



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

**Desarrollo de un sistema de automatización de un Invernadero
para cultivo de Melones en el Cantón Lomas de Sargentillo**

AUTOR

Carrasco Agraces Oscar Omar

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTOR

Ing. Jessica Alexandra Marcatoma Tixi, Msc.

Santa Elena, Ecuador

Año 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Msc.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Jessica Marcatoma Tixi, Msc.
TUTOR**

**Ing. Junior Figueroa Olmedo, Msc.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Ing. Manuel Montaña Blacio, Msc.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera, Msc.
SECRETARIO GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES, como requerimiento para la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

TUTOR

Ing. Jessica Alexandra Marcatoma Tixi, Msc

Santa Elena, 30 de junio de 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Desarrollo de un sistema de automatización de un Invernadero para cultivo de Melones en el Cantón Lomas de Sargentillo previo a la obtención del título en Magister en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Santa Elena, 30 de junio de 2024

EL AUTOR

OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO
DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Desarrollo de un sistema de automatización de un Invernadero para cultivo de Melones en el Cantón Lomas de Sargentillo, presentado por el estudiante, OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES fue enviado al Sistema Anti plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Trabajo Final Componente Practico
Oscar Carrasco V2.7z

2%
Textos sospechosos

2% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos

TUTOR

Ing. Jessica Alexandra Marcatoma Tixi, Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, **OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de examen complejo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo de examen complejo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 30 de junio de 2024

EL AUTOR

OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a profesores, compañeros, familiares y amigos por su apoyo en mi camino hacia el título de Magíster en Electrónica y Automatización en la Universidad Estatal Península de Santa Elena. A mis profesores, gracias por su dedicación y sabiduría. A mis compañeros, por su colaboración y espíritu de equipo. A mi familia, por su amor incondicional y apoyo constante. A mis amigos, por su compañía y alegría compartida. Este logro no habría sido posible sin ustedes. Me siento bendecido por contar con un círculo tan maravilloso de personas que han creído en mí y han contribuido a mi éxito. Con humildad y gratitud, les extiendo mi más sincero agradecimiento por su invaluable apoyo en este viaje académico y personal.

OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES

DEDICATORIA

Esta dedicatoria está dirigida a todos aquellos que me han acompañado en mi camino hacia la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización en la Universidad Estatal Península de Santa Elena:

"A mis queridos profesores, compañeros, familiares y amigos, les dedico este logro con profundo agradecimiento y aprecio. Su constante apoyo, orientación y amor incondicional han sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito. A mis profesores, gracias por su dedicación y sabiduría. A mis compañeros, por su colaboración y amistad. A mi familia, por su inquebrantable apoyo y sacrificios. A mis amigos, por su compañía y alegría compartida. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón y ha contribuido significativamente a este importante logro en mi vida. Con todo mi cariño y gratitud, les dedico este título como una muestra de mi eterno agradecimiento. ¡Gracias por estar siempre a mi lado!"

OSCAR OMAR CARRASCO AGRACES

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | I |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | II |
| CERTIFICACIÓN..... | III |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD | IV |
| CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO | V |
| AUTORIZACIÓN..... | VI |
| AGRADECIMIENTO | VII |
| DEDICATORIA..... | VIII |
| RESUMEN..... | XVI |
| ABSTRACT..... | XVII |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo General..... | 3 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 3 |
| 3 MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 3.1 La Agricultura en Ecuador..... | 4 |
| 3.2 ¿Qué es un Invernadero?..... | 5 |
| 3.3 Sistema de Riego por Goteo | 6 |
| 3.4 La Automatización de Invernaderos en el Ecuador | 7 |
| 3.5 Que Entendemos por Automatización. | 8 |
| 3.6 ¿Qué es un el PLC?..... | 9 |
| 3.7 ¿Qué es el HMI? | 10 |
| 3.8 ¿Qué son los Convertidores de Frecuencia? | 11 |
| 3.9 Software ISPSOFT..... | 12 |
| 3.10 Software DOPSOFT | 14 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.11 | Sensor Temperatura para Invernaderos | 15 |
| 3.12 | Sensor de Humedad para Invernadero | 16 |
| 3.13 | Bomba de Fertilizante ITC..... | 17 |
| 3.14 | Ventiladores y Extractores para Invernaderos | 18 |
| 4 | METODOLOGÍA..... | 20 |
| 4.1 | Tipo de Investigación..... | 20 |
| 4.2 | Diseño de la Investigación | 20 |
| 4.3 | Colectivo y Muestra..... | 20 |
| 4.4 | Procedimiento del Desarrollo del Software | 20 |
| 4.4.1 | Análisis de Requerimientos: | 20 |
| 4.4.2. | Diseño del Sistema: | 20 |
| 4.4.3 | Implementación: | 21 |
| 4.3.4. | Pruebas y Validación: | 21 |
| 4.5 | Análisis de Datos | 21 |
| 4.5.1. | Datos Cualitativos:..... | 21 |
| 4.6 | Validación y Confiabilidad de Resultados..... | 21 |
| 4.7 | Fundamentos de la Investigación Cualitativa | 21 |
| 4.8 | Importancia de las Simulaciones | 22 |
| 4.9 | Recolectando y Analizando Datos Cualitativos..... | 22 |
| 4.9.1 | Temperatura:..... | 22 |
| 4.9.2. | Humedad:..... | 22 |
| 4.9.3 | Consumo de Agua y Energía: | 22 |
| 4.10 | Validación y Confiabilidad de Resultados..... | 22 |
| 5 | DESARROLLO | 23 |
| 5.1 | Medidas del Invernadero para Cultivo de Melones | 23 |
| 5.2 | Información del Cultivo del Melón por parte de los agricultores del sector. | 23 |
| 5.2.1 | Requerimiento de Agua | 23 |
| 5.2.2 | Control de Temperatura | 24 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.2.3 | Control de Humedad..... | 25 |
| 5.2.4 | Control de Conductividad Eléctrica..... | 25 |
| 5.2.5 | Requerimiento de Fertilizante..... | 26 |
| 5.2.6 | Requerimientos para Medir el pH del Suelo..... | 27 |
| 5.3 | Diseño del Sistema de Automatización en Simulación | 27 |
| 5.4 | Desarrollo del Software en el HMI..... | 29 |
| 5.4.1 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Menú Principal | 29 |
| 5.4.2 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Fertilizante | 30 |
| 5.4.3 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Riego | 30 |
| 5.4.4 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Invernadero | 31 |
| 5.4.5 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Configuración..... | 31 |
| 5.4.6 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Simulación Variables | 32 |
| 5.4.7 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Alarma..... | 33 |
| 5.4.8 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de Fertilizante y Riego | 34 |
| 5.4.9 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de Temperatura y Humedad | 35 |
| 5.4.10 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de PH y Conductividad | 35 |
| 5.4.11 | Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de Presión | 36 |
| 5.4.12 | Diseño y Elaboración de Pantallas de PID | 36 |
| 5.4.13 | Configuración de Alarmas en el HMI | 37 |
| 5.5 | Desarrollo del Software en el PLC | 37 |
| 5.5.1 | Programación del Modo de Operación | 38 |
| 5.5.2 | Programación Marcha Variador | 39 |
| 5.5.3 | Programación Rampa Variador | 39 |
| 5.5.4 | Programación Simulación Variables | 40 |
| 5.5.5 | Programación Control de Válvulas Riego | 41 |
| 5.5.6 | Programación Control de Ventiladores y Extractor..... | 41 |
| 5.5.7 | Programación Control Válvulas de Humedad | 42 |
| 5.5.8 | Programación Control de Alarma..... | 42 |
| 5.5.9 | Programación Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo)..... | 43 |
| 5.5.10 | Programación Por Dia..... | 43 |
| 5.5.11 | Programación Control Bomba de Humedad..... | 44 |
| 5.5.12 | Programación Control Proceso | 44 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.5.13 | Comentarios de Entrada y Salidas del PLC | 45 |
| 6 | RESULTADOS | 46 |
| 6.1 | Simulación de Menú Principal..... | 46 |
| 6.2 | Simulación de Fertilizante | 46 |
| 6.3 | Simulación de Riego | 47 |
| 6.4 | Simulación de Invernadero | 48 |
| 6.5 | Simulación de Alarmas | 49 |
| 6.6 | Simulación de Configuración | 50 |
| 6.7 | Simulación de Variables Proceso..... | 51 |
| 6.8 | Simulación de Curva de Fertilizante y Riego | 51 |
| 6.9 | Simulación de Curva de Temperatura y Humedad | 52 |
| 6.10 | Simulación de Curva de Conductividad y pH..... | 53 |
| 6.11 | Simulación de Curva de Presión | 53 |
| 6.12 | Simulación de PID | 54 |
| 7 | CONCLUSIONES | 55 |
| 8 | RECOMENDACIONES | 56 |
| 9 | REFERENCIAS..... | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------------|--|----|
| Tabla 1 | Requerimiento de Agua | 24 |
| Tabla 2 | Rango de Control de Temperatura | 24 |
| Tabla 3 | Rangos de Control de Humedad | 25 |
| Tabla 4 | Rangos de Control de Conductividad Eléctrica | 26 |
| Tabla 5 | Requerimiento de Fertilizante..... | 26 |
| Tabla 6 | Requerimiento de pH | 27 |
| Tabla 7 | Tabla de Componentes y Costos del Invernadero..... | 28 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Invernadero de Melones | 5 |
| Figura 2 | Invernadero..... | 6 |
| Figura 3 | Sistema de Goteo en Invernadero..... | 7 |
| Figura 4 | Producción de Invernadero de Semillas | 8 |
| Figura 5 | Invernaderos Automatizados e Inteligentes | 9 |
| Figura 6 | PLC-Controlador Lógico Programable AS200 | 10 |
| Figura 7 | HMI de pantalla táctil - Serie DOP-100..... | 11 |
| Figura 8 | Variador De Frecuencia Yaskawa V1000..... | 12 |
| Figura 9 | Software ISPSOFT | 13 |
| Figura 10 | DOPSOFT | 15 |
| Figura 11 | Sensores PT100..... | 16 |
| Figura 12 | Sensor de Humedad..... | 17 |
| Figura 13 | Bomba Dosificadora..... | 18 |
| Figura 14 | Ventiladores y Extractores del Invernadero | 19 |
| Figura 15 | Estructuradas Funcional de las Pantallas del HMI..... | 29 |
| Figura 16 | Pantalla de Menú de Principal..... | 29 |
| Figura 17 | Pantalla de Fertilizante | 30 |
| Figura 18 | Pantalla de Riego..... | 31 |
| Figura 19 | Pantallas de Invernadero | 31 |
| Figura 20 | Pantallas de Configuración..... | 32 |
| Figura 21 | Pantallas de Simulación Variables | 33 |
| Figura 22 | Pantallas de Alarma..... | 33 |
| Figura 23 | Pantallas de Curva de Fertilizante y Riego | 34 |
| Figura 24 | Pantallas de Curva de Temperatura y Humedad | 35 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 25 | Pantallas de Curva de PH y Conductividad..... | 35 |
| Figura 26 | Pantallas de Curva de Presión | 36 |
| Figura 27 | Pantallas de PID | 36 |
| Figura 28 | Configuración de Alarmas en el HMI | 37 |
| Figura 29 | Configuración del Hardware | 38 |
| Figura 30 | Programación del Modo de Operación..... | 39 |
| Figura 31 | Programación Marcha Variador | 39 |
| Figura 32 | Programación Rampa Variador | 40 |
| Figura 33 | Programación Simulación Variables | 40 |
| Figura 34 | Programación Control de Válvulas Riego..... | 41 |
| Figura 35 | Programación Control de Ventiladores y Extractor | 41 |
| Figura 36 | Programación Control Válvulas de Humedad..... | 42 |
| Figura 37 | Control de Alarma | 42 |
| Figura 38 | Programación Control PID | 43 |
| Figura 39 | Programación Por Dia | 43 |
| Figura 40 | Programación Control Bomba de Humedad | 44 |
| Figura 41 | Programación Control Proceso..... | 44 |
| Figura 42 | Comentarios de Entrada y Salidas del PLC..... | 45 |
| Figura 43 | Simulación de Menú Principal | 46 |
| Figura 44 | Simulación de Fertilizante | 47 |
| Figura 45 | Simulación de Riego | 47 |
| Figura 46 | Encendido de las Válvulas de Riego | 48 |
| Figura 47 | Simulación de Invernadero..... | 48 |
| Figura 48 | Encendido de Ventiladores..... | 49 |
| Figura 49 | Simulación de Alarmas | 49 |
| Figura 50 | Luz Verde Encendida | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 51 Simulación de Configuración | 50 |
| Figura 52 Simulación de Variables Proceso | 51 |
| Figura 53 Simulación de Curva de Fertilizante y Riego..... | 52 |
| Figura 54 Simulación de Curva de Temperatura y Humedad | 52 |
| Figura 55 Simulación de Curva de Conductividad y pH..... | 53 |
| Figura 56 Simulación de Curva de Presión | 53 |
| Figura 57 Simulación de PID..... | 54 |
| Figura 58 PID en Modo Manual | 54 |

