PLC S7-1500	9
5.2.2 HMI (Human Machine Interface)	12
5.3 Software de Desarrollo	19
5.3.1 Tia Portal V18	19

5.4 Lavado de Frutas: Proceso de Limpieza con ultrasónico	20
VI. Marco Metodológico	22
6.1 Diseño de la Estructura	22
6.2 Diseño del Circuito	24
6.2.1 Censar recipiente	24
6.2.2 Activación del calentador de agua	25
6.2.3 Activación del transductor ultrasónico	25
6.2.4 Giro inverso del motorreductor	26
6.2.5 Reactivación de la banda transportadora	26
6.3 Programación en Tia Portal V18	27
6.3.1 Bloque de Control Automático	27
6.3.2 Bloque de Control Manual	33
6.3.3 Interfaz Gráfica de Control	37
6.3.4 Variables del PLC (TAGS)	39
6.3.5 Variables del HMI (TAGS)	40
6.3.6 Conexión Tablero de Automatización	40
6.3.6 Conexión Prototipo	42
VII. Análisis de Resultados	47
7.1 Hipótesis 1: Capacidad de procesamiento de 5 frutas en 5 minutos	47
7.2 Hipótesis 2: Influencia de la potencia ultrasónica y tipo de fruta	48
7.4 Tabla resumen de variables y resultados	51
VIII. Cronograma	52
IX. Presupuesto	53
X. Conclusiones	55
XI. Recomendaciones	56
XII. Referencias Bibliográficas	58

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Proceso automatizado para lavado de frutas</i> (Nichola McGregor, 2025).....	8
Figura 2. <i>PLC SIMATIC S7-1500-Siemens CL</i> (Siemens, 2023)	10
Figura 3. <i>Partes del PLC S7-1500</i> (QBPROFE, 2023).....	10
Figura 4. <i>Pantalla principal del HMI KTP-700</i> (SIEMENS, 2024)	12
Figura 5. <i>Sensor Fotoeléctrico Tipo Cilíndrico – BRP200-DDTN</i> (Autonics, 2024).....	13
Figura 6. <i>Resistencia Calentador de Agua</i>	14
Figura 7. <i>PT100 – Sensor de temperatura RTD con dos hilos de platino</i> (NOVAtronic, 2024)	14
Figura 8. <i>Modulo LM2596 - Regulador Step Down</i> (TECmikro, 2024)	15
Figura 9. <i>Motor DC con caja reductora</i> (EDUTRONICAS, 2024).....	16
Figura 10. <i>Generador Ultrasónico Limpiador Power Driver Board</i> (ModuleMe Electronic, 2025).....	16
Figura 11. <i>Transductor Ultrasónico de 40 KHz</i> (ModuleMe Electronic, 2025).....	17
Figura 12. <i>Relé de 8 pines con bobina de 24V DC con base</i> (HALMS, 2025).....	18
Figura 13. <i>Transductor de Temperatura Pixsys Modelo 2000.35.015</i>	19
Figura 14. <i>Programa TIA PORTAL V18</i> (Siemens S.A., 2024).....	20
Figura 15. <i>Estructura metálica del prototipo</i>	23
Figura 16. <i>Montaje de los equipos y caja de conexión</i>	23
Figura 17. <i>Inicio del proceso en modo automático</i>	27
Figura 18. <i>Bloque de código para establecer secuencias/pasos</i>	28
Figura 19. <i>Encendido de la banda transportadora al momento de poner en marcha</i>	28
Figura 20. <i>Línea de código para censar el recipiente con frutas</i>	29
Figura 21. <i>Línea de código para activar los motores dc con caja reductora</i>	29
Figura 22. <i>Línea de código para activación de la resistencia sumergible y seteo de temperatura a través del HMI</i>	30
Figura 23. <i>Línea de código para activación del transductor ultrasónico</i>	31
Figura 24. <i>Línea de código para activación de los motorreductores para giro inverso</i>	32
Figura 25. <i>Línea de código para repetir el ciclo de automatizado por lote</i>	32
Figura 26. <i>Inicio del proceso en modo manual</i>	33
Figura 27. <i>Línea de código para detener la programación</i>	33
Figura 28. <i>Censo del sensor fotoeléctrico</i>	34

Figura 29. <i>Activación de los motorreductores para un sentido de giro</i>	34
Figura 30. <i>Activación de los motorreductores para sentido de giro contrario</i>	35
Figura 31. <i>Línea de código para activación de la resistencia sumergible</i>	35
Figura 32. <i>Línea de código para activación del ultrasónico</i>	19
Figura 33. <i>Data block para temperatura</i>	19
Figura 34. <i>Pantalla inicial en el HMI</i>	37
Figura 35. <i>Pantalla para selección del modo de operación</i>	37
Figura 36. <i>Pantalla de monitoreo y ajustes para el modo automático</i>	38
Figura 37. <i>Pantalla de pruebas de activación para el modo manual</i>	38
Figura 38. <i>Lista de las variables utilizadas en toda la programación para el módulo del PLC</i>	39
Figura 39. <i>Lista de las variables utilizadas en toda la programación para el HMI</i>	40
Figura 40. <i>Cableado entre prototipo y el módulo didáctico de redes industriales y sistemas de automatización</i>	40
Figura 41. <i>Conexión de las salidas digitales hacia al módulo de relés</i>	41
Figura 42. <i>Conexión de entradas y salidas digitales con el módulo de relés y el tablero de mando y señalización</i>	41
Figura 43. <i>Conexión de cables con borneras eléctricas</i>	42
Figura 44. <i>Montaje del calentador de agua en el prototipo</i>	42
Figura 45. <i>Conexión de los módulos step-down lm2596s DC-DC</i>	43
Figura 46. <i>Conexión de la placa generador ultrasónico a 220V AC</i>	43
Figura 47. <i>Montaje y conexión del transductor ultrasónico y de temperatura</i>	44
Figura 48. <i>Conexión del PT100 al transductor de temperatura</i>	44
Figura 49. <i>Medición de voltaje dc en la salida del módulo step-down # 1</i>	45
Figura 50. <i>Medición de voltaje dc en la salida del módulo step-down # 2</i>	45
Figura 51. <i>Colocación de manguera pvc corrugada para cables</i>	46
Figura 52. <i>Conexión general del prototipo y protección del cableado</i>	46

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Tabla de pruebas de limpieza con fruta cítrica</i>	51
Tabla 2. <i>Plan de trabajo del proyecto de titulación de carrera</i>	52
Tabla 3. <i>Tabla del presupuesto para el proyecto de titulación</i>	53

I. Introducción

En las décadas recientes, el progreso rápido de la tecnología ha promovido el surgimiento de sistemas automatizados en varios sectores de la producción, incluyendo la alimentación. La exigencia de asegurar productos de alta calidad y seguros ha impulsado la adopción de soluciones tecnológicas para la limpieza de frutas, fase crucial para eliminar impurezas, desechos químicos y agentes dañinos. En este escenario, la automatización no solo potencia el desempeño operativo y disminuye la participación humana, sino que también fomenta la observancia de las regulaciones de higiene y seguridad alimentaria, estableciendo de esta manera un enfoque contemporáneo en la gestión postcosecha de productos agrícolas.

Uno de los avances tecnológicos más prometedores en los procesos de limpieza automatizada es la utilización de equipos ultrasónicos, que emiten ondas de alta frecuencia para producir microburbujas que implosionan y remueven las impurezas que se adhieren a la superficie de los productos. Este procedimiento, denominado cavitación con ultrasonidos, facilita una limpieza profunda y homogénea sin perjudicar la integridad física de las frutas.

El enfoque de este proyecto es la elaboración de una estación de lavado automatizado de frutas por medio del lenguaje SCL (Structured Control Language) en TIA Portal de Siemens y el uso de un limpiador ultrasónico. El sistema sugerido incorpora un control que puede ser automático o manual, funcionando mediante la acción operaria en una interfaz visual-táctil. Este enfoque de control no únicamente fortalece su valor en diversos contextos, sino que también demuestra la apuesta por la innovación y la sinergia entre la tecnología y el ser humano.

Al investigar la utilidad del empleo de limpiadores ultrasónicos, este estudio aporta al progreso del saber en el campo de la electrónica y automatización. Además, promueve un enfoque pragmático que aborda los retos auténticos de la industria agrícola, estableciendo los cimientos para aplicaciones futuras en el ámbito educativo y para con otras áreas industriales.

Este trabajo, en el contexto académico, fomenta el avance de nuevas habilidades en la investigación aplicada, impulsando la asimilación y el uso de tecnologías novedosas en el área de la electrónica y la automatización. El proyecto, al proporcionar una perspectiva práctica y experimental, posibilita que los alumnos y futuros expertos potencien sus capacidades en el diseño de sistemas electrónicos, la programación de controladores y de procesos industriales.

Así, se promueve un aprendizaje relevante que vincula la teoría con la aplicación práctica, estimulando la innovación tecnológica con soluciones que satisfacen las demandas específicas del ambiente de producción.

II. Problema

El sector de la agricultura frutal en Ecuador ha mostrado un crecimiento constante en años recientes, sobre todo en lo que respecta a las exportaciones a mercados internacionales como Alemania, Holanda y la Unión Europea, así como a naciones sudamericanas (La Hora, 2024). Este aumento se debe a la demanda cada vez mayor de alimentos nutritivos por parte de la población, lo que supone importantes desafíos en los procesos postcosecha, especialmente en el lavado de frutas, que es vital para cumplir con las normas nacionales e internacionales sobre seguridad alimentaria e inocuidad (Juan et al., 2021)

En la nación, compañías como Corporación Frutera del Pacífico S.A. han puesto en marcha procedimientos industriales que incluyen la selección manual, los lavados en tinas y los baños de catarata, además de desinfectantes (ácido fosfórico e hipoclorito de sodio), lo cual garantiza la calidad del producto (Córdova M., 2019). Sin embargo, en muchas instalaciones sigue prevaleciendo la limpieza manual, lo que aumenta el peligro de contaminación cruzada y da lugar a irregularidades en los procedimientos de higiene. La Organización Mundial de la Salud (OMS) alerta que la contaminación en el sector alimentario se debe principalmente a la manipulación manual, lo cual pone en riesgo tanto la calidad como la seguridad de los alimentos frescos (Organización Mundial de la Salud, 2024).

No obstante, la limpieza manual todavía existe en numerosas instalaciones, donde no solo aumenta la posibilidad de contaminación cruzada, sino que también provoca inconsistencias en la higiene y desinfección de la fruta. De acuerdo con investigaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el manejo manual en el sector alimentario es una de las mayores causas de contaminación, lo que pone en riesgo la calidad y seguridad de los alimentos frescos (Organización Mundial de la Salud, 2024). En consecuencia, la pregunta de investigación que se formula es la siguiente:

¿De qué forma puede un prototipo de estación de lavado automatizada con limpiador ultrasónico ayudar a mejorar la calidad y eficacia del proceso de limpieza de frutas, en comparación con los métodos tradicionales, dentro de un ambiente académico universitario?

En este escenario, la tecnología de limpieza ultrasónica se presenta como una opción innovadora y con mucho potencial. Esta utiliza ondas de alta frecuencia que producen

cavitación en un medio líquido, lo cual hace más fácil eliminar residuos, pesticidas y microorganismos sin perjudicar la integridad de la fruta. Según con la investigación de (Zhou et al., 2022a), este método es más eficaz, consistente y sostenible para eliminar contaminantes en comparación con los métodos convencionales. No obstante, su uso en la industria agroalimentaria de Ecuador todavía está en una fase temprana.

Actualmente, en el repositorio digital de la Universidad Politécnica Salesiana no se encuentra evidencia de trabajos de titulación relacionados a procesos de lavado usando el método ultrasónico. El proyecto es significativo como pionero ya que plantea una solución moderna que ofrece la oportunidad de incrementar la calidad y la inocuidad de las frutas que se exportan y consumen. Igualmente contribuye tanto al ámbito académico respecto a prácticas para temas de control y automatización, como fundamento en futuras aplicaciones.

2.1 Justificación

La Universidad Politécnica Salesiana es una entidad dedicada al progreso tecnológico y a la capacitación completa a futuros profesionales aptos para enfrentar los desafíos de la industria contemporánea. En este escenario, no es inusual que sus alumnos intenten aplicar soluciones automatizadas que beneficien al proceso o producción y por esta razón, se percibe como esencial el desarrollo y activación del prototipo de estación de lavado automatizada con tecnología de limpieza por ultrasónico, con el objetivo de atacar a una de las fases más cruciales en una línea de producción de frutas: la supresión de impurezas superficiales previo al empaquetado y reparto. Este tipo de proyectos posibilitan la aplicación de los conocimientos obtenidos durante la formación en campos como la electrónica, la automatización, sensores, controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de control, fortaleciendo habilidades fundamentales para el ambiente de trabajo contemporáneo.

El valor de este proyecto reside en su contribución directa al sector agroindustrial, a través de una solución automatizada al proceso de limpieza de productos agrícolas como piñas, mangos o limones. La aplicación de esta tecnología ultrasónica en combinación con sistemas de control automático facilita una limpieza profunda sin dañar la cascara de la fruta. Esta puesta en marcha no solo expande la gama de usos prácticos de la automatización industrial en contextos reales, sino que también constituye una oportunidad para la creación de sistemas electrónicos integrados que se adecuen a las demandas particulares del sector de producción frutera del Ecuador.

Además, el uso de una interfaz de control y de supervisión a través del HMI (Interfaz Humana Machine) aporta al conocimiento enseñado del manejo de la plataforma de Tia Portal Siemens, junto con el seguimiento en tiempo real y la recolección de información pertinente para la decisión. Esto ofrece una oportunidad de incluir futuras adaptaciones como sistemas de diagnóstico inteligentes, sensores de calidad del agua y la capacidad del sistema para adaptarse a diversos tipos de frutas mediante inteligencia artificial, entre otros. Por lo tanto, este trabajo no solo potencia el aprendizaje técnico, sino que también fomenta la creatividad y el razonamiento crítico en la resolución de problemas concretos, en concordancia con el progreso continuo de la tecnología en el campo de la automatización industrial.

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de estación de lavado automatizada con limpiador ultrasónico para una etapa de línea de producción de frutas.

3.2 Objetivos específicos

- Programar la lógica de control en el software TIA Portal para la automatización de la estación de lavado, asegurando la coordinación entre el sensor de posición y equipo de limpieza ultrasónico.
- Diseñar una interfaz gráfica intuitiva en el HMI que permita monitorear y controlar los parámetros de operación de la estación de lavado automatizada.
- Implementar la programación del PLC y HMI en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial.
- Diseñar e implementar el sistema electrónico y mecánico de la estación de lavado, incluyendo la elección y localización de sensores de proximidad y limpiadores por ultrasonido.