RESUMEN

El trabajo se centra en el desarrollo de un sistema de automatización para invernaderos de melones en el Cantón Lomas de Sargentillo. El objetivo es mejorar la eficiencia y sostenibilidad del cultivo mediante la implementación de tecnologías avanzadas como PLC y HMI. Se emplea una metodología cualitativa que incluye simulaciones y observaciones detalladas para evaluar el sistema propuesto. Los resultados esperados incluyen la optimización del uso de recursos, el aumento de la productividad y la reducción del impacto ambiental. Se concluye que la automatización de invernaderos puede transformar la agricultura de melones, ofreciendo un modelo escalable y sostenible que beneficia tanto a los agricultores locales como al medio ambiente, promoviendo prácticas agrícolas más eficientes y rentables.

Palabras claves: Automatización, Invernaderos, Melones

ABSTRACT

The work focuses on the development of an automation system for melon greenhouses in Cantón Lomas de Sargentillo. The objective is to improve the efficiency and sustainability of cultivation through the implementation of advanced technologies such as PLC and HMI. A qualitative methodology is employed, which includes simulations and detailed observations to evaluate the proposed system. The expected results include the optimization of resource use, increased productivity, and reduced environmental impact. It is concluded that greenhouse automation can transform melon agriculture, offering a scalable and sustainable model that benefits both local farmers and the environment, promoting more efficient and profitable agricultural practices.

Keywords: Automation, Greenhouses, Melons

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta desafíos significativos, entre ellos el cambio climático, el incremento de la población mundial y la creciente presión sobre los recursos naturales. Estas dificultades exigen soluciones innovadoras que mejoren la productividad y sostenibilidad de los cultivos. En este contexto, la automatización de invernaderos se presenta como una respuesta prometedora, especialmente para cultivos de alto valor como el melón en el Cantón Lomas de Sargentillo. La incorporación de tecnologías avanzadas en estos sistemas no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también mejora las condiciones de cultivo. Esto permite maximizar tanto la productividad como la calidad de los productos. Mediante el control preciso de variables ambientales como temperatura, humedad, los sistemas automatizados garantizan las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos, aumentando su rendimiento y reduciendo simultáneamente el impacto ambiental de las prácticas agrícolas tradicionales.

Este estudio se enfoca en desarrollar un sistema de automatización para invernaderos dedicados al cultivo de melones, utilizando tecnologías avanzadas como sensores electrónicos, sistemas de riego automatizados y análisis de datos. Estas herramientas son esenciales para optimizar el crecimiento y la sostenibilidad del cultivo. Se emplea un programa de simulación basado en el Controlador Lógico Programable (PLC) y la Interfaz Humano Máquina (HMI) de la marca Delta, lo cual facilita una gestión más efectiva y adaptable de los invernaderos. Este enfoque permite un monitoreo continuo y una respuesta ágil y en tiempo real a las necesidades específicas del cultivo, mejorando así la eficiencia operativa y contribuyendo a la sostenibilidad agrícola. Al integrar estas tecnologías, el proyecto busca no solo aumentar la productividad agrícola, sino también minimizar el impacto ambiental mediante una utilización más precisa y controlada de los recursos naturales (Pardo Solano & Casa Yanguicela, 2020).

El objetivo principal de este estudio es diseñar un avanzado sistema de automatización para invernaderos dedicados al cultivo de melones en el Cantón Lomas de Sargentillo. Este sistema incorporará programas de simulación para visualizar y optimizar el funcionamiento de la automatización, mejorando así la eficiencia en el uso de los recursos involucrados en el proceso agrícola. Se anticipa que el sistema automatizado optimizará el ciclo de cultivo, mejorando significativamente la producción y reduciendo los costos operativos. Este enfoque no solo busca incrementar la rentabilidad, sino también promover prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes (Gomez Garcia & Quichimbo Ortiz, 2019).

El diseño incluirá el desarrollo de un programa para un PLC y una HMI, que simulará el funcionamiento del invernadero automatizado. Se evaluará su desempeño mediante indicadores de eficiencia en el uso del agua, energía y la optimización del microclima interno. Se espera que los resultados confirmen la viabilidad de la automatización a gran escala y ofrezcan datos valiosos sobre las mejoras en la productividad y sostenibilidad del sistema. Esta información será crucial para justificar la expansión y adopción de estas tecnologías en la agricultura moderna

Se argumentará que el uso de programas de simulación para automatizar el funcionamiento de invernaderos dedicados al cultivo de melones puede mejorar significativamente la producción y la eficiencia. Esto, a su vez, minimiza los costos operativos y reduce el impacto ambiental. Este enfoque innovador tiene el potencial de transformar la agricultura de melón en Lomas de Sargentillo, ofreciendo un modelo escalable y sostenible que podría revolucionar la agricultura moderna

Este proyecto es relevante tanto en el ámbito académico como en el industrial, ofreciendo soluciones económicas mediante la optimización de recursos que se traducen en beneficios considerables. Estos incluyen la reducción del precio de venta al público, la disminución de productos defectuosos, y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Adicionalmente, aumenta la rentabilidad para los agricultores locales y proporciona un modelo replicable para otros cultivos y regiones. Esta estrategia integral no solo impulsa la eficiencia económica, sino que también promueve prácticas sostenibles en la agricultura moderna (Green & Kramer, 2022).