IV. Marco Hipotético

Este análisis propone los siguientes cuestionamientos de investigación, dirigidos a valorar el rendimiento y la eficacia del prototipo de estación de lavado automatizada con limpiador ultrasonido:

1. ¿El prototipo tiene la capacidad de procesar al menos cinco frutas en un periodo máximo de cinco minutos, logrando una eficiencia operativa del 90 % o más?
2. ¿El uso de una frecuencia ultrasónica fija de 40 kHz afecta significativamente el tiempo requerido para la limpieza, en función de la rigidez o porosidad de la cáscara de frutas cítricas como la naranja y el limón, dentro de un margen de desviación del 10 %?
3. ¿Es posible reducir considerablemente el tiempo total de lavado al elevar la temperatura del agua a 40 °C, antes del proceso de limpieza, en comparación con el uso de agua a temperatura ambiente, al manipular un lote de cinco frutas?

Estas hipótesis guían la validación técnica del prototipo en tres aspectos: desempeño temporal, impacto de factores físicos para la limpieza y mejora del proceso a través de condiciones de temperatura reguladas. La comprobación de estas aseveraciones se realizará a través de ensayos experimentales bajo condiciones reguladas, utilizando frutas como limón y naranja para este proyecto.

V. Fundamento Teórico

5.1 Automatización Industrial

Se referencia por el empleo de circuitos electrónicos y tecnológicos para la gestión de procesos, maquinaria y equipos sin la necesidad de intervención humana directa, con la finalidad de incrementar la eficiencia, disminuir fallos y potenciar la seguridad. La automatización es un instrumento esencial para optimizar las líneas de producción, ya que posibilita mantener unos niveles de calidad estables y disminuir los tiempos de funcionamiento (Hidalgo Castelo, 2021). En el ámbito agroindustrial, la automatización ha ganado especial importancia debido a la necesidad de satisfacer demandas en aumento con procesos más sostenibles y eficaces.

5.1.1 Automatización a Procesos de Limpieza Agrícola

La implementación de tecnologías como los Controladores Lógicos Programables (PLC) y sistemas de limpieza automática en procesos de lavado de frutas como se evidencia en la Figura 1, favorece una mejor calidad del producto final (Nelson et al., 2025).

Figura 1.

Proceso automatizado para lavado de frutas.



Nota. Tomado del sitio web Fresh Plaza por (Nichola McGregor, 2025).

La electrónica industrial facilita la incorporación de elementos como sensores de proximidad, interruptores, temporizadores y módulos de control de potencia, elementos esenciales orientado a preservar la exactitud y estabilidad de lavados automatizados. Estos

componentes se establecen de forma sinérgica a través de sistemas de control que garantizan la puesta en marcha de bombas, válvulas y generadores de ultrasonidos en el instante oportuno.

La incorporación de esta tecnología en las fases de limpieza y selección en las líneas de procesamiento de alimentos no solo maximiza los resultados a llegar en las operaciones, sino que además garantiza el cumplimiento de las normativas sanitarias, especialmente en lo que se refiere a productos frescos como las frutas (PEDRO ISRAEL QUINATO A QUINALOA & JENNY PETRONA PACA AUCANCELA, 2024).

5.1.2 Impacto ambiental

El reemplazo de técnicas tradicionales de limpieza, que se fundamentan en el uso intensivo de agua y sustancias químicas, pero por sistemas de lavado con ultrasonido ofrece notables beneficios medioambientales (Mundo, 2021):

- Disminución del uso de agua mediante la recirculación y el posterior filtrado del líquido de limpieza.
- La eliminación o reducción de sustancias químicas que podrían producir desechos peligrosos para el entorno ambiental.
- Reducción del impacto de carbono si el sistema se nutre de energías renovables, como los paneles solares fotovoltaicos.

5.2 Hardware

5.2.1 PLC S7-1500

Este controlador inteligente permite llevar a cabo una extensa variedad de tareas de automatización, ya sea en el área civil o comúnmente industrial., siendo el sector industrial el más utilizado, como se observa en la Figura 2. Puede integrarse para realizar procesos específicos y contiene fuente de alimentación, puertos de conexión profinet, entradas y salidas análogas y digitales, así como un microprocesador (Rodrigo & Leal, 2019).

Una vez que un programa se integra y se carga en el procesador, realiza un proceso de monitoreo continuo de los datos de entrada para detectar cambios de estado según las instrucciones cargadas a la memoria. Las instrucciones incluyen diversas tareas, incluyendo

funciones matemáticas, operaciones lógicas, conteo, sincronización horaria y varias rutinas (Gamarra et al., 2023).

Figura 2.

PLC SIMATIC S7-1500-Siemens CL.



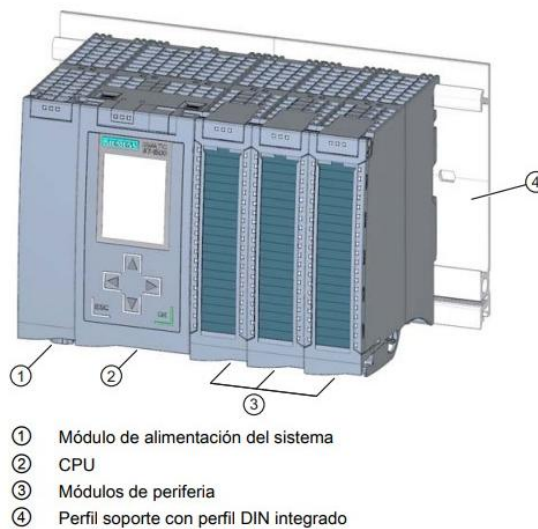
Nota. Tomado del sitio web Siemens PLC S7-1500, por (Siemens, 2023).

A. Partes del PLC

Como se evidencia en la Figura 3, está conformado por las siguientes partes:

Figura 3.

Partes del PLC S7-1500.



Nota. Tomado del sitio web QBPROFE Academy, por (QBPROFE, 2023).

- **Módulo de alimentación del sistema (1):** Su función es proveer de forma estable y segura energía eléctrica en corriente continua, asegurando que los elementos y circuitos electrónicos del sistema funcionen correctamente (Cruz, 2024). Resultando fundamental para el control y la operación del prototipo, por lo que es indispensable garantizar su adecuado mantenimiento y óptimas condiciones (SDI Industrial, 2024).
- **CPU (2):** Es donde se llevan a cabo los programas de automatización creados en ambientes del Portal TIA. Esta unidad tiene la responsabilidad de manejar las instrucciones de lógica, matemáticas y control, además de administrar la comunicación entre los módulos periféricos, redes industriales y aparatos HMI. Los CPU del S7-1500 cuentan con puertos Profinet integrados, memoria expandible y habilidades de diagnóstico en tiempo real, facilitando así una detección rápida de fallos y una configuración eficaz (Florez Villamizar et al., 2025).
- **Módulos de periferia (3):** Los módulos periféricos facilitan la ampliación operativa del sistema a través de la vinculación de módulos de entradas y salidas digitales (DI/DO) y análogas (AI/AO) y módulos de comunicación. Estos módulos facilitan la interacción del PLC con el ambiente físico, recogiendo señales de sensores y operando sobre aparatos como válvulas, motores y alarmas (Agüero & Sarabia, 2023).

El S7-1500, con su diseño modular, permite la incorporación de estos periféricos en riel DIN, facilitando la instalación, preventivos y correctivos. Adicionalmente, cada módulo contiene indicadores LED y herramientas de diagnóstico que simplifican la monitorización del estado del sistema (QBPROFE, 2023).

- **Perfil soporte con el perfil DIN integrado (4):** El perfil de apoyo, o riel de montaje DIN, es una estructura mecánica que actúa como fundamento para la instalación de los distintos módulos del PLC. Este perfil garantiza una fijación sólida y segura de los elementos del sistema, garantizando la vinculación física y eléctrica entre estos. El riel DIN está normalizado de acuerdo con la norma

EN 60715, y para el modelo S7-1500, incorpora instrucciones para simplificar el montaje rápido sin necesidad de herramientas extra (AWC, 2025).

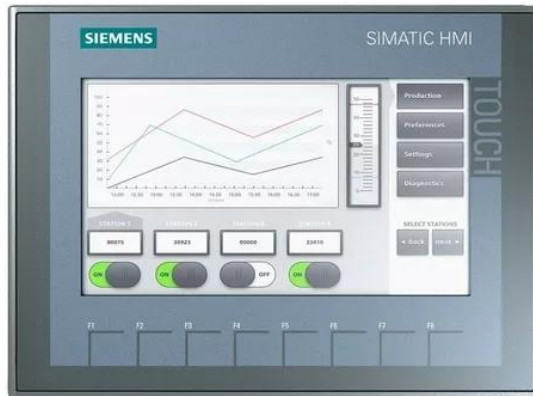
El perfil DIN, además de proporcionar apoyo mecánico, asegura una correcta disposición del gabinete de control, lo que simplifica las labores de cableado, ventilación y mantenimiento preventivo en entornos industriales.

5.2.2 HMI (Human Machine Interface)

El HMI de Siemens, también llamado SIMATIC HMI, proporciona soluciones sofisticadas para la visualización y el control en usos industriales. resalta la unificación normalizada de hardware y software, lo que simplifica su configuración y conservación. Además, disponen de interfaces de usuario modernas y versátiles, aptas para administrar ambientes complejos y suministrar información en vivo como se observa en la Figura 4 (SIMATIC HMI, 2024).

Figura 4.

Pantalla principal del HMI KTP-700.



Nota. Tomado del sitio web Siemens KTP-700 Basic Panel Manual, por (SIEMENS, 2024).

5.2.3 Sensor Fotoeléctrico de Proximidad

El sensor fotoeléctrico BRP200-DDTN-P, como se muestra en la Figura 5, es un aparato que facilita la identificación de objetos sin necesidad de contacto mediante la emisión y recepción de un haz infrarrojo. Este modelo se clasifica como difuso, donde el haz de luz se proyecta directamente en la superficie del objeto a identificar. Este sensor es perfecto para identificar la existencia de frutas en la cinta transportadora o en el espacio de lavado, debido a su rápida respuesta y su elevada fiabilidad en entornos con condiciones de luz fluctuantes (Zhang & Liu, 2021). Además, su compacta carcasa y su sencillo sistema de alineación lo convierten en particularmente beneficioso para aplicaciones industriales automatizadas.

Figura 5.

Sensor Fotoeléctrico Tipo Cilíndrico – BRP200-DDTN.



Nota. Tomado del sitio web Autonics Ecuador, por (Autonics, 2024).

5.2.4 Resistencia Calentador de Agua 1500W 22CM 20A (30–80 °C)

Este elemento es una resistencia de inmersión, como se muestra en la Figura 6, concebida para calentar agua en un recipiente. Posee una potencia de 1500W y una capacidad de trabajo de 30 a 80 °C, lo que posibilita conservar el agua en una temperatura deseada para potenciar la cavitación ultrasónica. Mediante estudios, la temperatura del agua tiene un rol vital en el proceso de limpieza por ultrasonido, dado que ablanda la masa y facilita remover los desechos orgánicos y microorganismos (Hitchin et al., 2024), su tiempo de activación se lleva a cabo a través de un transductor y un sensor de temperatura.

Figura 6.

Resistencia Calentador de Agua.



Nota. Elaboración propia.

5.2.5 Sensor de Temperatura PT100 de 2 hilos

El sensor PT100 es un termómetro de platino con alta precisión en la medición de la temperatura, como se observa en la Figura 7. A pesar de su estructura de 2 hilos más sencilla, continúa siendo apropiada para distancias reducidas en sistemas industriales donde la interferencia y la disminución de la tensión son escasas (Kumar et al., 2025). Este tipo de sensor es perfecto para supervisar la temperatura del agua en el depósito de lavado, transmitiendo información al PLC para modificar automáticamente la activación de la resistencia al calor. Su confiabilidad y solidez lo establecen como una alternativa estándar en la automatización de procesos de calor.

Figura 7.

PT100 – Sensor de temperatura RTD con dos hilos de platino.



Nota. Tomado del sitio web NOVAtronic, por (NOVAtronic, 2024).

5.2.6 Módulo Step-Down LM2596S DC-DC

El módulo LM2596S, como se muestra en la Figura 8, es un reductor DC-DC a paso descendente que facilita la transición de altas tensiones de entrada (como 12V o 24V DC) a niveles inferiores (como 4V o 9V DC) requeridos para alimentar sensores, microcontroladores o servomotores. Este tipo de transformador es esencial en sistemas automatizados que emplean varios niveles de voltaje para abastecer diferentes componentes (Stalyn Javier Chaviznan Diaz, 2025). Su estabilidad energética y sencillez de integración lo hacen una opción útil para repartir energía de forma segura y estable dentro del sistema.

Figura 8.

Modulo LM2596 - Regulador Step Down.



Nota. Tomado del sitio web TECmikro Modulo LM2596 - Regulador step down, por (TECmikro, 2024).

5.2.7 Servomotor / Motorreductor

Este motorreductor, como se observa en la Figura 9, frecuentemente empleado en robótica educativa e industrial ligera, fusiona un motor DC con una caja reductora, facilitando así un mayor torque a revoluciones bajas. Su carcasa plástica, su consumo reducido y su sencillez de acoplamiento lo convierten en perfecto para sistemas de transporte u operación pequeños, como mecanismos de entrada o salida de frutas en la estación de lavado (CHOEZ ÁVILA JESÚS ALBERTO & PALACIOS MUÑOZ RAFAEL FRANCISCO, 2024). Estos motores pueden gestionarse a través de PWM (modulación por ancho de pulso) a través de un PLC o microcontrolador, proporcionando alta precisión y estabilidad en usos de bajo peso.

Figura 9.

Motor DC con caja reductora.



Nota. Tomado del sitio web EDUTRONICAS, por (EDUTRONICAS, 2024).

5.2.8 Placa Generador Ultrasónico de 40 kHz – 120W

Este generador de ultrasonido, como se muestra en la Figura 10, es un circuito específico que transforma energía eléctrica en señales de alta frecuencia (40 kHz), empleadas para suministrar energía al transductor ultrasonido. La frecuencia de 40 kHz resulta perfecta para la limpieza de superficies susceptibles como las frutas, dado que posibilita una cavitación suficientemente activa sin perjudicar el producto (Paucar-Menacho et al., 2024). El generador controla la corriente y la frecuencia de emisión, y puede incorporar protecciones contra sobrecarga y cortocircuito. Su incorporación en el sistema automatizado asegura un desempeño seguro y eficaz del procedimiento de higiene.

Figura 10.

Generador Ultrasónico Limpiador Power Driver Board.



Nota. Tomado de sitio web ModuleMe Electronic, por (ModuleMe Electronic, 2025).

5.2.9 Transductor Ultrasónico de 40 kHz – 50W

El transductor de ultrasonidos, como se muestra en la Figura 11, transforma las señales eléctricas de alta frecuencia que el generador emite en ondas mecánicas que se difunden en el líquido, provocando el fenómeno de cavitación. En el marco de este proyecto, el transductor de 40 kHz y 50W suministra el poder requerido para eliminar impurezas, restos de pesticidas y microorganismos de la superficie de frutas como el limón o la piña. Esta modalidad de limpieza por ultrasonidos es controlada, no intrusiva y respetuosa con el entorno, dado que reduce la necesidad de detergentes o sustancias químicas dañinas (Beatriz Riverón, 2022).

Figura 11.

Transductor Ultrasónico de 40 KHz.



Nota. Tomado de sitio web ModuleMe Electronic, por (ModuleMe Electronic, 2025).

5.2.10 Relay de 8 Pines de 24V DC

El relé es un equipo electromecánico, como se muestra en la Figura 12, frecuentemente empleado en sistemas industriales de automatización para gestionar circuitos de potencia a través de señales de voltaje directo bajo. Específicamente, se utiliza frecuentemente el relé de 8 pines con bobina de 24V DC en aplicaciones que necesitan el aislamiento eléctrico entre la señal de control (como la proveniente de un PLC) y la carga vinculada al circuito de salida.

Los relés de 24V DC brindan una compatibilidad elevada con los módulos digitales de salida de PLCs industriales, como el S7-1500 de Siemens, y brindan una protección extra al circuito de control frente a sobrecargas o picos de tensión. Adicionalmente, pueden ser utilizados en conjunto con diodos de rueda libre para minimizar posibles perjuicios por sobretensiones inductivas producidas al desenergizar la bobina, prolongando de esta manera la

durabilidad del sistema (Macias Orbea et al., 2022).

Figura 12.

Relé de 8 pines con bobina de 24V DC con base.



Nota. Tomado del sitio web HALMS, por (HALMS, 2025).

5.2.11 Transductor de Temperatura

El Pixsys modelo 2000.35.015, como se muestra en la Figura 13, es un transductor de temperatura que transforma señales de sensores de temperatura, tales como termorresistencia PT100, termopares de tipo J, K, T, o sensores Ni100, en una señal análoga de 4-20 mA. Esta conversión se utiliza extensamente en el sector industrial para asegurar la compatibilidad entre sensores de temperatura y sistemas de recolección de datos, tales como PLCs o módulos analógicos de controladores lógicos programables (ALLTRONICS PERÚ, 2024).

La utilización de este convertidor resulta vital en aplicaciones que necesitan supervisar y regular la temperatura, como en procedimientos de lavado o esterilización, donde la temperatura del agua debe mantenerse en un rango determinado para garantizar la eficacia de la limpieza por ultrasonido. Este transductor, al ofrecer una señal que corresponde a la temperatura real del sensor, simplifica su integración con los módulos analógicos del PLC S7-1500, lo que posibilita su monitoreo y control en tiempo real (Angamarca Peralta & Ayala Morán, 2024).

Figura 13.

Transductor de Temperatura Pixsys Modelo 2000.35.015.



Nota. Elaboración propia

5.3 Software de Desarrollo

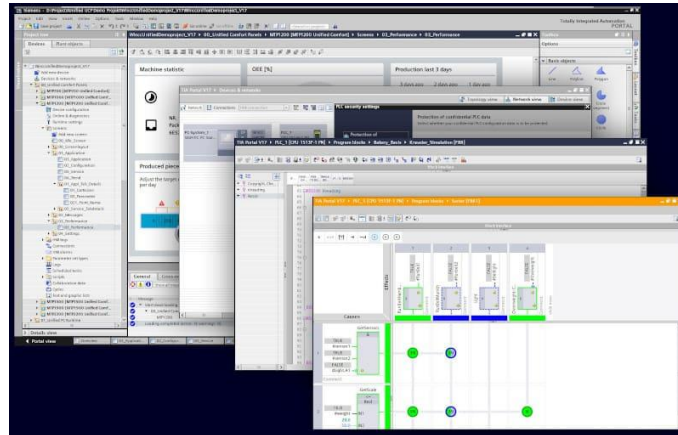
5.3.1 Tia Portal V18

Es un ambiente de ingeniería creado por Siemens que agiliza y mejora la programación, la configuración y el inicio de controladores lógicos., como se muestra en la Figura 14, ajuste e identificación de aparatos de automatización industrial de forma conjunta. La versión V18, presentada en 2022, representa un avance significativo en cuanto a desempeño, atributos de simulación, integración con tecnologías contemporáneas y respaldo a estándares industriales (Siemens S.A., 2024). Esta plataforma se ha convertido en un recurso vital para llevar a cabo proyectos de automatización en entornos industriales, educativos e investigativos.

Algunas de sus particularidades más sobresalientes incluyen la programación de PLCs de las series S7-1500 y S7-1200, la creación de interfaces HMI, configuraciones por profinet y la simulación de procesos mediante herramientas como PLCSIM Advanced. De acuerdo con (SIEMENS, 2025), TIA Portal V18 posibilita disminuir considerablemente los tiempos de creación e implementación de sistemas automatizados debido a su integración completa en un solo ambiente laboral, lo que es particularmente beneficioso en proyectos que fusionan sensores, actuadores, módulos de comunicación y controladores.

Figura 14.

Programa TIA PORTAL V18.



Nota. Tomado del sitio web Siemens TIA PORTAL, por (Siemens S.A., 2024).

5.4 Lavado de Frutas: Proceso de Limpieza con ultrasónico

El proceso de lavado de frutas es crucial en las cadenas de producción agroindustriales, pues tiene como objetivo eliminar residuos de tierra, pesticidas, impurezas orgánicas y microorganismos patógenos que comprometen la inocuidad y calidad del producto. Históricamente, este procedimiento se ha manejado a través de técnicas manuales o sistemas que incluyen aspersores de agua, cepillos rotatorios o detergentes, los cuales a menudo son ineficientes, perjudican la fruta o incrementan el consumo de agua (Mundo, 2021). Frente a estos retos, la implementación de tecnología de ultrasonidos ha surgido como una opción contemporánea, eficiente y amigable con el entorno natural.

Investigaciones llevadas a cabo en Japón, Alemania y Estados Unidos han evidenciado que el uso de ultrasonido en intervalos de 20–100 kHz puede disminuir la carga microbiana en alimentos frescos, evitando la aplicación de compuestos químicos dañinos (Majid et al., 2015). En Ecuador, su aplicación industrial es todavía en etapas iniciales, lo que constituye una oportunidad estratégica para su adopción, ajustando la tecnología a las condiciones locales de producción y tipos de cultivos más comunes.

El procedimiento de limpieza por ultrasonidos se fundamenta en el principio físico de la cavitación acústica, que ocurre cuando se transmiten ondas sonoras de alta frecuencia

(usualmente entre 20 kHz y 40 kHz) en un medio líquido. Estas ondas provocan la creación de microburbujas que, al desplomarse, emiten energía local que puede liberar suciedad y contaminantes adheridos a las superficies, incluso en áreas de acceso complicado (Beatriz Riverón, 2022). Esta tecnología, aplicada a frutas como en el caso del limón, la piña, la manzana o el tomate, facilita una limpieza homogénea sin perjudicar la piel del producto ni modificar sus características organolépticas.

Varios estudios han evidenciado que la limpieza con ultrasonidos disminuye considerablemente la carga microbiana en frutas, incluyendo agentes patógenos como *E. coli*, *Salmonella spp.* y *Listeria monocytogenes*, con grados de eficacia similares o más altos que los procedimientos tradicionales con cloro o detergentes (Zhou et al., 2022b). Además, esta tecnología posibilita reducir la utilización de sustancias químicas, lo que la hace una alternativa muy sustentable y segura para el uso humano.

La eficacia del procedimiento se basa en elementos como la frecuencia de ultrasonidos, la temperatura del agua, el periodo de exposición, la potencia del transductor y la cantidad de partículas presentes en el líquido. Por ejemplo, temperaturas comprendidas entre los 30 °C y 50 °C tienden a potenciar la cavitación, mientras que frecuencias más elevadas (≥ 40 kHz) resultan más adecuadas para superficies susceptibles como las de frutas pequeñas o suaves (Caballero-Figueroa et al., 2022).

En entornos industriales, la implementación de estaciones de lavado ultrasonido automatizadas facilita la estandarización del proceso, disminuye la manipulación del producto, maximiza los recursos y garantiza la trazabilidad. Adicionalmente, su combinación con sensores de calor, controladores lógicos programados y sistemas HMI permite la supervisión constante del proceso y la implementación de parámetros exactos para cada clase de fruta (Beatriz Riverón, 2022).

VI. Marco Metodológico

El enfoque del diseño aplicado tiene en cuenta la usabilidad y compatibilidad del controlador PLC S7-1500 y la interfaz gráfica HMI al prototipo. El avance de este proyecto utilizará técnicas inductivas, experimentales y sistemáticas, escogidas de manera estratégica para satisfacer las demandas particulares del diseño, edificación y programación de un prototipo de estación de lavado automatizada con limpiador ultrasónico para una fase de producción de frutas.

La metodología inductiva facilitará la recolección, análisis y entendimiento de datos significativos acerca del proceso de limpieza de la fruta, tales como la importancia del tiempo para calentar el agua a tantos grados centígrados y el tiempo de activación del transductor ultrasónico.

La metodología experimental se enfocará en llevar a cabo ensayos funcionales del sistema, tal como la regulación automática de la temperatura del agua, el rendimiento de los actuadores y la integración global de los elementos electrónicos y de control. En cuanto a la metodología sistemática, esta organizará de manera lógica cada etapa del desarrollo, desde la creación del circuito eléctrico y la programación del PLC en TIA Portal V18, hasta la comprobación del prototipo bajo condiciones reguladas, asegurando un procedimiento ordenado y en concordancia con los propósitos técnicos y académicos del proyecto.

6.1 Diseño de la Estructura

El prototipo de lavado se basa en una base metálica de tipo mesa, formada por un soporte de cuatro patas, hecho de hierro negro de $30 \times 30 \times 3$ mm de espesor. Esta estructura se ha diseñado para permitir la circulación de una banda transportadora por su parte central, trasladando contenedores plásticos de $25 \times 25 \times 20$ cm de profundidad que albergan las frutas durante el proceso de limpieza. El bastidor tiene unas dimensiones generales de 35×35 cm de base y 30 cm de alto, como se evidencia en la Figura 15. Estas proporciones facilitan el alojamiento apropiado para las cajas de conexión eléctrica y los componentes del sistema, Figura 16. Esta disposición garantiza tanto la solidez del sistema como el acceso a los

componentes electrónicos y mecánicos durante el funcionamiento y el cuidado.

Figura 15.

Estructura metálica del prototipo.



Nota. Elaboración propia.

Figura 16.

Montaje de los equipos y caja de conexión.



Nota. Elaboración propia.

6.2 Diseño del Circuito

La estructura del circuito electrónico para la estación de lavado automatizada se diseñó siguiendo la secuencia lógica de operación del sistema. Se contemplaron elementos de percepción, gestión y acción, que se articularon a través de la programación en el Siemens S7-1500. Seguidamente, se enumeran las fases que forma parte del proceso automatizado:

1. Censar la llegada del recipiente a través del sensor fotoeléctrico para interrumpir la alimentación de voltaje de la banda transportadora.
2. Activar los motorreductores por medio del módulo step-down y luego energizar el calentador de agua por un determinado tiempo mediante la activación de un Relay 24V DC.
3. Activar el transductor ultrasónico por un determinado tiempo mediante la activación de un Relay 24V DC.
4. Activar los motorreductores para giro inverso usando un segundo módulo step-down.
5. Activar nuevamente la banda transportadora y volver al paso 1.

6.2.1 Censar recipiente

El reconocimiento de la entrada del contenedor al área de lavado se lleva a cabo a través de un sensor fotoeléctrico BRP200-DDTN-P, que opera a través de la emisión y recepción de un haz infrarrojo. Este sensor posibilita identificar objetos opacos sin contacto a una distancia máxima de 200 mm, funcionando con un voltaje de alimentación de 12 a 24 V DC, proporcionado desde el tablero de distribución principal. Una vez que identifique el contenedor y lo deje de censar, se interrumpirá el suministro de energía de la banda de transporte, iniciando así el proceso de limpieza automatizado.

6.2.2 Activación del calentador de agua

Se emplea una resistencia sumergible de 1500 W para el calentamiento del agua, alimentada a 110 V AC. Como el PLC funciona a 24 V DC, se incorpora un relé de 8 pines con bobina de 24 V DC. Al ser activado, este permite el cierre de los contactos de potencia para calentar la resistencia.

Por medio del transductor de temperatura Pixsys, vinculado a una sonda PT100 de 2 hilos, suministra una señal analógica correspondiente al valor de temperatura del agua. El PLC comprende esta señal, lo que posibilita el control automático de encendido y apagado de la resistencia, de acuerdo con la temperatura establecida por el operador.

Para insertar el calentador en el contenedor, se utiliza un motorreductor DC de color amarillo, el cual requiere un voltaje reducido de 3 a 6 V DC y dado que el sistema de control funciona a 24 V DC, se incluye un módulo Step-Down LM2596S DC-DC, el cual controla el voltaje de entrada para ajustarlo a las necesidades del motorreductor, esto permitiría que gire en un sentido por un determinado tiempo establecido en la programación.

6.2.3 Activación del transductor ultrasónico

Al mismo tiempo que se baja el calentador, se activa otro motorreductor para insertar el transductor de ultrasonidos en el contenedor. La operación de este segundo motorreductor también se lleva a cabo mediante el primer módulo Step-Down LM2596S, el cual proporciona el voltaje necesario para su funcionamiento.

El transductor de ultrasonido opera con una placa de generación de ultrasonido de 40 kHz y 120 W, con conexión a 220 V AC. El proceso de activación se realiza a través de otro relé de 24 V DC, que, al recibir la señal de activación del PLC, cierra el circuito de potencia que proporciona energía a la placa generadora durante el tiempo establecido en el ciclo de limpieza. Este procedimiento asegura el proceso de cavitación requerido para la eliminación eficaz de impurezas en la superficie de las frutas.

6.2.4 Giro inverso del motorreductor

Tras concluir el proceso de calentamiento y limpieza por ultrasonido, es necesario que los motorreductores vuelvan a su posición inicial. Para lograrlo, se emplea un segundo módulo Step-Down, que cambia la polaridad de la energía eléctrica de los motorreductores para causar un giro en el sentido contrario.

Para prevenir daños en los circuitos o interferencias entre módulos, se instalan diodos rectificadores que impiden el paso de la corriente en sentido contrario, permitiendo solo la conducción en sentido directo. Esta configuración garantiza un regreso regulado y seguro de los componentes móviles a su posición inicial.