La simulación práctica será fundamental en el diseño propuesto, demostrando cómo la automatización puede optimizar significativamente la producción de melones. Este estudio también establecerá una base sólida para desarrollar políticas agrícolas que promuevan la adopción de tecnologías avanzadas, como el uso de PLC y HMI. Adicionalmente, los resultados podrían tener un impacto considerable en las prácticas agrícolas locales, fomentando un enfoque más eficiente y sostenible en la agricultura (García et al., 2021; Hernández et al., 2021).

El trabajo de titulación se estructura en varios capítulos que abarcan desde el desarrollo del diseño hasta la simulación de los programas del PLC y HMI. Incluye la explicación detallada de la metodología utilizada, la presentación de los resultados obtenidos, y una discusión amplia que culmina en conclusiones y recomendaciones.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de automatización para un invernadero en el Cantón Lomas de Sargentillo, mediante el uso de varios programas de simulación, con el fin de mejorar la eficiencia en el manejo de recursos y el control del cultivo, incrementando la productividad y sostenibilidad del cultivo de melones en el sector.

2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de automatización para un invernadero en el Cantón Lomas de Sargentillo utilizando un programa de simulación basado en datos históricos de agricultores, incluyendo variables como temperatura y humedad, para optimizar el cultivo de melones.
- Desarrollar un programa para un sistema de riego automatizado que se adapte a las necesidades específicas del cultivo de melones. Esto implica la simulación de variables de humedad en el suelo y la programación de un sistema de riego que suministre la cantidad adecuada de agua en función de las condiciones del suelo y las necesidades hídricas de los melones, contribuyendo así a una gestión eficiente del agua y la energía eléctrica.
- Optimizar la programación del sistema de automatización de invernaderos para el cultivo de melones, incorporando un programa de simulación para gestionar las variables de entrada. El objetivo es crear un diseño escalable, aplicable desde pequeños hasta grandes invernaderos, mejorando la eficiencia y sostenibilidad en la producción agrícola.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 La Agricultura en Ecuador

La agricultura de Ecuador es un pilar importante de la economía y la cultura del país, y el clima y la geografía del país le permiten cultivar una variedad de productos agrícolas. Desde las regiones costeras hasta los valles andinos y la región amazónica, el país cultiva desde uvas autóctonas hasta productos exóticos y desempeña un papel importante en los mercados locales y de exportación. En este contexto, la producción frutícola comienza a realizarse en invernaderos, especialmente frutas como melones, fresas y tomates, que se benefician enormemente de las medidas de control que ofrecen estas estructuras. El invernadero de melones se muestra en la Figura 1, proporcionan un entorno protegido que ayuda a reducir los riesgos asociados con el clima extremo y las enfermedades de las plantas, lo que permite a los agricultores optimizar recursos como el agua y los fertilizantes (Miguez García, 2023).

En particular, la producción de sandía bajo techo se perfila como una tecnología prometedora en las regiones costeras del Ecuador, donde el clima es ideal para el cultivo de este tipo de fruta. Cultivar sandías bajo techo no sólo mejora la calidad y consistencia de los cultivos, sino que también aumenta la eficiencia en el uso del agua, un recurso muy importante. La agricultura orgánica le permite extender su temporada de cultivo, lo cual es importante para seguir siendo competitivo en los mercados globales donde la demanda de productos frescos y de alta calidad es constante. Esta tecnología también se puede aplicar a otras frutas populares en los mercados internacionales, como las fresas y los tomates, lo que brindará más oportunidades a los agricultores ecuatorianos para diversificar y estabilizar sus ingresos. A pesar de estas ventajas, la adopción de la agricultura en invernadero puede enfrentar desafíos, incluidos altos costos iniciales y la necesidad de conocimientos técnicos especializados. Con el apoyo adecuado de políticas agrícolas y programas de capacitación, el futuro de la producción de frutas de invernadero en Ecuador parece prometedor, basado en la tendencia global hacia la agricultura sostenible y la agricultura tecnificada (Miguez García, 2023).

Figura 1

Invernadero de Melones



Nota. Tomado de *Invernadero* [Fotografía], por El Productor, 2021,

(<https://elproductor.com/2019/02/paso-a-paso-cultivar-sandias-y-melones-por-hidroponia-e-invernaderos/>)_CC BY 2.0

3.2 ¿Qué es un Invernadero?

Es una estructura destinada a describir la llamada agricultura protegida puede ser de diferentes formas y materiales, uno de los cuales puede ser una estructura metálica utilizada para cultivar plantas y/o protegerlas con una cubierta. una película plástica translúcida que no deja entrar la lluvia y cuya finalidad es crear o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas en su interior, tiene cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones deben permitir el trabajo de las personas; adentro Los invernaderos pueden tener un cuerpo totalmente de plástico y una malla en los lados (Santos Beltrán et al., 2023).

Un invernadero es un edificio agrícola que está diseñado y construido de tal manera que crea un clima interior óptimo para el desarrollo y crecimiento de los cultivos. El objetivo de optimizar el microclima de estas estructuras agrícolas es, entre otras cosas, mejorar la calidad del producto final, aumentar el rendimiento de los cultivos y lograr una producción sistemática y fuera de temporada de plantas hortícolas en zonas donde el clima local. impide su crecimiento en algunas temporadas. en el campo abierto. Un invernadero se muestra en la Figura 2. consta principalmente de tres partes: la estructura, el techo y sistemas climáticos adicionales, que pueden ser, por ejemplo, equipos de trabajo mecánicos, redes de sombra y redes de ahorro de

energía. Por lo general, se construyen con materiales que se encuentran fácilmente disponibles en el área donde se desea instalar. Los materiales más utilizados son la madera, el acero estructural galvanizado, el aluminio. La cubierta debe ser necesariamente de un material transparente que maximice la penetración de la radiación solar actual en el invernadero (Santos Beltrán et al., 2023).

Figura 2

Invernadero



Nota. Tomado de *Invernadero* [Fotografía], por BRIXCER, 2022, (<https://brixcer.com/ecuador/quito-norte/invernaderos-nacionales-ina-s-a-quito-ecuador/>). CC BY 2.0

3.3 Sistema de Riego por Goteo

Los sistemas de riego por goteo en invernaderos son una tecnología de riego eficiente y adecuada para la agricultura moderna, especialmente en el medio ecuatoriano donde el uso eficiente del agua es importante debido a la variabilidad de las condiciones climáticas y la necesidad de conservación del agua. Este sistema puede entregar agua y nutrientes directamente a la zona de las raíces de la planta, reduciendo la evaporación y el desperdicio. En los invernaderos, el riego es muy eficiente y brinda a los agricultores el poder que necesitan para optimizar las prácticas agrícolas y aumentar el rendimiento de los cultivos (Pardo Solano & Casa Yanguicela, 2020).

La implementación de un sistema de riego por goteo en un invernadero se muestra en la Figura 3, requiere una red de tuberías, conductos y aspersores diseñados para una distribución uniforme y precisa del agua. Esta red está conectada a un sistema de sensores y controles que se pueden ajustar para ajustar la cantidad de riego según los requisitos específicos

de la plantación, las condiciones climáticas interiores y la humedad del suelo. Este nivel de precisión no sólo garantiza que las plantas obtengan la cantidad de agua que necesitan, sino que también reduce significativamente el consumo de agua en comparación con los métodos tradicionales. El uso de riego en el invernadero también puede promover la salud de las plantas al reducir el exceso de humedad en las hojas, que puede causar enfermedades fúngicas. Al proporcionar agua adecuada al suelo, previene la compactación del suelo y crea un ambiente saludable para las raíces. Esta tecnología es muy útil para cultivos de gran volumen como tomate, pimiento, fresa, melón y flores, que requieren un manejo intensivo y condiciones especiales para su óptimo desarrollo (Pardo Solano & Casa Yanguicela, 2020).