6.2.5 Reactivación de la banda transportadora

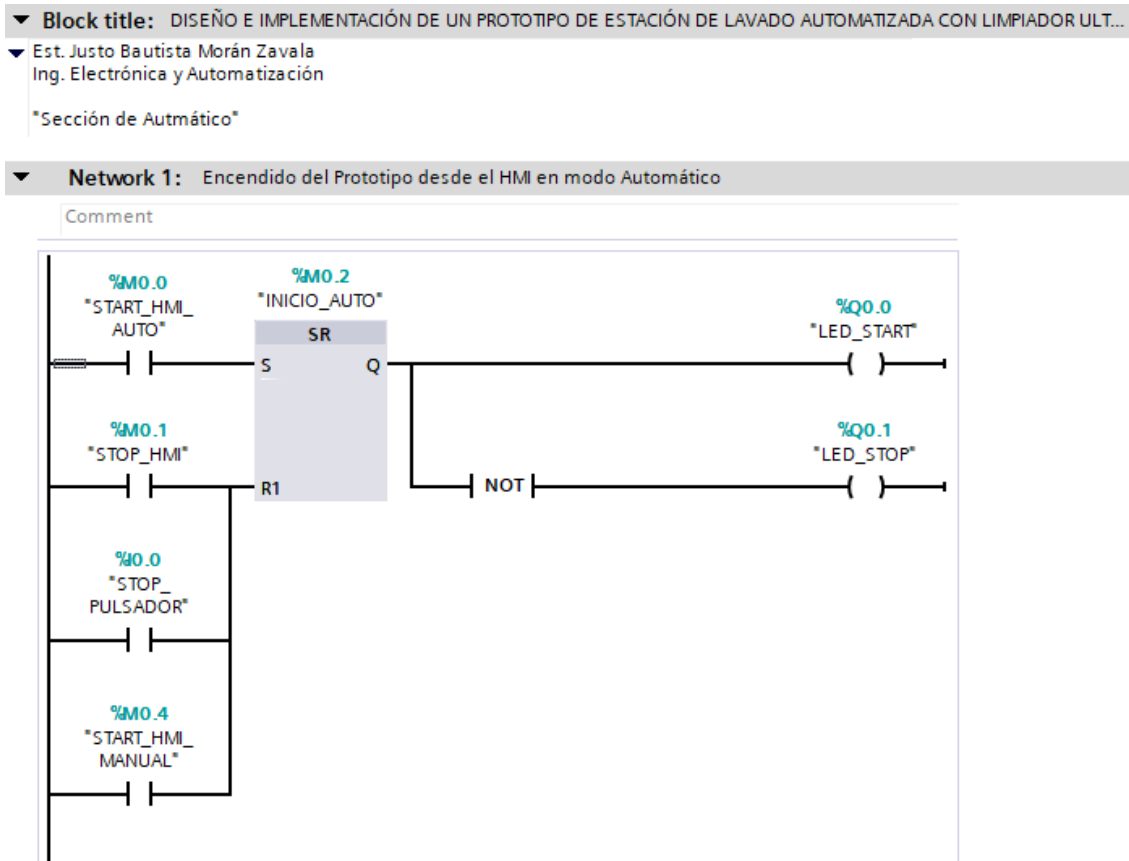
Al concluir el proceso de limpieza, es imprescindible reactivar el sistema de transporte. Es importante destacar que inicialmente, la señal del sensor fotoeléctrico desactivó la banda transportadora. Para su reinicio, se debe establecer una línea de código en la que la lógica de secuencia vuelva al primer paso reactivando la banda y dar inicio al próximo ciclo automatizado de limpieza.

6.3 Programación en Tia Portal V18

6.3.1 Bloque de Control Automático

Figura 17.

Inicio del proceso en modo automático.

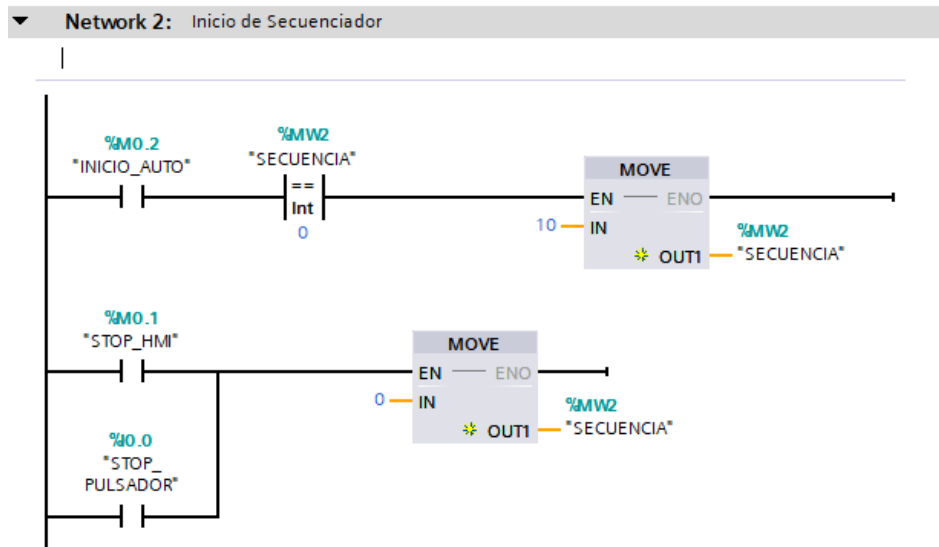


Nota. Elaboración propia.

Se activa la programación en modo automático cuando se presiona desde el HMI el botón de marcha activando un led indicador de color verde (H2). Para detener la programación se establecieron tres condiciones y activarán un led indicador rojo (H1): 1. Botón de paro en el HMI, 2. Pulsador de paro desde el módulo didáctico de automatización y 3. Botón de marcha en el HMI en modo manual.

Figura 18.

Bloque de código para establecer secuencias/pasos.

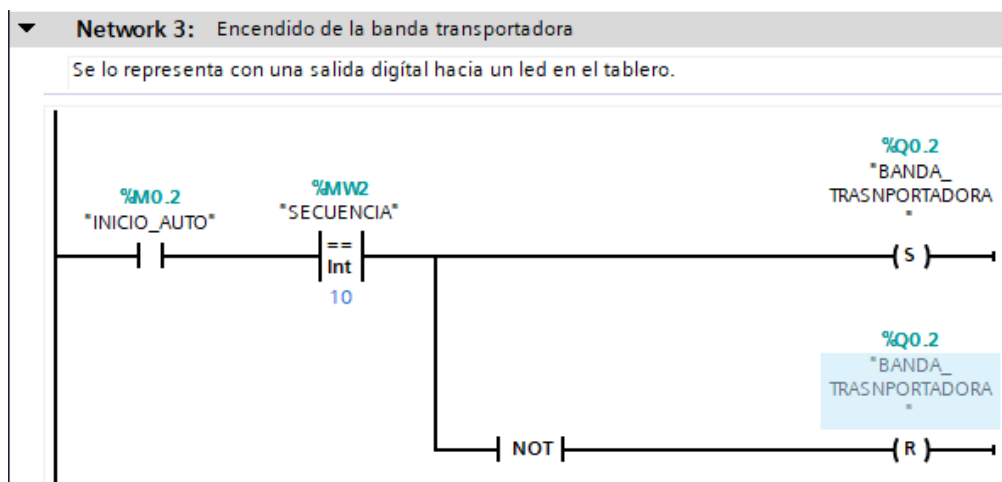


Nota. Elaboración propia.

En la primera línea de código usando el bloque move, podemos transferir un valor a una variable y dicha variable con un comparador podemos acceder a la línea de código que deseamos ejecutar. La segunda línea es para establecer que cuando se presione el botón de paro la variable de secuencia se le establezca el valor de 0.

Figura 19.

Encendido de la banda transportadora al momento de poner en marcha.

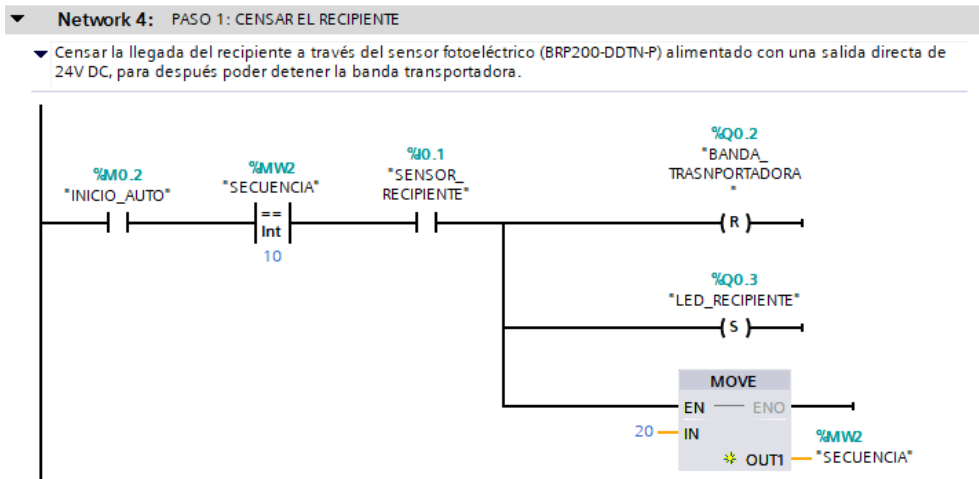


Nota. Elaboración propia.

En esta línea de código se establece que al momento de iniciar el proceso el led indicador de banda este activado, caso contrario cuando el valor de la secuencia pase a otro valor el led de la banda se apague.

Figura 20.

Línea de código para censar el recipiente con frutas.

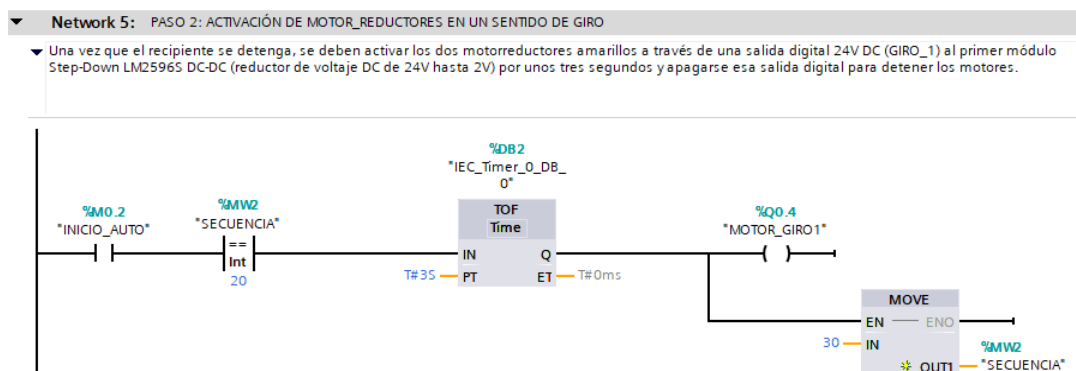


Nota. Elaboración propia.

En el Network 4, establecemos mediante un contacto abierto de entrada análoga la señal del sensor fotoeléctrico para que cuando cierre el contacto la banda transportadora se desenergice y se active el led indicador (H3) y asignamos un nuevo valor a la memoria de la secuencia para poder avanzar al siguiente paso.

Figura 21.

Línea de código para activar los motores dc con caja reductora.

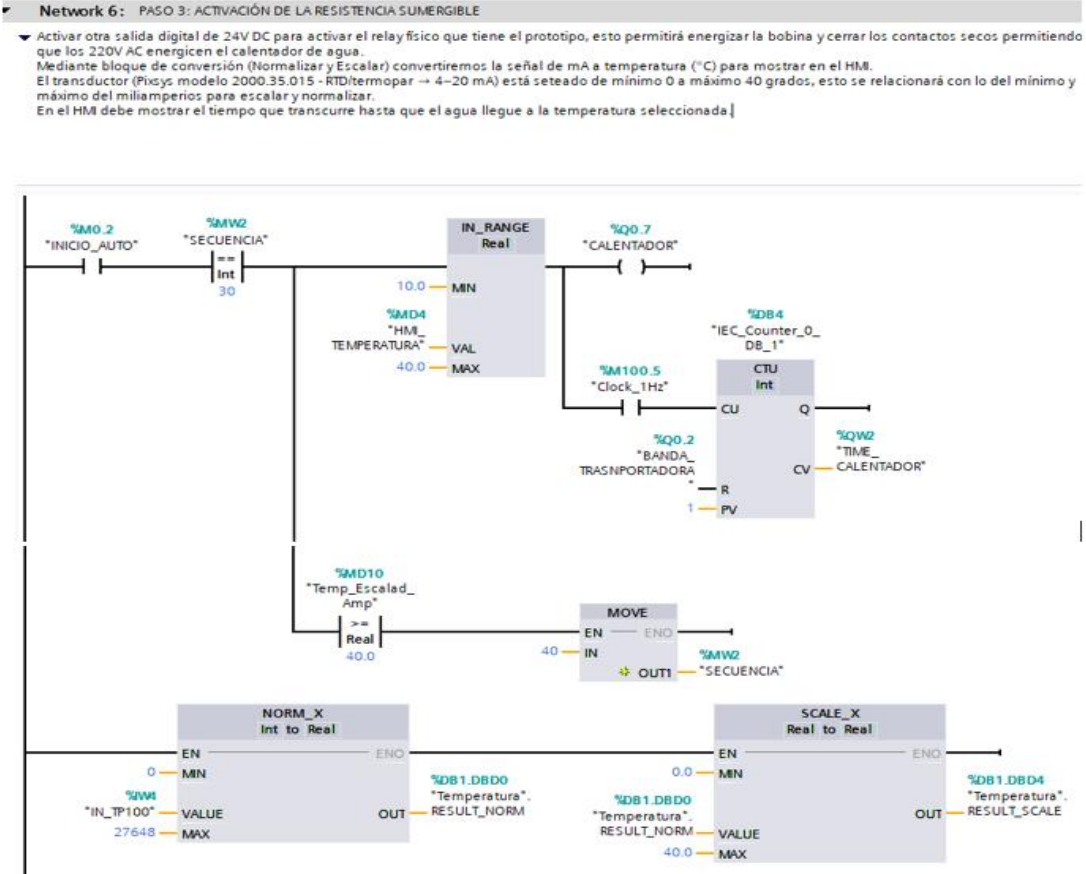


Nota. Elaboración propia.

En el Network 5, activamos la salida digital para encender los motores durante unos 3 segundos y asignar un nuevo valor a la variable secuencia para acceder a la siguiente línea de código o paso.

Figura 22.

Línea de código para activación de la resistencia sumergible y seteo de temperatura a través del HMI.

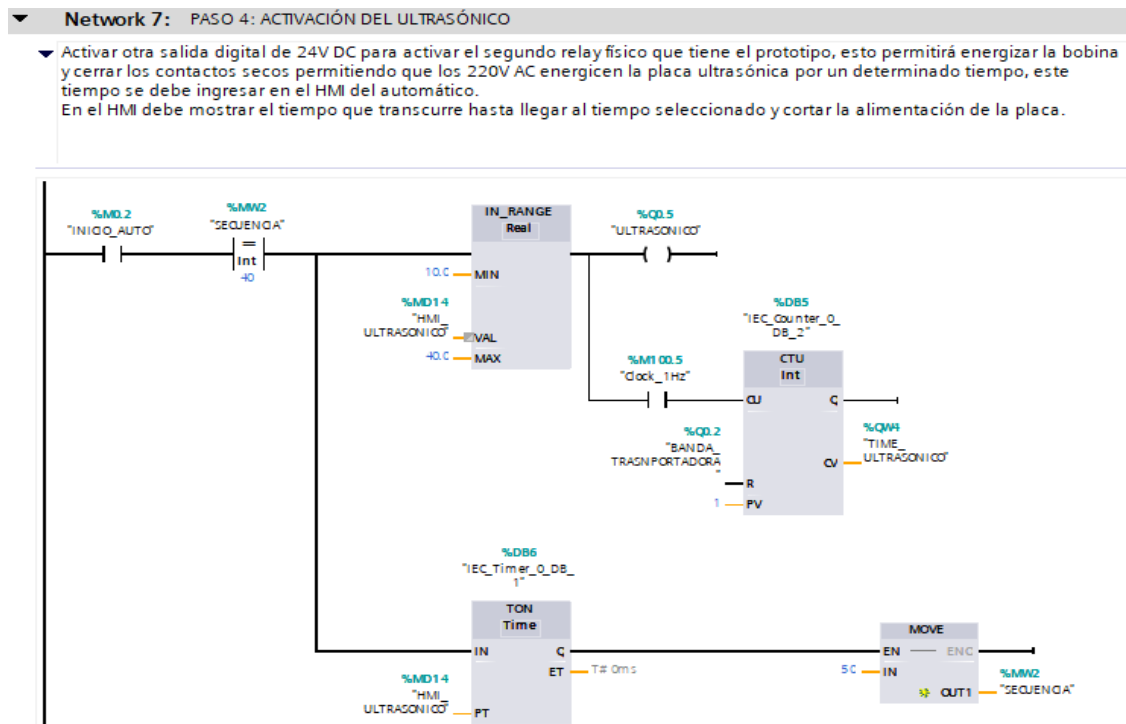


Nota. Elaboración propia

En el Network 6, para activar la salida digital y encender la resistencia sumergible siempre y cuando se ingrese un valor en el HMI en el campo para establecer la temperatura a llegar. La segunda línea usaremos los bloques de normalizar y escalar para convertir la entrada de miliamperios dado por el transductor de temperatura a convertirla en una lectura de grados Celsius. Para poder avanzar al siguiente paso, se estableció mediante una condición de igualdad que mientras la temperatura censada en el ambiente no sea igual a la temperatura seteada no pueda ir al siguiente paso o línea de código.

Figura 23.

Línea de código para activación del transductor ultrasónico.

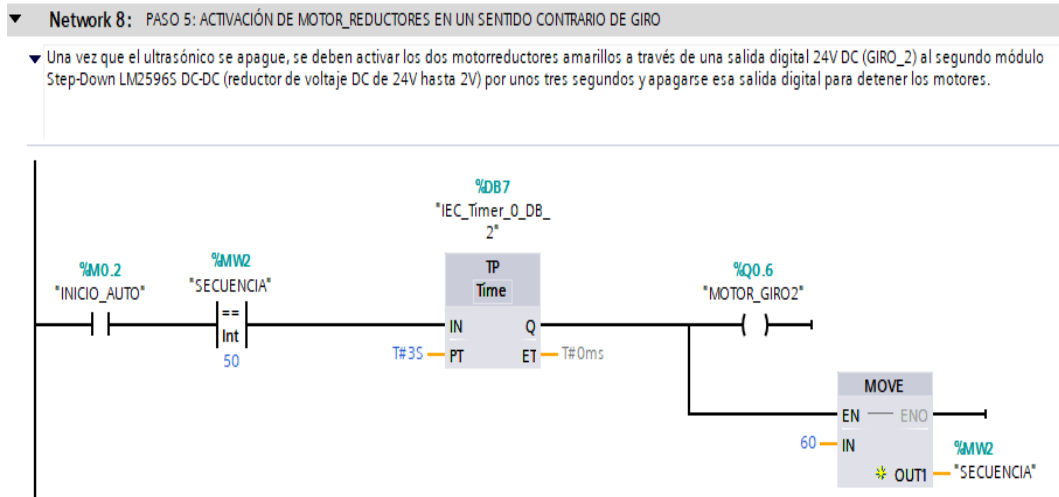


Nota. Elaboración propia.

En el Network 7, en esta línea de código para activar el ultrasónico se debe primeramente ingresar el tiempo de encendido desde el HMI y mediante esta acción se activa una línea secundaria la cual permitirá registrar el tiempo que transcurre y mostrarlo en el HMI. Una vez que transcurra el tiempo y llegue al valor seteado desde el HMI se podrá avanzar al siguiente paso asignando un valor nuevo a la memoria de la secuencia.

Figura 24.

Línea de código para activación de los motorreductores para giro inverso.

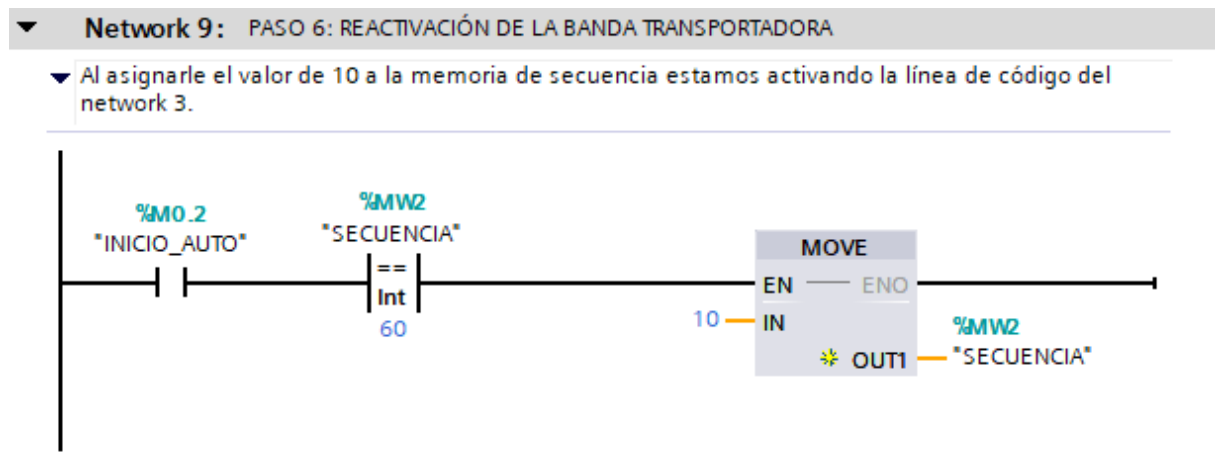


Nota. Elaboración propia.

En el Network 8, se establece los mismos parámetros que se utilizaron en el Network 5 solo que activa otra salida digital para cambiar la polaridad de los motores dc.

Figura 25.

Línea de código para repetir el ciclo de automatizado por lote.



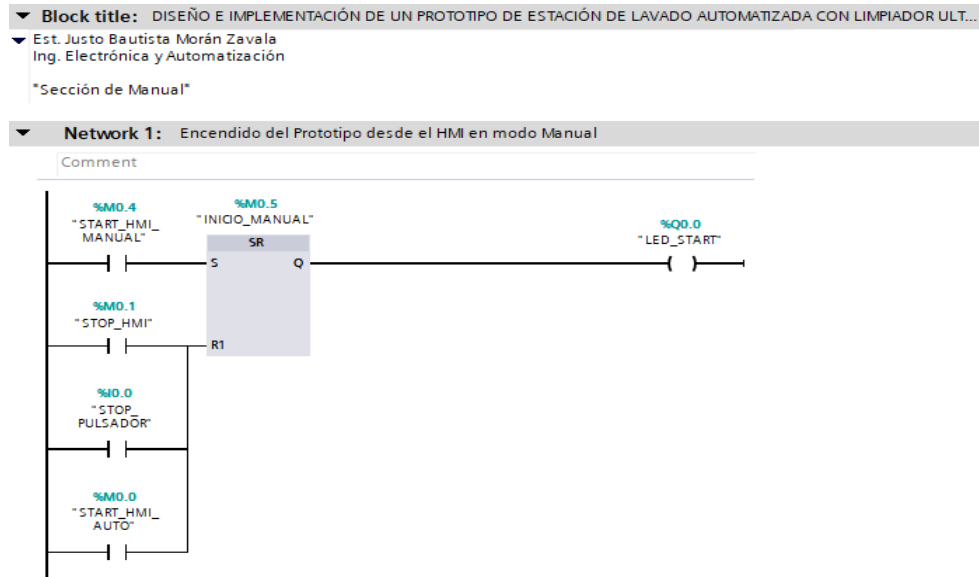
Nota: Elaboración propia.

Para acceder a esta línea de código del Network 9, una vez que el valor de la secuencia sea igual a la establecida (60), le asignaremos un nuevo valor a la memoria de secuencia para que volviese al Network 3 con la activación de la banda transportadora.

6.3.2 Bloque de Control Manual

Figura 26.

Inicio del proceso en modo manual.

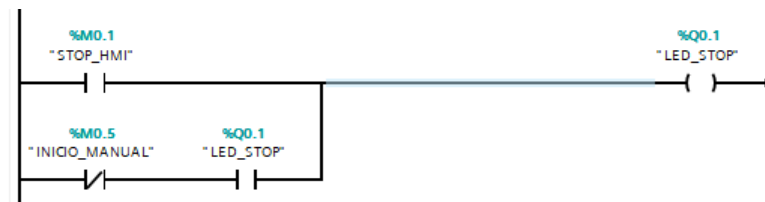


Nota. Elaboración propia.

En Network 1, se activa la programación en modo manual cuando se presiona desde el HMI el botón de marcha activando un led indicador de color verde (H2). Para detener la programación se establecieron tres condiciones y activarán un led indicador rojo (H1): 1. Botón de paro en el HMI, 2. Pulsador de paro desde el módulo didáctico de automatización y 3. Botón de marcha en el HMI en modo automático.

Figura 27.

Línea de código para detener la programación.

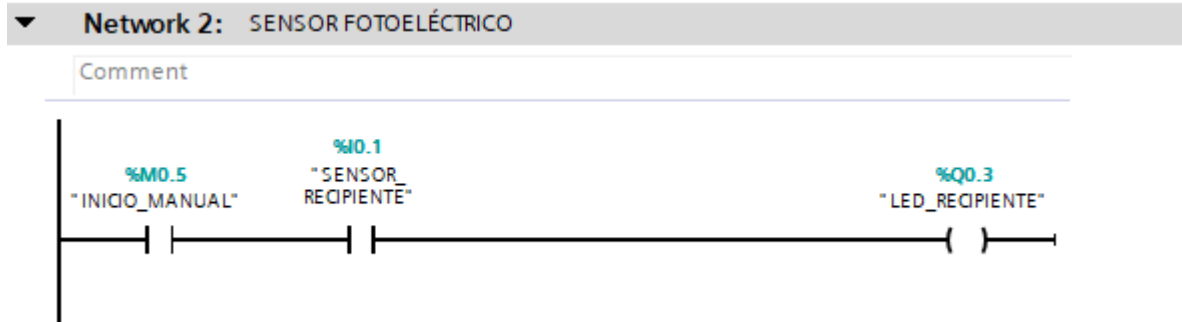


Nota. Elaboración propia.

Con esta línea de código se establece un enclavamiento para que el led indicador rojo permanezca encendido.

Figura 28.

Censo del sensor fotoeléctrico.

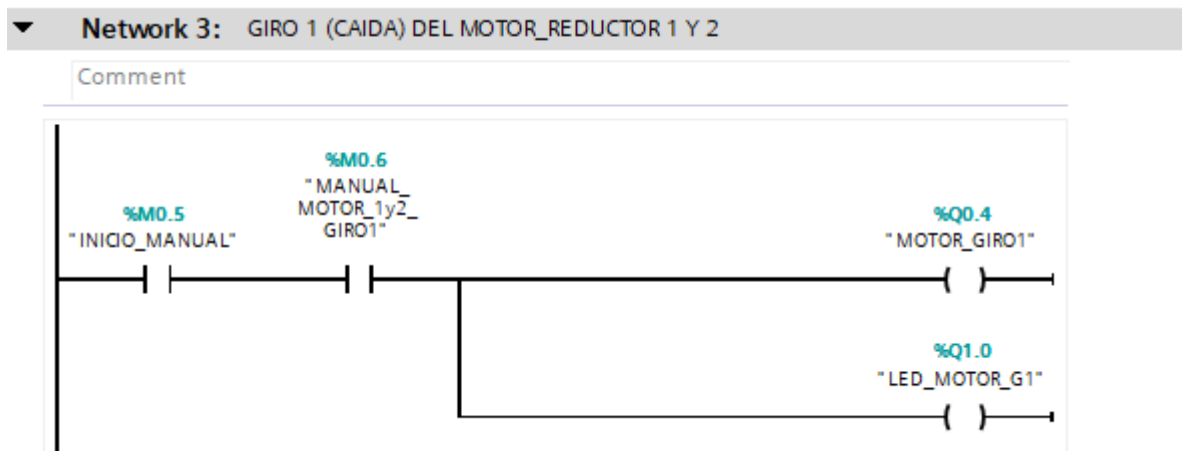


Nota. Elaboración propia.

En Network 2, al bloquear de manera física el sensor, se cerrará el contacto permitiendo encender la luz piloto verde (H4) de que hay un obstáculo.

Figura 29.

Activación de los motorreductores para un sentido de giro.

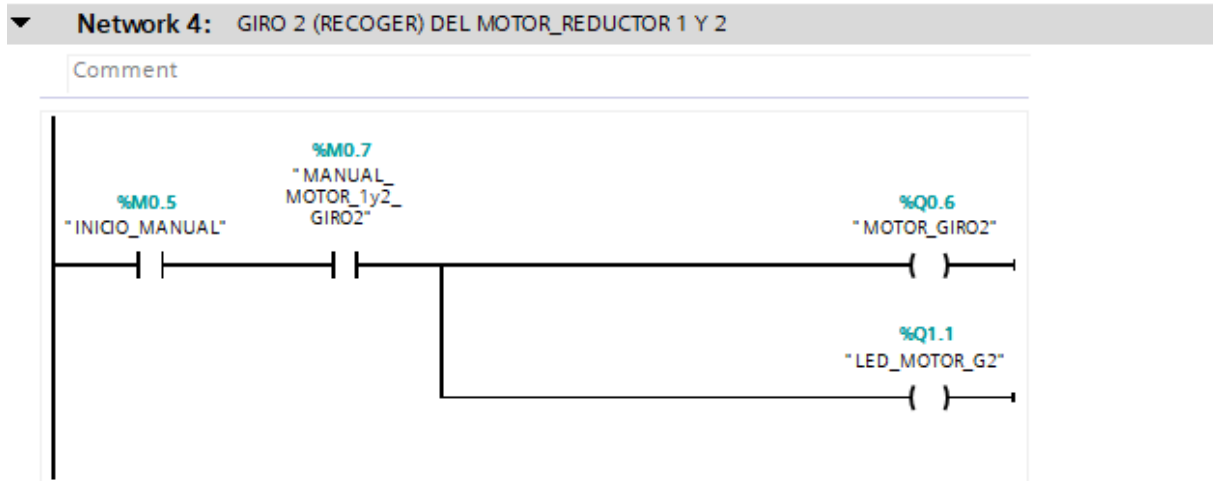


Nota. Elaboración propia.