Figura 3

Sistema de Goteo en Invernadero



Nota. Tomado de *Sistemas Automático de Goteo* [Fotografía], por NOVAGRIC, 2021, (<https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-por-goteo>)_CC BY 2.0

3.4 La Automatización de Invernaderos en el Ecuador

Actualmente, la agricultura sostenible ha ganado influencia global debido a su capacidad para mejorar la eficiencia de los recursos y aumentar el rendimiento de los cultivos. En Ecuador, la automatización del invernadero es una buena forma de optimizar el uso de agua, energía y mano de obra. En esta investigación analizaremos los desarrollos recientes y adaptaremos los sistemas automatizados a las condiciones locales. En los últimos cinco años, Ecuador ha experimentado un crecimiento significativo en el uso de tecnologías automatizadas en la agricultura. Estudios recientes han demostrado que sistemas como el control automático del clima y del riego pueden aumentar la producción y al mismo tiempo reducir los costos operativos, se muestra el trabajo en un invernadero en la Figura 4. Destacan la adopción de

sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan ajustes apropiados para optimizar el crecimiento de las plantas en las condiciones climáticas (López & Velasteguí, 2021).

El diseño propuesto del sistema de automatización de invernaderos de Ecuador está estructurado en pasos clave que apuntan a optimizar el microclima y aumentar la eficiencia de los recursos. En primer lugar, utilizamos controladores programables (PLC), que son el cerebro del sistema, integrando y coordinando todos los dispositivos. Estos controladores reciben información continua de múltiples sensores ambientales, como sensores de temperatura, humedad y luz, para monitorear las condiciones del invernadero en tiempo real (López & Velasteguí, 2021).

Figura 4

Producción de Invernadero de Semillas



Nota. Adaptado de *Trabajos de un Invernadero* [Fotografía], por Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2023, (<https://www.iniap.gob.ec/iniap-inaugura-invernadero-automatizado-de-produccion-de-semilla-basica-de-papa/>). CC BY 2.0

3.5 Que Entendemos por Automatización.

La automatización se refiere al uso de sistemas o elementos tecnológicos para realizar de forma independiente tareas requeridas por los humanos. Este concepto incluye el uso de máquinas, computadoras y otras tecnologías para controlar y gestionar procesos y operaciones en una variedad de campos, incluida la fabricación, la gestión y la agricultura. El contexto específico del invernadero implica la implementación de tecnologías avanzadas para controlar el ambiente interno y controlar procesos de riego de agua, control de temperatura, calefacción, luces, etc. Los sistemas automatizados en estas situaciones están diseñados para optimizar el crecimiento de las plantas, aumentar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la

energía y reducir la necesidad de intervención manual, se muestra el tablero eléctrico para invernadero en la Figura 5. Estos sistemas incluyen sensores que recopilan datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales y de la planta, controladores que procesan esta información y toman decisiones automáticas basadas en cambios preestablecidos y actuadores que realizan tareas asignadas por el gerente. Por lo tanto, la automatización puede monitorear y responder continuamente con precisión y rapidez a las necesidades del producto que serían difíciles de satisfacer únicamente con la intervención humana. La automatización también gestiona la recopilación de datos a gran escala, lo que permite un análisis detallado para la mejora continua de los procesos y la toma de decisiones basada en el conocimiento (Coyago Calle, 2023).

Figura 5

Invernaderos Automatizados e Inteligentes



Nota. Tomado de *Tableros Eléctrico para Invernadero* [Fotografía], por NOVAGRIC, 2022, (<https://www.novagric.com/es/invernaderos-automatizados-inteligentes>). CC BY 2.0

3.6 ¿Qué es un el PLC?

Un controlador lógico programable (PLC) es un tipo de computadora industrial diseñada para controlar la producción y las operaciones de plantas industriales. Estos dispositivos potentes y adaptables se utilizan ampliamente en ingeniería y automatización debido a su capacidad para controlar directamente entradas y salidas y controlar la energía mediante lógica, secuencia, temporización, conteo e instrucciones configuradas por el usuario. A diferencia de las computadoras personales, los PLC están diseñados para soportar entornos industriales hostiles, incluidos calor, vibraciones y polvo extremos, lo que los hace ideales para aplicaciones en campos como la fabricación, la ingeniería y la gestión. La arquitectura de un PLC consta de varios componentes principales, incluida la unidad de procesamiento principal (CPU), la memoria, el sistema de entrada/salida (E/S) y la fuente de alimentación. Una CPU

ejecuta programas operativos almacenados en la memoria, procesa datos de entrada y manipula la salida de acuerdo con la lógica del programa (Delgado Prieto & Fernández Sobrino, 2022).

Las entradas son señales de interruptores, transmisores o sensores, como lecturas de temperatura, y salidas de control, como motores, válvulas o luces. Los usuarios pueden programar PLC ver la Figura 6, utilizando un lenguaje de programación especializado, como Ladder, que simula circuitos eléctricos, o un lenguaje de alto nivel, como bloques de funciones o documentos estructurales. Una de las principales ventajas de un PLC es su flexibilidad y programabilidad. Esto permite a los ingenieros y técnicos cambiar o modificar procesos sin cambiar el cableado. Muchos PLC nuevos ofrecen capacidades de comunicación, como Ethernet, que pueden integrarse en una gama más amplia de sistemas de control industrial y transferir datos en tiempo real para monitoreo y análisis. Estas capacidades integradas facilitan la implementación de soluciones de automatización más complejas y eficientes, lo que convierte a los PLC en una herramienta esencial para modernizar las empresas y mejorar la eficiencia (Delgado Prieto & Fernández Sobrino, 2022).

Figura 6

PLC-Controlador Lógico Programable AS200



Nota. Tomado de *PLC Delta AS200* [Imagen], por Delta Electronics Distribuidor, 2021, (<https://deltaelectronicsdistribuidor.com.mx/plcs-delta/as200/>). CC BY 2.0

3.7 ¿Qué es el HMI?

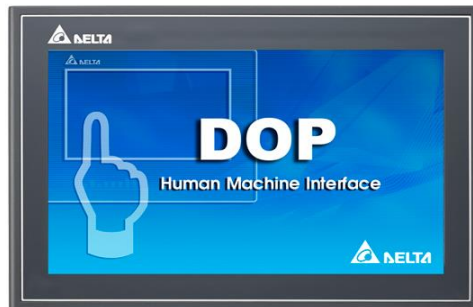
Una interfaz hombre-máquina (HMI) ver la Figura 7, es una plataforma tecnológica clave en entornos industriales que permite la comunicación directa entre humanos y sistemas de automatización o máquinas. Estas interfaces generalmente se presentan como paneles de control digitales o pantallas táctiles que muestran datos importantes del sistema en tiempo real, como la velocidad de producción, la temperatura y los niveles de presión, lo que permite a los usuarios monitorear y manipular procesos complejos de manera intuitiva. Los usuarios pueden utilizar la interfaz de usuario para ejecutar ciertos comandos, como arrancar o detener

máquinas, ajustar parámetros operativos y responder a mensajes de alarma. Además de la funcionalidad, las interfaces de usuario que alertan a los usuarios sobre posibles fallas o desviaciones del proceso son fundamentales para la gestión de alarmas y diagnóstico, lo cual es esencial para evitar accidentes y minimizar el tiempo de inactividad. Diseñados para soportar entornos industriales hostiles, estos conectores están equipados para resistir el polvo, la humedad y las vibraciones, lo que garantiza un funcionamiento continuo y confiable (Alvarado Ruiz & Peñuela Sanabria, 2022).

En la era digital actual, las interfaces de usuario han evolucionado para proporcionar funciones de interfaz avanzadas además de funciones de visualización y control. A menudo se integran con redes y sistemas industriales, como sistemas de control distribuido (DCS) y sistemas de control y adquisición de datos (SCADA), lo que permite una coordinación y monitoreo centralizados, facilitando la gestión total de las operaciones de la planta. Esta integración mejora la automatización, proporciona análisis en tiempo real y mejora la toma de decisiones estratégicas, lo que convierte a la interfaz en una herramienta invaluable para aumentar la eficiencia y la productividad en una variedad de aplicaciones industriales (Alvarado Ruiz & Peñuela Sanabria, 2022).

Figura 7

HMI de pantalla táctil - Serie DOP-100



Nota. Tomado de *HMI Delta DOP-100MX* [Imagen], por Delta Electronics, 2022, (<https://delta-electronics.com.br/es/produtos/ihm-touch-screen-multi-media-serie-dop-100mx/>). CC BY 2.0

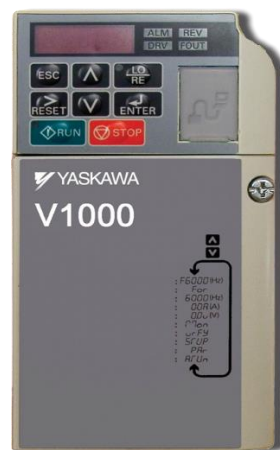
3.8 ¿Qué son los Convertidores de Frecuencia?