En Network 3, al presionar el botón de encendido desde el HMI en modo manual, permitirá cerrar el contacto (%M0.6) y energizar las salidas digitales para la activación de los motores dc.

Figura 30.

Activación de los motorreductores para sentido de giro contrario.

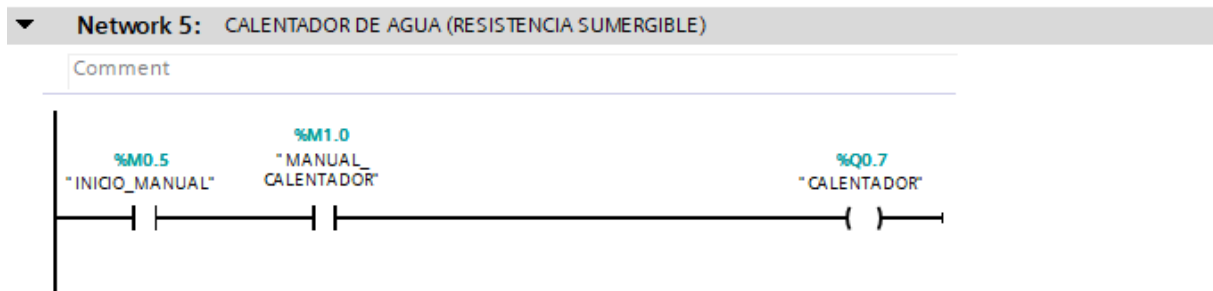


Nota. Elaboración propia.

En Network 4, al presionar un segundo botón de encendido desde el HMI en modo manual, permitirá cerrar el contacto abierto (%M0.7) y energizar las salidas digitales para la activación de los motores dc con giro contrario.

Figura 31.

Línea de código para activación de la resistencia sumergible.

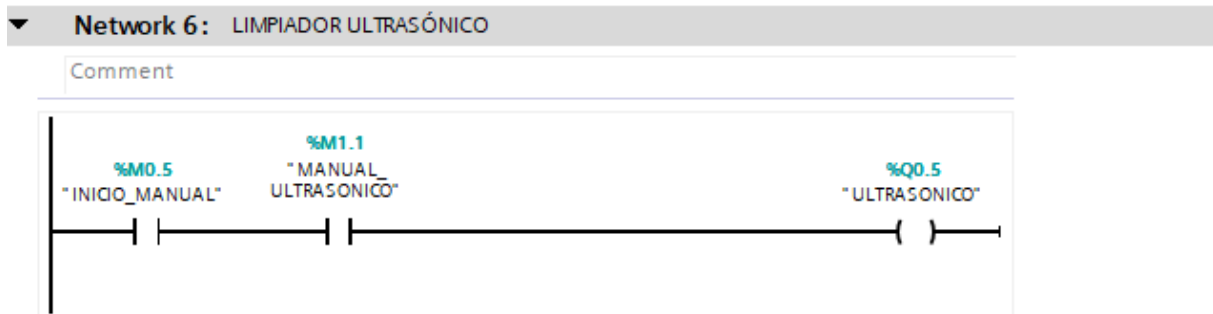


Nota. Elaboración propia.

En Network 5, al presionar el botón de encendido del calentador permitirá cerrar el contacto abierto (%M1.0) y energizar las salidas digitales para la activación del relay de 24V DC y luego energizar el calentador con 220V AC.

Figura 32.

Línea de código para activación del ultrasónico.



Nota. Elaboración propia.

En Network 6, al presionar el botón de encendido del ultrasónico permitirá cerrar el contacto abierto (%M1.1) y energizar las salidas digitales para la activación del segundo relay de 24V DC y luego energizar el ultrasónico con 220V AC.

Figura 33.

Data block para temperatura.

The screenshot shows the 'Temperatura [DB1]' data block configuration. The table below represents the data in the block:

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	RESULT_NORM	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	RESULT_SCALE	4.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nota. Elaboración propia.

Al tener un espacio para almacenar y organizar datos que serán utilizados por el PLC permite procesar mejor los valores leídos y modificados.

6.3.3 Interfaz Gráfica de Control

Figura 34.

Pantalla inicial en el HMI.



Nota. Elaboración propia.

Figura 35.

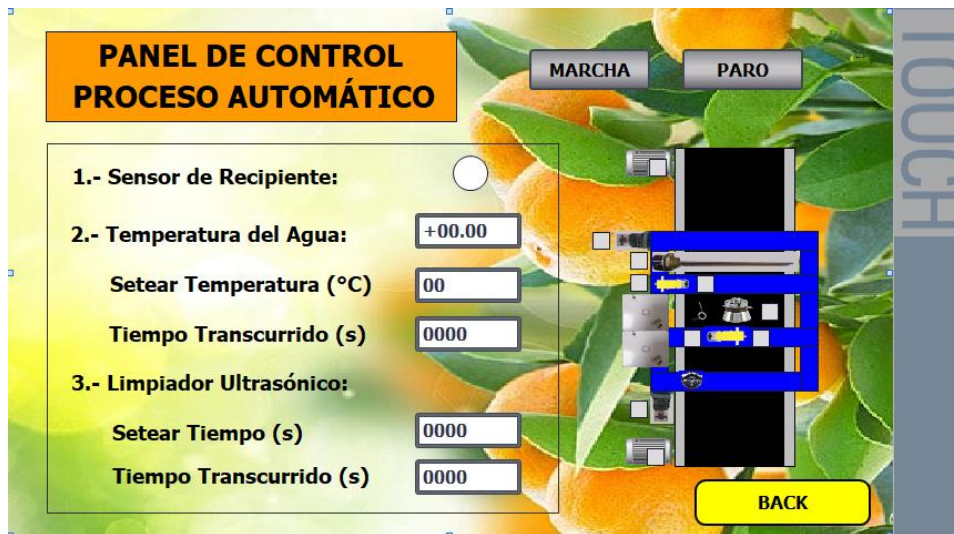
Pantalla para selección del modo de operación.



Nota. Elaboración propia.

Figura 36.

Pantalla de monitoreo y ajustes para el modo automático.

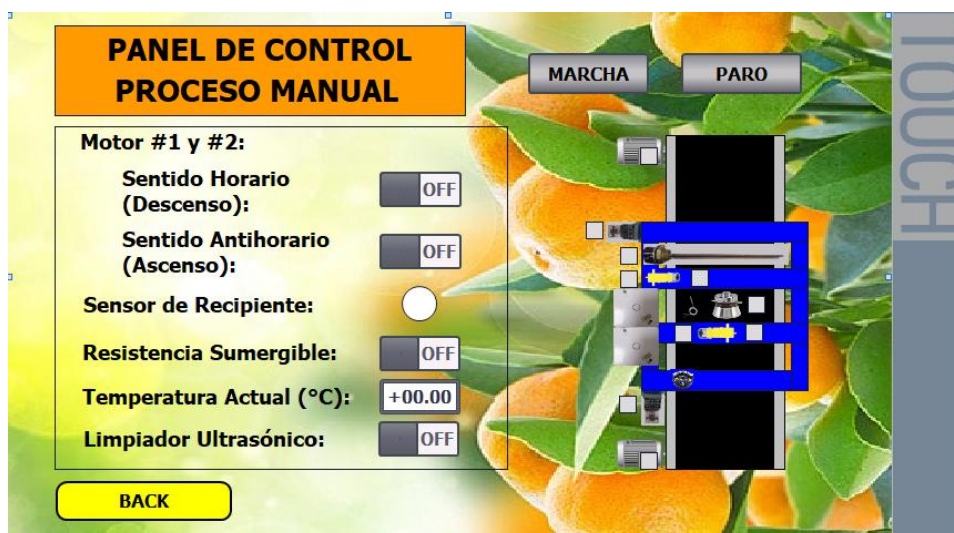


Nota. Elaboración propia.

En esta pantalla en el lado izquierdo se muestran los parámetros a supervisar y de control, mientras que en el lado derecho tenemos una versión digitalizada del prototipo y cada elemento tiene un cuadro gris la cual como un led se encenderá cuando el equipo esté en funcionamiento.

Figura 37.

Pantalla de pruebas de activación para el modo manual.



Nota. Elaboración propia.

En esta pantalla en el lado izquierdo se muestran los botones/switch de control para encender y apagar los equipos de acuerdo a su función descrito en el HMI, mientras que en el lado derecho tenemos una versión digitalizada del prototipo y cada elemento tiene un cuadro gris la cual como un led se encenderá cuando el equipo esté en funcionamiento.

6.3.4 Variables del PLC (TAGS)

Figura 38.

Lista de las variables utilizadas en toda la programación para el módulo del PLC.

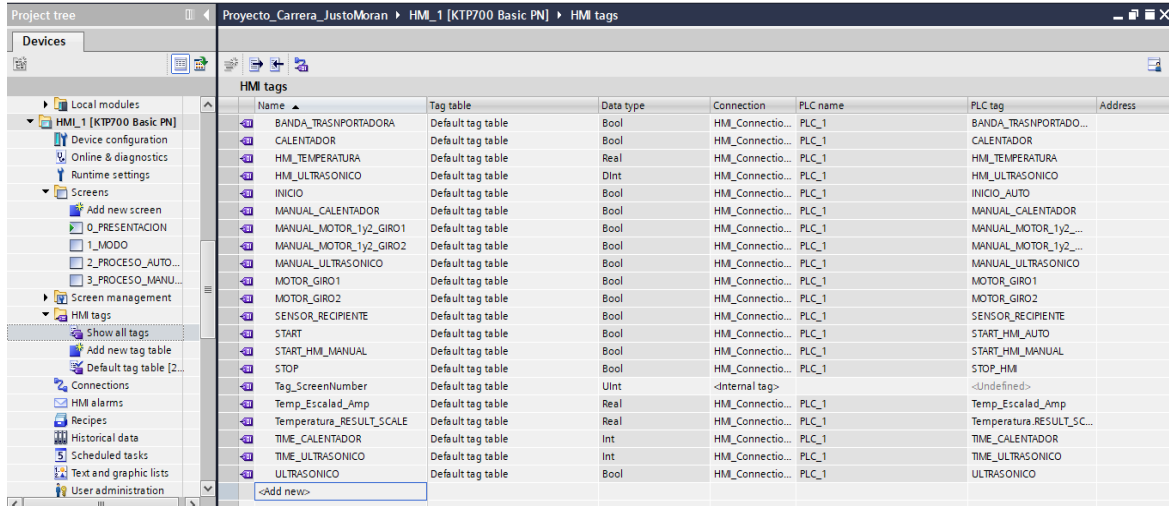
PLC tags										
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision	Comment
1	START_HMI_AUTO	Default tag table	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	STOP_HMI	Default tag table	Bool	%M0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	INICIO_AUTO	Default tag table	Bool	%M0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	STOP_PULSADOR	Default tag table	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	LED_START	Default tag table	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	LED_STOP	Default tag table	Bool	%Q0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	SECUENCIA	Default tag table	Int	%MW2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	BANDA_TRANSPORTADORA	Default tag table	Bool	%Q0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	SENSOR_RECIPIENTE	Default tag table	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	a	Default tag table	Bool	%M0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	LED_RECIPIENTE	Default tag table	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	MOTOR_GIRO1	Default tag table	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	HMI_TEMPERATURA	Default tag table	Real	%MD4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
14	CALENTADOR	Default tag table	Bool	%Q0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	IN_TP100	Default tag table	Int	%IW4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
16	Temp_Escalad_Amp	Default tag table	Real	%MD10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17	Clock_Byte	Default tag table	Byte	%MB100		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	Clock_10Hz	Default tag table	Bool	%M100.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
19	Clock_5Hz	Default tag table	Bool	%M100.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
20	Clock_2.5Hz	Default tag table	Bool	%M100.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
21	Clock_2Hz	Default tag table	Bool	%M100.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
22	Clock_1.25Hz	Default tag table	Bool	%M100.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
23	Clock_1Hz	Default tag table	Bool	%M100.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
24	Clock_0.625Hz	Default tag table	Bool	%M100.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
25	Clock_0.5Hz	Default tag table	Bool	%M100.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
26	TIME_CALENTADOR	Default tag table	Int	%QW2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
27	ULTRASONICO	Default tag table	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
28	HMI_ULTRASONICO	Default tag table	Dint	%MD14		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
29	TIME_ULTRASONICO	Default tag table	Int	%QW4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
30	MOTOR_GIRO2	Default tag table	Bool	%Q0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
31	START_HMI_MANUAL	Default tag table	Bool	%M0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
32	START_HMI_MANUAL	Default tag table	Bool	%M0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
33	INICIO_MANUAL	Default tag table	Bool	%M0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
34	MANUAL_MOTOR_1y2_GIRO1	Default tag table	Bool	%M0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
35	MANUAL_MOTOR_1y2_GIRO2	Default tag table	Bool	%M0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
36	MANUAL_CALENTADOR	Default tag table	Bool	%M1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
37	MANUAL_ULTRASONICO	Default tag table	Bool	%M1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
38	LED_MOTOR_G1	Default tag table	Bool	%Q1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
39	LED_MOTOR_G2	Default tag table	Bool	%Q1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
39	<Add new>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Nota. Elaboración propia.

6.3.5 Variables del HMI (TAGS)

Figura 39.

Lista de las variables utilizadas en toda la programación para el HMI.



The screenshot shows a software interface with a project tree on the left and a table of HMI tags on the right. The table has columns for Name, Tag table, Data type, Connection, PLC name, PLC tag, and Address. The tags listed include variables like BANDAS_TRANSPORTADORA, CALENTADOR, HMI_TEMPERATURA, HMI_ULTRASONICO, INICIO, MANUAL_CALENTADOR, and others.