Un variador de frecuencia, también conocido como variador de frecuencia, es un dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad y el par de motores eléctricos en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales. El dispositivo funciona ajustando la

frecuencia y el voltaje suministrado al motor, que se puede ajustar con precisión a la velocidad de funcionamiento. Estos controles son importantes en el sentido de que la velocidad variable del motor puede optimizar el rendimiento, reducir el consumo de energía y extender la vida útil del equipo. El principio de funcionamiento de un convertidor de frecuencia se basa en la conversión de corriente alterna (CA) a corriente continua (CC) y nuevamente a corriente alterna utilizando una frecuencia ajustable. Esto se logra mediante un rectificador que convierte CA en CC, un bus de CC que mantiene la corriente y un inversor que convierte en CA a la frecuencia deseada. Como resultado, el motor recibe una corriente alterna cuya frecuencia se puede ajustar para controlar su velocidad de rotación. Hay muchas ventajas al utilizar un convertidor de frecuencia ver figura 8, en términos de eficiencia energética, los motores sólo pueden funcionar a la velocidad requerida para una tarea específica, lo que reduce el consumo de energía y los costos operativos. También mejora el control y la calidad de los productos finales en aplicaciones como líneas de montaje, sistemas de bombeo y fabricación. También ayuda a reducir el desgaste del motor al permitir un arranque y una parada suaves, lo que reduce la tensión en el motor y la maquinaria asociada (BUSTAMANTE, 2022)

Figura 8

Variador De Frecuencia Yaskawa V1000



Nota. Tomado de *Convertidor de Frecuencia* [Imagen], por Variadores Chile, 2022, (<https://www.variadoreschile.cl/productos/yaskawa-v1000/>). CC BY 2.0

3.9 Software ISPSOFT

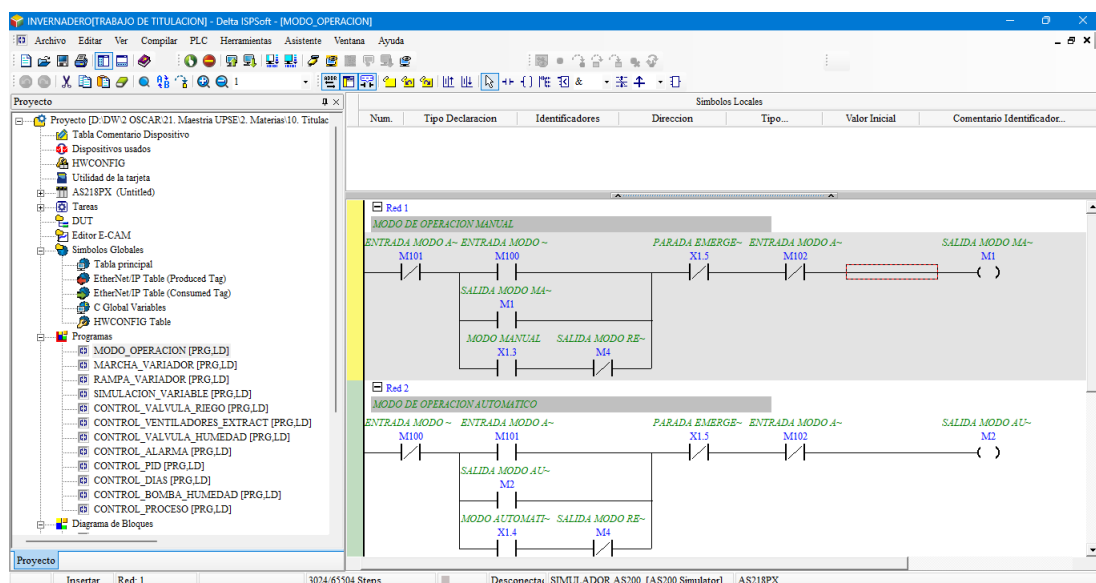
ISPSOFT ver Figura 9, es un software de programación avanzado diseñado para controladores lógicos programables (PLC) de Delta Electronics, uno de los líderes en automatización industrial. Este software forma parte de las herramientas proporcionadas por

Delta para la gestión de programas, configuración y mantenimiento de sistemas automatizados. ISPSOFT cuenta con una interfaz gráfica amigable y sencilla, que permite a los usuarios desarrollar proyectos complejos de manera eficiente y efectiva. La compatibilidad con múltiples lenguajes de programación, incluidos diagramas de escalera, bloques de funciones y texto estructurado según IEC 61131-3, brinda a los desarrolladores muchas opciones para diseñar soluciones personalizadas para todas sus necesidades (Carrera Hidalgo, 2021).

El software incluye funciones potentes como simulación y depuración en tiempo real, lo que permite a los ingenieros probar y optimizar aplicaciones antes de enviarlas al campo. Esto no sólo ahorra tiempo y recursos, sino que también mejora la seguridad y la eficiencia de los sistemas de control automatizados. ISPSOFT también está diseñado para integrarse fácilmente con otros dispositivos y sistemas Delta, como pantallas HMI y variadores de frecuencia, creando una solución de automatización completa e integrada. Uno de los puntos fuertes de ISPSOFT es su capacidad para gestionar grandes proyectos. El software permite a los usuarios organizar programas en múltiples programas y bibliotecas reutilizables, para administrar mejor los programas del sistema y mejorar la coherencia entre dispositivos. Las herramientas dedicadas de configuración de dispositivos y gestión de parámetros permiten a los usuarios adaptar sus programas a los aspectos correctos de sus aplicaciones industriales. En resumen, ISPSOFT no es sólo una herramienta de programación, sino también una plataforma integral que soporta todo el ciclo de vida de los sistemas de automatización, desde el diseño hasta el mantenimiento, haciéndolos más accesibles y eficientes (Carrera Hidalgo, 2021).

Figura 9

Software ISPSOFT



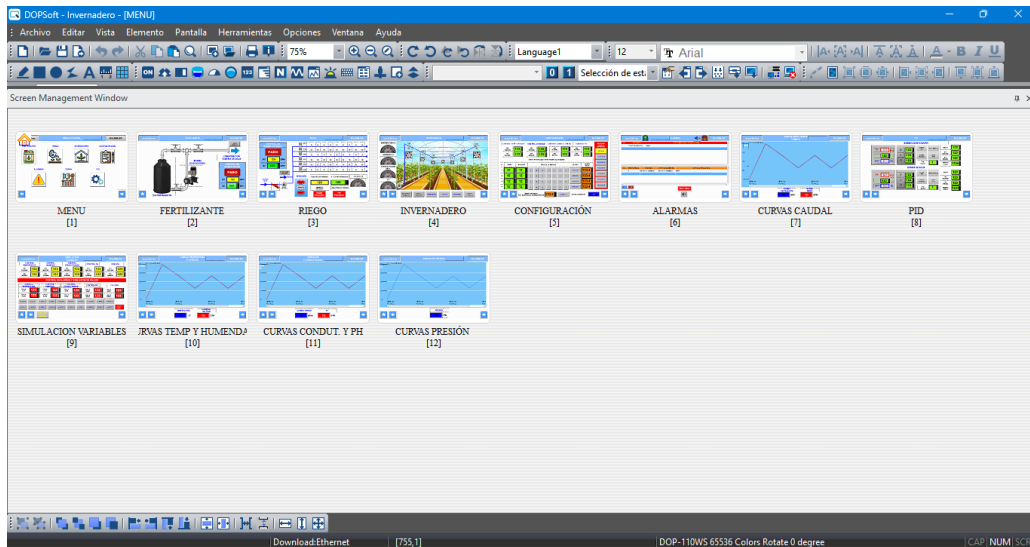
3.10 Software DOPSOFT

DOPSOFT ver Figura 10, es un paquete de diseño y software desarrollado por Delta Electronics diseñado para la creación y control de interfaces hombre-máquina (HMI). El software permite a los usuarios diseñar, modelar y controlar pantallas HMI que interactúan con una variedad de maquinaria y equipos industriales. DOPSOFT se destaca por su interfaz intuitiva y su potente conjunto de herramientas para crear GUI personalizadas adecuadas para monitorear y administrar operaciones a lo largo del tiempo. Compatible con una amplia gama de dispositivos HMI de Delta, este software proporciona una plataforma integrada que incluye todas las funciones necesarias para desarrollar soluciones HMI efectivas y eficientes. DOPSOFT permite a los usuarios diseñar presentaciones interactivas que se pueden vincular directamente a los datos del sistema utilizando una variedad de elementos gráficos como botones, íconos, gráficos y texto que muestran una muestra clara y justa de autoridad (Avellaneda Triana et al., 2022).

La función de arrastrar y soltar acelera el proceso de desarrollo al facilitar el diseño de interfaces complejas sin conocimientos de programación. DOPSOFT también admite varios idiomas, lo cual es importante para aplicaciones internacionales donde la adaptabilidad y la localización son importantes. Una de las características más importantes de DOPSOFT es su función de simulación. Antes de implementar pantallas HMI en un entorno real, los usuarios pueden probar y ajustar sus diseños en un entorno de simulación para asegurarse de que todo funcione. Esto no sólo reduce el tiempo de entrega, sino que también reduce los errores y aumenta la confiabilidad del sistema. El software también incluye funciones de diagnóstico y mantenimiento, que permiten a los operadores identificar y resolver rápidamente problemas, esenciales para el mantenimiento de las operaciones. DOPSOFT también facilita la conexión e integración con otras herramientas y sistemas de automatización utilizando protocolos de comunicación estándar. Esto garantiza una comunicación eficiente y una transferencia de datos entre HMI y controladores lógicos programables (PLC), convertidores de frecuencia y otros equipos de automatización (Avellaneda Triana et al., 2022).

Figura 10

DOPSOFT



3.11 Sensor Temperatura para Invernaderos

Los termopares y sensores PT100 ver Figura 11, son herramientas importantes para la medición de temperatura en entornos industriales y científicos, incluidos invernaderos, donde una gestión ambiental adecuada es importante para un buen crecimiento de las plantas. Los termopares funcionan según el efecto Seebeck, que produce un voltaje cuando dos cables de metales diferentes se conectan en un extremo y se exponen a diferentes temperaturas. Esta diferencia de voltaje, similar a la temperatura, se puede medir desde la temperatura más baja hasta la más alta, lo que lo hace adecuado para ambientes extremos. El sensor PT100, por otro lado, utiliza un elemento transistor cuya resistencia eléctrica cambia con los cambios de temperatura. Con una resistencia inicial de 100Ω a 0 grados Celsius, el PT100 es muy preciso y confiable en el rango de baja temperatura, ideal para aplicaciones que requieren alta precisión, como la gestión de laboratorios e invernaderos. Ambos tipos de sensores ofrecen distintas ventajas. Los termopares son robustos y adecuados para una amplia gama de mediciones; el PT100 proporciona una precisión excelente en rangos estrechos. Su uso en invernaderos promoverá un buen manejo interior y asegurará que se mantengan condiciones de temperatura en áreas que favorezcan la salud y productividad de las plantas. Esto es importante para aumentar la eficiencia de los recursos en la agricultura protegida y mejorar la calidad del producto final, de modo que los agricultores puedan responder con rapidez y precisión a las diferentes necesidades de su entorno de cultivo (Ordoñez et al., 2023).

Figura 11

Sensores PT100



Nota. Tomado de *Sensor de PT100* [Imagen], por CODISIN, 2022, (<https://codisin.com/product-detail/termopares-pt100/>). CC BY 2.0

3.12 Sensor de Humedad para Invernadero

Los sensores de humedad de invernadero ver Figura 12, son herramientas importantes que desempeñan un papel importante en el control del microclima necesario para el crecimiento óptimo de las plantas. Estos sensores miden la cantidad de vapor de agua en el aire y, dependiendo de sus características, pueden proporcionar datos sobre la humedad relativa o el punto de rocío en un ambiente de invernadero. La humedad relativa es una medida importante porque no solo afecta directamente los procesos de motilidad y fotosíntesis de las plantas, sino que también afecta la prevención de enfermedades que pueden desarrollarse en condiciones de alta humedad. Los datos recogidos por estos sensores son utilizados por sistemas climáticos automáticos para ajustar funciones como el riego, la ventilación y, en algunos casos, el riego o irrigación para mantener la humedad dentro de un rango perfecto para cada tipo de producto (Salazar Chambi, 2023).

La precisión y confiabilidad de los sensores de humedad son esenciales para el funcionamiento eficiente de los invernaderos. Esto se debe a que un manejo inadecuado de la humedad puede causar problemas graves, incluido el crecimiento de moho y otros patógenos, así como estrés hídrico en las plantas. Afecta el crecimiento y la productividad. Los sensores de humedad actuales son compactos, resistentes a la intemperie y brindan lecturas en tiempo real que se conectan a sistemas computarizados de gestión de invernaderos para facilitar el monitoreo continuo y los ajustes automáticos según sea necesario. La integración de estos sensores con otro tipo de sensores, como los de temperatura y luz, permitirá una comprensión

general y un mejor control del ambiente interior. Estas actividades de seguimiento y control no sólo mejoran la eficiencia de recursos como el agua y la energía, sino que también optimizan las prácticas agrícolas para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos en el medio ambiente (Salazar Chambi, 2023).

Figura 12

Sensor de Humedad



Nota. Tomado de *Sensor de Humedad Relativa* [Imagen], por MAH ELECTRONICA, 2021, (<https://www.maherelectronica.com/sensores-agricolas-clima/sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa/>). CC BY 2.0

3.13 Bomba de Fertilizante ITC

Las bombas de fertilizantes ITC ver Figura 13, son una parte integral de los sistemas de riego, ampliamente utilizadas en invernaderos y otras aplicaciones agrícolas donde la dosificación precisa y eficiente de nutrientes es esencial. Estas bombas están diseñadas para inyectar soluciones fertilizantes en su sistema de riego de manera controlada y precisa para que las plantas obtengan la cantidad de nutrientes que necesitan para un crecimiento y desarrollo óptimos. ITC, el fabricante de este equipo, ofrece bombas de fertilizantes que se caracterizan por su fiabilidad y precisión. Existen muchos tipos de estas bombas, incluidas bombas de diafragma, peristálticas o de pistón, adecuadas para cada aplicación y medición. Lo especial de las bombas de fertilizantes ITC es que están integradas con sistemas de control automático, que pueden ajustarse en tiempo real según los requerimientos del cultivo y las condiciones del suelo, lo que mejorará el aprovechamiento de los fertilizantes. El uso de bombas de fertilizantes ITC para riego no solo optimiza el crecimiento de las plantas al garantizar una nutrición adecuada y la continuidad de la nutrición, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la escorrentía y la contaminación del suelo y del agua subterránea. La

precisión de estas bombas permite a los agricultores reducir el consumo de fertilizantes, lo que supone un ahorro a largo plazo (Martínez Gandía, 2024).

Figura 13

Bomba Dosificadora



Nota. Tomado de *Bomba dosificadora* [Imagen], por ITC, 2023, (<https://www.itc.es/es/products/dostec-40/>). CC BY 2.0

3.14 Ventiladores y Extractores para Invernaderos

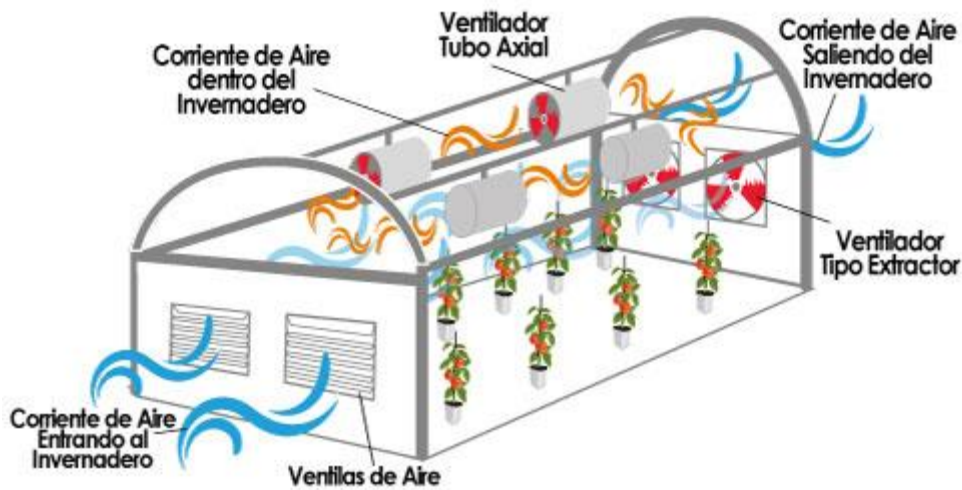
Los ventiladores y extractores son una parte importante del diseño y funcionamiento del invernadero porque desempeñan un papel importante en el control del clima interior, lo cual es importante para el buen crecimiento de las plantas. Estas unidades están diseñadas para garantizar una ventilación adecuada, eliminar el exceso de calor y humedad y proporcionar el intercambio de aire necesario para mantener un ambiente óptimo. Los ventiladores se utilizan para hacer circular el aire en el invernadero, lo que ayuda a mantener una temperatura uniforme y reduce el riesgo de enfermedades de las plantas debido a las corrientes de aire. Los extractores, que tienen aire exterior cálido y húmedo, introducen aire fresco del exterior y se adaptan a las necesidades específicas de las plantas en crecimiento. Esta circulación y renovación del aire es importante no sólo para controlar la temperatura y la humedad, sino también para garantizar una disponibilidad adecuada de dióxido de carbono, esencial para la fotosíntesis (Guzmán Vaca, 2023).

La implementación exitosa de estos sistemas contribuye a la optimización de la fotosíntesis, mejorando la eficiencia energética del invernadero y aumentando la productividad de las plantas. Además, en invernaderos para cultivos sensibles como el melón, es importante gestionar adecuadamente el medio ambiente para asegurar la calidad y consistencia del producto final. sistemas modernos de aire acondicionado y ventilación se pueden controlar

automáticamente y, a menudo, están equipados con sistemas de control climático computarizados que ajustan el funcionamiento de ventiladores y extractores ver Figura 14, en función de las lecturas de tiempo del sensor de temperatura, humedad y CO₂. Esta automatización permite que el control climático de los invernaderos sea más preciso y con menos mano de obra, reduciendo los costes operativos y mejorando la salud de la instalación (Guzmán Vaca, 2023).