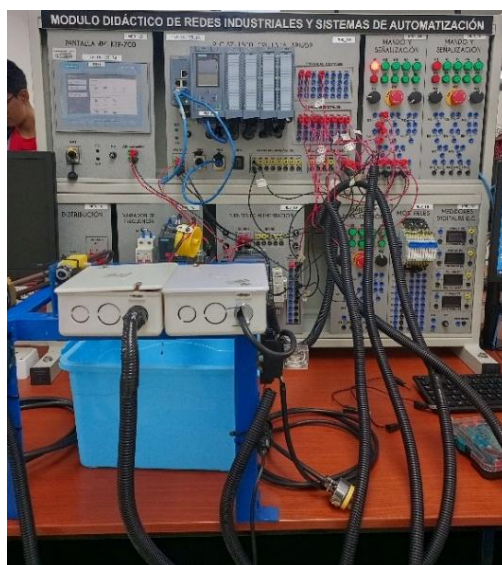
Name	Tag table	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address
BANDAS_TRANSPORTADORA	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	BANDAS_TRANSPORTADO...	
CALENTADOR	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	CALENTADOR	
HMI_TEMPERATURA	Default tag table	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	HMI_TEMPERATURA	
HMI_ULTRASONICO	Default tag table	Dint	HMI_Connectio...	PLC_1	HMI_ULTRASONICO	
INICIO	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	INICIO_AUTO	
MANUAL_CALENTADOR	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MANUAL_CALENTADOR	
MANUAL_MOTOR_1y2_GIRO1	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MANUAL_MOTOR_1y2_...	
MANUAL_MOTOR_1y2_GIRO2	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MANUAL_MOTOR_1y2_...	
MANUAL_ULTRASONICO	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MANUAL_ULTRASONICO	
MOTOR_GIRO1	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MOTOR_GIRO1	
MOTOR_GIRO2	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MOTOR_GIRO2	
SENSOR_RECIPIENTE	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SENSOR_RECIPIENTE	
START	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	START_HMI_AUTO	
START_HMI_MANUAL	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	START_HMI_MANUAL	
STOP	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	STOP_HMI	
Tag_ScreenNumber	Default tag table	Uint	<Internal tag>		<Undefined>	
Temp_Escalad_Amp	Default tag table	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	Temp_Escalad_Amp	
Temperatura_RESULT_SCALE	Default tag table	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	Temperatura_RESULT_SC...	
TIME_CALENTADOR	Default tag table	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	TIME_CALENTADOR	
TIME_ULTRASONICO	Default tag table	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	TIME_ULTRASONICO	
ULTRASONICO	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ULTRASONICO	

Nota. Elaboración propia.

6.3.6 Conexión Tablero de Automatización

Figura 40.

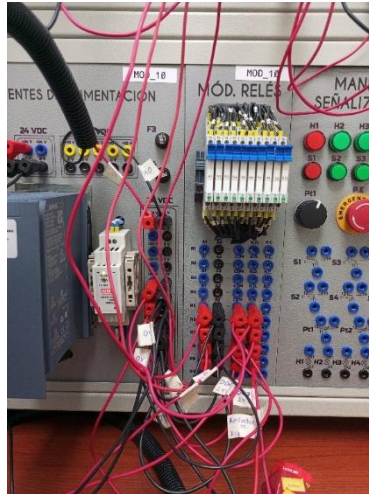
Cableado entre prototipo y el módulo didáctico de redes industriales y sistemas de automatización.



Nota. Elaboración propia.

Figura 41.

Conexión de las salidas digitales hacía al módulo de relés.



Nota. Elaboración propia.

Se conectan las salidas digitales a los puertos de 24V en el módulo de relés y se utiliza los 24V de la fuente de alimentación hacia los puertos de COM, y los puertos N.O. serán utilizados para conectar con el prototipo, esto se hace con la finalidad de no tener caídas de voltaje al momento de energizar los equipos.

Figura 42.

Conexión de entradas y salidas digitales con el módulo de relés y el tablero de mando y señalización.



Nota. Elaboración propia.

Simbología de las luces piloto:

1. H1 (Luz piloto Rojo) Indicador de paro de emergencia.
2. H2 (Luz piloto Verde) Indicador de marcha tanto en modo manual o automático.
3. H3 (Luz piloto Verde) Indicador de banda transportadora encendida.
4. H4 (Luz piloto Verde) Indicador de censo de un recipiente en el prototipo.

6.3.6 Conexión Prototipo

Figura 43.

Conexión de cables con borneras eléctricas.



Nota. Elaboración propia.

Figura 44.

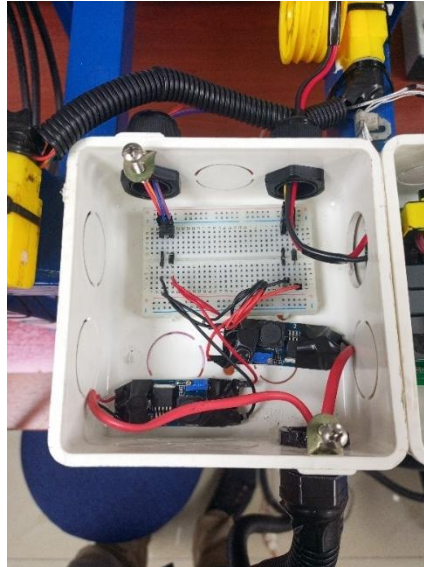
Montaje del calentador de agua en el prototipo.



Nota. Elaboración propia.

Figura 45.

Conexión de los módulos step-down lm2596s DC-DC.



Nota. Elaboración propia.

Figura 46.

Conexión de la placa generador ultrasónico a 220V AC



Nota. Elaboración propia.

Figura 47.

Montaje y conexión del transductor ultrasónico y de temperatura.



Nota. Elaboración propia.

Figura 48.

Conexión del PT100 al transductor de temperatura.



Nota. Elaboración propia.

Figura 49.

Medición de voltaje dc en la salida del módulo step-down # 1.



Nota. Elaboración propia.

Figura 50.

Medición de voltaje dc en la salida del módulo step-down # 2.



Nota. Elaboración propia.

Figura 51.

Colocación de manguera pvc corrugada para cables.



Nota. Elaboración propia.

Figura 52.

Conexión general del prototipo y protección del cableado.



Nota. Elaboración propia.

VII. Análisis de Resultados

El estudio de los resultados del prototipo de lavado automatizado con limpiador ultrasonido se centra en la comprobación de tres hipótesis propuestas, y para poner a prueba el prototipo se usaron frutas cítricas como limones y naranjas bajo condiciones reguladas. Para lograrlo, se llevaron a cabo ensayos experimentales con 5 frutas por ciclo, utilizando un sistema automatizado con un PLC Siemens S7-1500 y sensores incorporados, documentando la conducta del sistema ante diversas configuraciones de variables.

7.1 Hipótesis 1: Capacidad de procesamiento de 5 frutas en 5 minutos

El prototipo ha sido concebido para parar de manera automática la banda de transporte al identificar la llegada del recipiente a través de un sensor fotoeléctrico. Desde ese instante, comienza el proceso de calentamiento del agua y su posterior purificación por ultrasonidos. Para el estudio energético efectuado, el calentamiento para un volumen de 6.5 litros de agua desde 25 °C hasta 40 °C demanda una energía y se emplea la siguiente ecuación (1):

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Donde:

- Q es la cantidad de calor (J).
- m es la masa (kg).
- c es el calor específico del material (J/kg·°C)
- ΔT es la variación de temperatura (°C).

Se reemplazan los valores:

$$Q = 6,5 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15 \text{ }^\circ\text{C} = 408135 \text{ J}$$

Con el uso de la resistencia sumergible de 1500 W para calentar el agua, el tiempo para llegar a la temperatura deseada se utiliza la siguiente ecuación (2):

$$t = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

Donde:

- t es el tiempo de la duración del proceso (s).
- Q es la energía o calor transferido (J).
- P es la potencia suministrada (W).

Se reemplazan los valores:

$$t = \frac{408135}{1500} \approx 272.09 \text{ segundos } (\sim 4.54 \text{ minutos})$$

Esto indica que, en cada ciclo, solo para calentar el agua desde la temperatura ambiente, el tiempo a involucrar sería ya al límite establecido de 5 minutos por lote. No obstante, si el agua ya alcanza la temperatura deseada antes del proceso, el tiempo de limpieza general disminuye considerablemente por cada ciclo. Por último, si reduce el volumen del agua, el tiempo de calentado disminuirá.

7.2 Hipótesis 2: Influencia de la potencia ultrasónica y tipo de fruta

Se llevaron a cabo ensayos con la exposición al ultrasonido de 40 kHz por un transductor de 50 W, alimentado por una placa generador de 120 W, para el primer ensayo se utilizaron 5 naranjas.

Para seccionar mejor la potencia distribuida/específica de acuerdo al volumen del agua, se utiliza la siguiente ecuación (3):

$$P_E = \frac{P}{V} \quad (3)$$

Donde:

- P_E es la potencia específica.
- P es la potencia del transductor ultrasónico.
- V es el volumen del agua.

Se reemplazan los valores:

$$P_E = \frac{50 \text{ W}}{6.5 \text{ L}} \approx 7.69 \text{ W/L}$$

Este valor está por debajo de lo usual para una limpieza rápida y eficaz establecida entre un parámetro de 10 a 30 W/L debido a la cantidad del agua usada; con 7.69 W/L sí limpia, pero será lento.

Para calcular el tiempo se utiliza la siguiente ecuación (2):

$$t = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

En teoría, una “dosis” energética útil para desprender la suciedad superficial y biopelículas ligeras en frutas con cáscara resistente suele estar en un intervalo de 3 a 6 kJ/L y para en nuestro experimento consideraremos 3 KJ/L y la potencia del equipo de 50W.

Se reemplazan los valores:

$$t = \frac{(3 \frac{\text{KJ}}{\text{L}}) (6.5 \text{ L})}{50 \text{ J/s}}$$

$$t = 390 \text{ segundos} \approx 6.5 \text{ minutos}$$

Esto indica que, el tiempo de limpieza ultrasónica es de mínimo 6.5 minutos a las 5 naranjas.

Al realizar el segundo experimento con la misma cantidad de agua en el recipiente, pero esta vez con 5 limones, la potencia específica seguiría siendo la misma de 7.69 W/L y tomando en consideración la “dosis” energética típica para limpieza de frutas cítricas de 3–6 kJ/L y para en nuestro experimento consideraremos el valor 3.5 KJ/L, debido a que el limón es más rígido y rugoso, y por último, la potencia del equipo de 50W.

Se utiliza la ecuación (2) y se reemplazan los valores:

$$t = \frac{(3.5 \frac{\text{KJ}}{\text{L}}) (6.5 \text{ L})}{50 \text{ J/s}}$$

$$t = 455 \text{ segundos} \approx 7.58 \text{ minutos}$$

El tiempo mínimo a emplear por los 5 limones es de 7.58 minuto.

Esto demuestra que la potencia del transductor ultrasónico tiene un impacto directo en la disminución del tiempo de lavado de la fruta, mientras que el tiempo de activación necesario para lograr una limpieza efectiva está determinado por las características morfológicas del tipo de fruta.

7.3 Hipótesis 3: Influencia de la temperatura del agua

Para esta sección se colocó agua calentada alrededor de 40 °C. Las investigaciones teóricas indican que el lavado por ultrasonido es más factible con el incremento de la temperatura, disminuyendo el tiempo requerido para eliminar impurezas visibles.

Al realizar el primer experimento a temperatura de 40°C con 5 naranjas, a los 310 segundos la naranja evidenciaba una similitud de limpieza a cuando se retiraba la naranja después del tiempo de 390 segundos a temperatura ambiente, con esto se pudo analizar lo siguiente mediante la ecuación (4), derivada del cálculo general de variación porcentual:

$$\text{Reducción} = \left(\frac{\text{Tiempo en frío} - \text{Tiempo en caliente}}{\text{Tiempo en frío}} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Reducción} = \left(\frac{390 \text{ s} - 310}{390} \right) \times 100$$

$$\text{Reducción} = 20.51\%$$

El segundo experimento con temperatura a 40°C con 5 limones, a los 410 segundos el limón evidenciaba una similitud de limpieza a cuando se lo retiraba después del tiempo de 455 segundos a temperatura ambiente, con esto se pudo analizar lo siguiente mediante la ecuación (4):

$$\text{Reducción} = \left(\frac{\text{Tiempo en frío} - \text{Tiempo en caliente}}{\text{Tiempo en frío}} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Reducción} = \left(\frac{455 - 410}{455} \right) \times 100$$

$$\text{Reducción} = 9.89\%$$

Con estos datos se obtiene que la temperatura juega un rol importante al momento de tomar en cuenta la activación del ultrasónico teniendo un margen del 10% al 20% de acuerdo al tipo de fruta.

7.4 Tabla resumen de variables y resultados

A continuación, la Tabla 1 muestra el resumen de las principales variables controladas durante las pruebas, junto con los tiempos promedios observados por tipo de fruta:

Tabla 1.

Tabla de pruebas de limpieza con fruta cítrica

Fruta	Potencia específica del ultrasónico (W/L)	Dosis energética (KJ/L)	Temperatura del agua (°C)	Tiempo de calentamiento (s)	Tiempo de limpieza ultrasónica (s)	Total, aproximado por ciclo (s)
5 limones	7.69	3.5	25	-	455	455
5 naranjas	7.69	3	25	-	390	390
5 limones	7.69	3.5	40	272.09	410	682.09
5 naranjas	7.69	3	40	272.09	310	582.09

VIII. Cronograma

La Tabla 2 muestra las tareas programadas para el período 66, iniciando en mayo con la etapa de creación del borrador del proyecto. En los meses posteriores, se llevarán a cabo las diferentes fases relacionadas con la puesta en marcha del prototipo y documentación de la titulación.

Tabla 2.

Plan de trabajo del proyecto de titulación de carrera.

No.	Actividades para la elaboración del proyecto de titulación	Mayo-1				Junio-1				Julio-1				Agosto-1			
		Semanas															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Diseño del anteproyecto	■	■														
2	Diseño distribución de componentes			■	■												
3	Compra de componentes a usar					■	■			■							
4	Construcción del prototipo (ensamblaje)						■	■	■					■			
5	Programación inicial de activación del sensor de posición y servomotor de 24V DC							■	■								
6	Programación del modo automático y manual									■	■	■	■	■	■	■	
7	Desarrollo de las plantillas y ventanas para el HMI									■	■	■	■	■	■	■	
8	Pruebas y ajustes de activación													■	■	■	■
9	Redacción del libro													■	■	■	■
10	Revisión y corrección de avances al tutor													■	■	■	■
11	Entrega final de la tesis escrita													■	■	■	■

IX. Presupuesto

La realización de este proyecto se alinea con un prototipo experimental, así que se ha considerado tanto las horas de trabajo de ingeniería destinadas al diseño, ensamblaje y programación del sistema, como los recursos materiales y tecnológicos necesarios como los módulos de PLC y HMI que se encuentran en el Laboratorio de Automatización Industrial II, junto con los componentes extras requeridos para completar el funcionamiento del equipo. Esta información se especifica en la Tabla 3, donde se muestra un costo total estimado de \$690,87 para la implementación del prototipo.

Tabla 3.