Figura 14

Ventiladores y Extractores del Invernadero



Nota. Tomado de *Ventiladores y Extractores* [Imagen], por Hydroenv, 2023,

(https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=429). CC BY 2.0

4 METODOLOGÍA

El desarrollo de un sistema de automatización para un invernadero destinado al cultivo de melones en el Cantón Lomas de Sargentillo fue un proyecto que demandó precisión y control para asegurar su éxito. La investigación cualitativa, especialmente a través del uso de simulaciones y la observación de imágenes de comprobación del programa del PLC y HMI, se presentó como la metodología ideal para enfrentar estos desafíos. Este enfoque no solo facilitó la evaluación de la funcionalidad y efectividad del sistema de automatización propuesto, sino que también permitió la identificación y ajuste de aspectos clave del sistema, como la interacción de los componentes y el comportamiento bajo diferentes condiciones.

4.1 Tipo de Investigación

Se llevó a cabo una investigación aplicada con un enfoque cualitativo. La naturaleza aplicada del estudio permitió abordar problemas específicos del cultivo y la automatización, ofreciendo soluciones tecnológicas basadas en evidencia empírica.

4.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación fue de tipo no experimental y transversal, permitiendo la observación y análisis de variables sin manipularlas directamente. Se utilizó un diseño descriptivo y correlacional para evaluar la relación entre las variables de automatización y las condiciones ambientales del invernadero.

4.3 Colectivo y Muestra

El colectivo estuvo constituido por invernaderos ubicados en la Provincias de la Costa del Ecuador. La muestra se seleccionó de manera intencional, eligiendo tres invernaderos representativos de diferentes tamaños y niveles de tecnología para asegurar la diversidad y relevancia de los datos recopilados.

4.4 Procedimiento del Desarrollo del Software

El desarrollo del software se llevó a cabo en varias fases:

4.4.1 *Análisis de Requerimientos:* Se identificaron las necesidades específicas del sistema de automatización, incluyendo control de temperatura, humedad, riego y monitoreo del estado del cultivo.

4.4.2. *Diseño del Sistema:* Se diseñó una arquitectura de software que integraba sensores, actuadores, PLC y HMI, utilizando herramientas de modelado del Software de la marca DELTA para representar la estructura y comportamiento del sistema.

4.4.3 Implementación: Se desarrolló el software utilizando el entorno de programación específico para PLC y HMI de la marca Delta. Se implementaron algoritmos de control para la gestión automática de las variables ambientales.

4.3.4. Pruebas y Validación: Se realizaron pruebas iniciales en entornos simulados para ajustar y optimizar el software antes de su implementación en un invernadero. Las pruebas incluyeron la verificación de la funcionalidad y la robustez del sistema bajo diferentes escenarios operativos.

4.5 Análisis de Datos

El análisis de datos se llevó a cabo en una sola etapa:

4.5.1. Datos Cualitativos: A través de entrevistas y observaciones directas, se obtuvieron tabla de valores y feedback de los agricultores sobre el funcionamiento y efectividad del sistema. Las imágenes y registros visuales de las simulaciones también se analizaron para identificar posibles mejoras y ajustes.

4.6 Validación y Confiabilidad de Resultados

Los datos cualitativos recogidos proporcionaron una base sólida para el seguimiento del proceso del invernadero y la corrección de cualquier anomalía en el control de las variables de proceso. El análisis detallado de estas observaciones permitió identificar áreas de mejora continua. La triangulación de método cualitativo aumentó la confiabilidad de las conclusiones obtenidas, asegurando que las decisiones tomadas estuvieran bien fundamentadas y fueran efectivas para optimizar el rendimiento del invernadero.

4.7 Fundamentos de la Investigación Cualitativa

La investigación cualitativa se caracterizó por su capacidad de generar datos descriptivos y resultados que pudieron ser analizados en profundidad mediante métodos interpretativos. Esta metodología fue crucial en contextos donde se requería explorar y comprender fenómenos complejos, capturar experiencias detalladas y obtener insights profundos sobre procesos y comportamientos. En el caso del desarrollo de sistemas de automatización de invernaderos, este tipo de investigación permitió evaluar de manera detallada la funcionalidad y efectividad de las intervenciones tecnológicas a través de la observación directa y el análisis de imágenes de simulación del PLC y HMI. La investigación cualitativa proporcionó una comprensión rica y contextual del impacto de estas tecnologías en el manejo del cultivo y la eficiencia de los recursos, permitiendo ajustes precisos y optimizaciones basadas en evidencia visual y descriptiva.

4.8 Importancia de las Simulaciones

Las simulaciones fueron una herramienta invaluable en el proceso de diseño y optimización de sistemas de automatización en invernaderos. A través de software avanzado, fue posible crear modelos virtuales del invernadero que imitaban las condiciones reales de operación y permitían prever cómo reaccionaría el sistema bajo diferentes escenarios. Estas simulaciones permitieron identificar posibles fallos o deficiencias en el diseño antes de su implementación física, ahorrando recursos y tiempo. Además, facilitaron el ajuste de variables como la distribución del agua de riego y la regulación de la temperatura y la humedad, asegurando que se utilizaran de manera eficiente y según las necesidades específicas del cultivo de melones.

4.9 Recolectando y Analizando Datos Cualitativos

La recolección de datos cualitativos se basó en observaciones detalladas y testimonios proporcionados por los agricultores del sector de Lomas de Sargentillo. Utilizando imágenes y registros visuales obtenidos a través de simulaciones del sistema de automatización, se obtuvo una retroalimentación real sobre las condiciones a las que se sometió el invernadero. Los tipos de datos recogidos incluyeron observaciones de cambios en el ambiente del invernadero, comportamientos del sistema bajo diferentes escenarios y descripciones detalladas de la funcionalidad del sistema automatizado de las siguientes variables principales:

4.9.1 *Temperatura:* Crucial para gestionar el microclima dentro del invernadero y que afectó directamente al crecimiento de los melones.

4.9.2. *Humedad:* Tanto la humedad del aire como la del suelo impactaron en la salud de las plantas y en la eficacia del uso del agua.

4.9.3 *Consumo de Agua y Energía:* Datos sobre el uso de estos recursos ayudaron a evaluar la sostenibilidad del sistema y a optimizar su consumo, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental.

4.10 Validación y Confiabilidad de Resultados

Los datos cualitativos recogidos a través de la HMI proporcionaron una base sólida para hacer seguimiento al proceso del invernadero y corregir cualquier anomalía en el control de la temperatura, humedad, conductividad, pH, presión o riego. El análisis detallado de estas observaciones permitió identificar áreas de mejora continua. La metodología cualitativa, con su enfoque en la profundidad y el contexto, ayudó a capturar una visión más completa del funcionamiento del sistema, minimizando sesgos y aumentando la confiabilidad de las conclusiones obtenidas.

5 DESARROLLO

El trabajo de titulación se centró en diseñar un sistema automatizado para controlar las condiciones ambientales y de riego en un invernadero de melones en el Cantón Lomas de Sargentillo, concluyendo con una simulación del programa del PLC y HMI de la marca DELTA. Se utilizaron herramientas avanzadas de simulación para optimizar los procesos de riego y control ambiental, basándose en datos históricos de cultivo. La programación del PLC y HMI se realizó con ISPSOFT y DOPSoft de DELTA.

5.1 Medidas del Invernadero para Cultivo de Melones

El diseño se basó en un invernadero mediano destinado al cultivo de melones, con dimensiones específicas de 30 metros de longitud, 11 metros de ancho, 4 metros de altura a los lados y 5 metros en la cumbre, abarcando un área total de 310 metros cuadrados. Internamente, se distribuyeron pasillos principales de 1 metro de ancho a lo largo de la longitud del invernadero, dejando un pasillo central y dos laterales, y camas de cultivo de 1 metro de ancho con espacios entre ellas de 0.5 metros, permitiendo un total de 6 camas. La estructura del invernadero se compuso de acero galvanizado y cubierta de policarbonato o plástico de alta resistencia con protección UV. El sistema de control estaba compuesto por un ventilador de extracción y ventanas laterales, junto con un sistema de riego por goteo automatizado. Se incluyeron seis ventiladores destinados al control de la temperatura y un sistema de humidificación, que constaba de seis electroválvulas y una bomba de agua, diseñados para mantener la humedad relativa en un rango del 50% al 70%. En cuanto a la iluminación, se optimizó el uso de la luz natural a través de la orientación norte-sur del invernadero.