Tabla del presupuesto para el proyecto de titulación

Cantidad	Materiales	Valor unitario	Valor total
1	Sensor Fotoeléctrico BRP200-DDTN-P	\$ 74.29	\$ 74.29
1	Resistencia Calentador de Agua 1500W	\$ 50.49	\$ 50.49
1	Sensor de Temperatura PT100 de 2 Hilos	\$ 2.96	\$ 2.96
2	Módulo Step-Down LM2596S DC-DC	\$ 2.00	\$ 4.00
2	Servomotor amarillo	\$ 1.80	\$ 3.60
1	Placa Generador Ultrasónico de 40 kHz – 120W	\$ 30.00	\$ 30.00
1	Transductor Ultrasónico de 40 kHz – 50W	\$ 30.00	\$ 30.00
2	Relay de 8 Pines de 24V DC con base	\$ 5.10	\$ 10.20
1	Transductor de Temperatura Pixsys modelo 2000.35.015	\$ 110.40	\$ 110.40

1	Juego de cable jumpers macho-macho	\$ 2.30	\$ 2.30
1	Protoboard pequeño	\$ 1.15	\$ 1.15
2	Cajas de paso PVC de 5" x 5" con tapa ciega	\$ 3.22	\$ 6.44
2	Prensa estopa para 1/2"	\$ 0.40	\$ 0.80
6	Cable Concéntrico Flexible 3x16 AWG (mts)	\$ 1.18	\$ 7.08
12	Cable FPLR 2 x 18 AWG – Rojo (mts)	\$0.58	\$ 6.96
1	Estructura del prototipo con acabado de pintura	\$ 13.00	\$ 13.00
120	Tiempo de ingeniería (Horas)	\$ 2.81	\$ 337.20
	VALOR TOTAL		\$ 690.87

X. Conclusiones

El desarrollo e implementación del prototipo de estación de lavado automatizada equipada con limpiador ultrasónico se evidenció como una solución novedosa para la limpieza de frutas, logrando los objetivos propuestos y validando las hipótesis en relación con el tiempo de proceso, la eficacia del ultrasonido y ventajas del control térmico.

La implementación del PLC S7-1500 y el ambiente TIA Portal V18 posibilitó un control del proceso eficaz y fiable, simplificando la integración entre sensores, actuadores y la interfaz HMI. Este ambiente también ayudó a potenciar las habilidades técnicas en la automatización industrial.

Las pruebas experimentales efectuadas corroboraron que el sistema consigue limpiar un lote de cinco frutas en un tiempo no de cinco minutos establecidos del principio sino de 11.37 minutos siendo más del doble de tiempo a lo establecido. Igualmente, incrementar la temperatura a 40 °C mejoró la cavitación por ultrasonido, disminuyendo la existencia de impurezas sin perjudicar la integridad de las frutas.

En el ámbito académico, el proyecto constituye un aporte importante al entendimiento práctico de la automatización en el sector agroindustrial, estableciendo los cimientos para la creación de nuevas soluciones orientadas a optimizar los procesos postcosecha.

XI. Recomendaciones

Este trabajo de titulación, centrado en el diseño e implementación de una estación automatizada para lavar con un limpiador ultrasónico, ha hecho posible comprobar la viabilidad técnica del sistema a pequeña escala. Sin embargo, como ocurre con cualquier proyecto experimental, se han identificado algunas restricciones que ofrecen la posibilidad de mejorar y desarrollar nuevas líneas de investigación en el futuro. Asimismo, se señala que el prototipo fue validado solamente en un ambiente de laboratorio, con una escala más pequeña y con pruebas a frutas cítricas (naranjas y limones) por tener una superficie rugosa. Además, durante las pruebas se mantuvieron temperaturas a no más de 40°C y un transductor ultrasónico de frecuencia fija.

A partir de lo anterior, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Incluir sensores que verifiquen la calidad del agua, como turbidez o pH, que faciliten una evaluación en tiempo real de la calidad del agua de lavado. Esto garantizaría que las condiciones de limpieza permanezcan estables y sean apropiadas para distintas variedades de frutas.
- Investigar el uso de algoritmos de Machine Learning o IA para la modificación automática de parámetros como la temperatura, el tiempo de exposición o la potencia ultrasónica de acuerdo a una base de datos, previamente entrenada que dependa del tipo y las propiedades de la fruta.
- Desde una perspectiva académica, se motiva a los estudiantes y futuros ingenieros en el área de Electrónica y Automatización a investigar la fusión de tecnologías complementarias, como son los sistemas móviles, las redes de comunicación IoT y el control remoto a distancias. Esto haría posible extender la aplicación del prototipo a contextos más complejos de la agroindustria y producir soluciones que se puedan escalar en el ámbito industrial.

Para modelos alternativos del prototipo se podrían contemplar adaptaciones para ajustarse a distintos contextos y niveles de producción:

- Versión portátil modular para productores pequeños, con capacidad para limpiar entre 2 y 3 kg por ciclo.
- Diseño híbrido solar-eléctrico, disminuyendo los gastos de energía en áreas rurales sin conexión constante a la red.
- Prototipo de varias fases que fusiona ultrasonido con luz UV para una desinfección más efectiva.

Para aplicaciones alternativas del ultrasónico, la tecnología de ultrasonidos cuenta con un extenso espectro de uso:

- Industria farmacéutica: limpieza de utensilios de cirugía y recipientes.
- Industria automotriz: eliminación de grasa y óxido en componentes de metal.
- Producción de alimentos: emulsificación, uniformización y obtención de componentes bioactivos.
- Acuicultura: La limpieza de redes y jaulas sin la utilización de sustancias químicas disminuye los peligros para las especies cultivadas (Kobayashi, 2020).

XII. Referencias Bibliográficas

- Agüero, E. G., & Sarabia, E. G. (2023). *Automatización y monitorización de una línea de producción mediante Factory I/O y TIA Portal con comunicación PROFINET entre PLCs*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/29504>
- ALLTRONICS PERÚ. (2024). *Transmisores de temperatura - Modelos 2000.35.010 / 015*. <https://alltronicsperu.com/producto/transmisores-de-temperatura-modelos-200035010-015>
- Angamarca Peralta, Á. G., & Ayala Morán, E. G. (2024). *Diseño y simulación de un horno de pintura electrostática para tableros eléctricos con PLC S7-1500 Y HMI KTP-700*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27713>
- Autonics. (2024). *BRP200-DDTN - Tipo cilíndrico (Tipo reflectante de haz estrecho) | Autonics (EC)*. <https://www.autonics.com/ec/model/BRP200-DDTN>
- AWC. (2025). *Siemens: How to Design a Programmable Logic Controller (PLC) Panel – AWC, Inc.* <https://www.awc-inc.com/siemens-how-to-design-a-programmable-logic-controller-plc-panel/>
- Beatriz Riverón. (2022). *Aplicación de ultrasonidos en tratamientos poscosecha: una perspectiva*. <https://www.poscosecha.com/aplicacion-de-ultrasonidos-en-tratamientos-poscosecha-una-perspectiva>
- Caballero-Figueroa, E., Terrés, E., Hernández-Hernández, H. M., Escamilla-García, M., Caballero-Figueroa, E., Terrés, E., Hernández-Hernández, H. M., & Escamilla-García, M. (2022). Revisión sobre las tecnologías emergentes no térmicas para el procesamiento de alimentos. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25, 61–75. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2022.459>
- CHOEZ ÁVILA JESÚS ALBERTO, & PALACIOS MUÑOZ RAFAEL FRANCISCO. (2024). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN*.
- Córdova M., M. A. (2019). *Análisis del proceso de control de calidad para el lavado y*

empaques de piña MD-2 en la empresa Corporación Frutera del Pacífico S.A.
<https://bdigital.zamorano.edu/items/4c49e808-39a3-470f-bba8-529f488b5baa>

Cruz, A. P. (2024). *Programación De PLC: Guía Completa Para Principiantes. - Electropreguntas.* <https://electropreguntas.com/programacion-de-plc-guia-completa-para-principiantes/>

EDUTRONICAS. (2024). *Servomotores - edutronicas.* <https://edutronicas.com/categoria-producto/servomotores/>

Florez Villamizar, E. A., Díaz Carvajal, O. M., & Agredo Nova, R. D. (2025). *Desarrollo e integración de un sistema de control y supervisión por medio de SIMATIC WinCC Unified Runtime, para el módulo de visualización Local/Remoto del Laboratorio de Instrumentación.* <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/19260>

Guayaquil, S., Gamarra, M., Marlene, A., Quishpe, R., & Rolando, D. (s/f). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA PROYECTO DE TITULACIÓN AUTORES.*

HALMS. (2025). *10 unids/lote JQX-13FL relé electromagnético con indicador LED con enchufe serie LY2 HH62P AC 220V 110V DC 24V 12V LY2NJ HH62PL HH62P-L (Size: 12VDC): Amazon.com.mx: Herramientas y Mejoras del Hogar.* <https://www.amazon.com.mx/JQX-13FL-electromagn%C3%A9tico-indicador-enchufe-HH62P-L/dp/B0CQFW59QN?th=1>

Hidalgo Castelo, F. M. (2021). *Automatización del proceso de envasado de la pulpa de fruta para optimizar la producción en la Procesadora Agroindustrial Mis Frutales en la parroquia de San Luis de la ciudad de Riobamba.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16238>

Hitchin, Y., Graham, M., Charlton, L., Luxbacher, T., Correia Semião, A., & Romero-Vargas Castrillón, S. (2024). Effect of temperature on organic fouling and cleaning efficiency of nanofiltration membranes for loch water treatment. *Separation and Purification Technology*, 332, 125815. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2023.125815>

Juan, E., Ariano, J., Asesores, R., Godoy, A. J., Rendón, J., Honduras, C., & 2021, J. (2021).

Plan de exportación de piña (Ananas comosus) var. MD2 de Guatemala hacia Estados Unidos. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6957>

Kumar, M., Prabhansu, & Bhale, P. V. (2025). Experimental investigation on dual-shaped solar greenhouse dryer: Performance and technoeconomic analysis. *Journal of Stored Products Research*, 112, 100–112. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2025.102621>

La Hora. (2024, febrero 27). *Las exportaciones de productos agrícolas y agroindustriales aumentaron 13% en 2023.* <https://www.lahora.com.ec/archivo/Las-exportaciones-de-productos-agricolas-y-agroindustriales-aumentaron-13-en-2023-20240227-0052.html>

Macias Orbea, B. S., Macias Zambrano, J. A., & FIEC, ESPOL. (2022). *Diseño de un sistema eléctrico y control automatizado del proceso de cocción para mejorar el valor agregado en la exportación del camarón.* <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57627>

Majid, I., Nayik, G. A., & Nanda, V. (2015). Ultrasonication and food technology: A review. *Cogent Food and Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1071022>

ModuleMe Electronic. (2025). *Ac220v 120W Generador Ultrasónico Limpiador Power Driver Board / 50W 40k Transductor for sale | eBay.* https://www.ebay.com/sch/i.html?_dkr=1&iconV2Request=true&_blrs=recall_filtering&_ssn=moduleme&store_name=modulemeelectronic&_oac=1&_nkw=ac220v%20120w%20generador%20ultras%C3%B3nico%20limpiador%20power%20driver%20board%20%2F%2050w%2040k%20transductor

Mundo, M. del V. (2021). *La calidad alimentaria en la agricultura intensiva: Las posibilidades de diferenciación de productos en la frutihorticultura del Partido de General Pueyrredón.* <http://humadoc.mdp.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/1238>

Nelson, J., Johnson, H., & Jordan, N. (2025). *The Influence of Robotics and AI on Operational Efficiency and Crop Yield in Electric Agricultural Machinery.* <https://www.researchgate.net/publication/390051377>

- Nichola McGregor. (2025, julio 14). *La lavadora de alta presión de CR Automation elimina hasta el 98% de las plagas*. <https://www.freshplaza.es/article/9544341/la-lavadora-de-alta-presion-de-cr-automation-elimina-hasta-el-98-de-las-plagas/>
- NOVAtronic. (2024). *Sensor de Temperatura RTD Platino – PT100 – 2 hilos 1 metro – Novatronic*. <https://novatronicec.com/index.php/product/sensor-de-temperatura-rtd-platino-pt100-2-hilos-1-metro/>
- Organización Mundial de la Salud. (2024, octubre 4). *Inocuidad de los alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Paucar-Menacho, L. M., Moreno-Rojo, C., & Chuqui-Diestra, S. R. (2024). Tecnologías emergentes no térmicas en la industria alimentaria: Avances y potenciales aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Scientia Agropecuaria*, 15(1), 65–83. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2024.006>
- PEDRO ISRAEL QUINATO A QUINALOA, & JENNY PETRONA PACA AUCANCELA. (2024). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA “DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE MEZCLADO Y DOSIFICACIÓN DE FLUIDOS NO AGROINDUSTRIA-ESPOCH”*.
- QBPROFE. (2023, marzo 25). *Configuración del hardware PLC S7 1500 SIEMENS – QBPROFE Academy*. <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/configuracion-del-hardware-plc-s7-1500-siemens/>
- Rodrigo, S., & Leal, A. M. (2019). *UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE CONCEPCIÓN-REY BALDUINO DE BÉLGICA DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL UTILIZANDO CONTROLADOR SIMATIC S7-1200 CON TIA PORTAL VERSIÓN 14*.
- SDI Industrial. (2024). *Partes de un PLC y su importancia [en 2025] | SDI*. <https://sdindustrial.com.mx/blog/partes-de-un-plc/>
- SIEMENS. (2025). *Portal de automatización totalmente integrada - Siemens AR*. <https://www.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia->

portal.html

Siemens S.A. (2024). *Portal de automatización totalmente integrada - Siemens AR.*

<https://www.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html>

SIMATIC HMI. (2024). *Paneles HMI - Siemens ES.*

<https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/hmi.html>

Stalyn Javier Chaviznan Diaz. (2025). *Convertidores DC-DC para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos de baja potencia : diseño e implementación de un convertidor DC-DC elevador con tecnología SIC.* <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26676>

TECmikro. (2024). *Modulo LM2596 - Regulador step down.*

<https://tecmikro.com/alimentacion-pilas-baterias/616-lm2596-modulo-regulador-step-down.html>

Zhang, Y., & Liu, M. (2021). Application of Photoelectric Sensor in Control of Industrial Robot. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 16(2), 324–332. <https://doi.org/10.1166/JNO.2021.2960>

Zhou, W., Sarpong, F., & Zhou, C. (2022a). Use of Ultrasonic Cleaning Technology in the Whole Process of Fruit and Vegetable Processing. *Foods 2022, Vol. 11, Page 2874*, 11(18), 2874. <https://doi.org/10.3390/FOODS11182874>

Zhou, W., Sarpong, F., & Zhou, C. (2022b). Use of Ultrasonic Cleaning Technology in the Whole Process of Fruit and Vegetable Processing. *Foods*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/FOODS11182874>