5.2 Información del Cultivo del Melón por parte de los agricultores del sector.

5.2.1 *Requerimiento de Agua*

El cultivo de melones desde la siembra hasta la cosecha en un invernadero automatizado requirió un total de aproximadamente 150 a 240 litros de agua por planta, distribuidos en varias etapas del ciclo de crecimiento, que duró entre 80 y 100 días. Durante la germinación y la etapa de plántula (0-20 días), las plantas necesitaron entre 10 y 20 litros de agua, con riegos diarios de 0.5-1 litro por planta. En la etapa de crecimiento vegetativo (21-40 días), el requerimiento aumentó a 20-40 litros, con riegos cada 2-3 días de 1-2 litros por planta. Durante la floración y fructificación (41-70 días), se necesitaron 60-90 litros, con riegos cada 2 días de 2-3 litros por planta. Finalmente, en la maduración del fruto (71-100 días), se requirieron otros 60-90 litros, con riegos cada 3 días de 2-3 litros por planta. El sistema de riego por goteo en el invernadero se programó según el tipo específico de melón que se cultivaba, lo cual determinaba la cantidad

de riegos necesarios, la duración de estos, así como su frecuencia diaria y semanal. El sistema permitió ajustar automáticamente la cantidad y la frecuencia del riego mediante la medición de la conductividad del suelo, adaptándose a las necesidades hídricas de las plantas en cada etapa de su desarrollo, optimizando así el uso del agua y garantizando un crecimiento saludable de los melones. En la tabla 1 se mostró un resumen del requerimiento de agua, esta información fue levantada en conjunto con los agricultores del Cantón Lomas de Sargentillo.

Tabla 1

Requerimiento de Agua

| Etapa del Cultivo | Días | Frecuencia de Riego | Cantidad de Agua por Planta por Día |
|----------------------------|-------------|----------------------------|--|
| Germinación y Plántula | 0-20 | Diaria | 0.5-1 litro |
| Crecimiento Vegetativo | 21-40 | Cada 2-3 días | 1-2 litros |
| Floración y Fructificación | 41-70 | Cada 2 días | 2-3 litros |
| Maduración del Fruto | 71-100 | Cada 3 días | 2-3 litros |

5.2.2 Control de Temperatura

El control de la temperatura en el invernadero aseguró un rango diurno entre 24°C y 30°C, y un rango nocturno entre 18°C y 22°C. Para esto, se emplearon sensores de temperatura que monitorearon continuamente las condiciones térmicas y transmitieron los datos a un controlador lógico programable (PLC). Este sistema activó o desactivó un extractor y seis ventiladores para ajustar la temperatura según lo indicado en la tabla 2, que mostró un resumen de los rangos de control de temperatura. Esta información fue recopilada en colaboración con los agricultores del Cantón Lomas de Sargentillo.

Tabla 2

Rango de Control de Temperatura

| Etapa del Cultivo | Días | Rango Óptimo de Temperatura Diurna (°C) | Rango Óptimo de Temperatura Nocturna (°C) |
|----------------------------|-------------|--|--|
| Germinación y Plántula | 0-20 | 24 - 28 | 18 - 22 |
| Crecimiento Vegetativo | 21-40 | 24 - 30 | 18 - 22 |
| Floración y Fructificación | 41-70 | 24 - 30 | 18 - 22 |
| Maduración del Fruto | 71-100 | 24 - 28 | 18 - 22 |

5.2.3 Control de Humedad

El control de la humedad del aire en el invernadero requería un sistema integrado compuesto por sensores de humedad, un controlador lógico programable (PLC), ventiladores y un extractor. Los sensores, distribuidos por el invernadero, monitoreaban constantemente la humedad relativa y enviaban estos datos al PLC. Este regulaba los ventiladores y activaba las electroválvulas cuando la humedad descendía por debajo del 50%, y las desactivaba cuando superaba el 80%. Esta configuración permitía mantener una distribución uniforme de la humedad en el ambiente y evitar áreas de alta humedad, de acuerdo con la tabla 3 que mostraba un resumen de los rangos de control de humedad. Esta información se recopiló en colaboración con los agricultores del Cantón Lomas de Sargentillo.

Tabla 3

Rangos de Control de Humedad

| Etapa del Cultivo | Días | Rango Óptimo de Humedad del Aire (%) |
|----------------------------|-------------|---|
| Germinación y Plántula | 0-20 | 70% - 80% |
| Crecimiento Vegetativo | 21-40 | 60% - 70% |
| Floración y Fructificación | 41-70 | 50% - 70% |
| Maduración del Fruto | 71-100 | 50% - 60% |

5.2.4 Control de Conductividad Eléctrica

Se midió la conductividad eléctrica (CE) del suelo en un invernadero automatizado dedicado al cultivo de melones para garantizar que las plantas recibieran la cantidad adecuada de agua y nutrientes. Esta práctica permitió ajustar con precisión los aportes hídricos y nutritivos, optimizando el crecimiento y la salud de los melones. Los sensores de CE fueron colocados en varios puntos del invernadero para obtener lecturas representativas del suelo, utilizando sensores específicos para uso agrícola. Estos sensores se integraron con un PLC (Controlador Lógico Programable), que recibió los datos y ajustó la fertilización y el riego en consecuencia, mientras que una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) proporcionó visualización en tiempo real de los niveles de CE y permitió ajustes manuales, generando alertas cuando los niveles estaban fuera de los rangos óptimos. Los rangos óptimos de CE variaban según la etapa de crecimiento: 1.0-1.5 dS/m para plántulas y crecimiento temprano, 1.5-2.5 dS/m para crecimiento vegetativo, 2.0-3.0 dS/m para floración y fructificación, y 2.0-2.5 dS/m para maduración del fruto, según lo mostrado en la tabla 4 que presentó un resumen de los rangos

de control de conductividad eléctrica. Esta información se recopiló en colaboración con los agricultores del Cantón Lomas de Sargentillo.

Tabla 4

Rangos de Control de Conductividad Eléctrica

| Etapa del Cultivo | Días | Rango Óptimo de CE (dS/m) |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|
| Germinación y Plántula | 0-20 | 1.0 - 1.5 |
| Crecimiento Vegetativo | 21-40 | 1.5 - 2.5 |
| Floración y Fructificación | 41-70 | 2.0 - 3.0 |
| Maduración del Fruto | 71-100 | 2.0 - 2.5 |

5.2.5 Requerimiento de Fertilizante

El consumo diario de fertilizante se gestionaba mediante un sistema de fertiirrigación con una bomba dosificadora que inyectaba fertilizante a la tubería principal de agua, para suministrar nutrientes directamente a las raíces de las plantas. El consumo variaba según la etapa de crecimiento, con un promedio de 1.5-2 gramos por planta al día. Para 1000 plantas, esto equivalía a 1.5-2 kg de fertilizante diario. El sistema estaba controlado por un PLC que ajustaba la dosificación basada en lecturas de sensores de conductividad eléctrica y pH, con supervisión en tiempo real a través de una HMI. En la tabla 5 se mostró un resumen del requerimiento de fertilizante, esta información se recopiló en colaboración con los agricultores del Cantón Lomas de Sargentillo.

Tabla 5

Requerimiento de Fertilizante

| Etapa del Cultivo | Días | Concentración de Fertilizante (NPK) | Frecuencia | Cantidad de Fertilizante por Planta |
|----------------------------|-------------|---|-------------------|--|
| Germinación y Plántula | 0-20 | Baja (20-20-20 diluido a 1/4 de la dosis) | Cada 3-4 días | 0.5-1 gramo por planta por día |
| Crecimiento Vegetativo | 21-40 | Moderada (20-20-20 diluido a 1/2 de la dosis) | Cada 2-3 días | 1-2 gramos por planta por día |
| Floración y Fructificación | 41-70 | Alta (10-30-20 a dosis completa) | Cada 2 días | 2-3 gramos por planta por día |

| | | | | |
|----------------------|--------|---|-------------|-------------------------------|
| Maduración del Fruto | 71-100 | Moderada (10-30-20 diluido a 1/2 de la dosis) | Cada 3 días | 2-3 gramos por planta por día |
|----------------------|--------|---|-------------|-------------------------------|

5.2.6 *Requerimientos para Medir el pH del Suelo*

Se midió el pH del suelo en un invernadero de melones para asegurar la disponibilidad de nutrientes y un ambiente óptimo para el crecimiento de las raíces. Para ello, se instalaron sensores de pH específicos para suelos en varios puntos del invernadero para obtener lecturas representativas. Estos sensores se integraron con un PLC, que recibió los datos y ajustó la aplicación de enmiendas o nutrientes en consecuencia. Una HMI proporcionó visualización en tiempo real de los niveles de pH y permitió ajustes manuales si fue necesario, generando alarmas cuando el pH estaba fuera del rango óptimo de 6.0 a 7. Los sensores de pH proporcionaron lecturas continuas o a intervalos regulares, y se realizaron comprobaciones periódicas manuales con medidores portátiles para asegurar la precisión y calibración de los sensores automáticos. La calibración y el mantenimiento regular de los sensores aseguraron su correcto funcionamiento. Medir el pH del suelo optimizó el uso de nutrientes, previno deficiencias y toxicidades, mejoró el crecimiento y rendimiento de las plantas, y maximizó la eficiencia de los fertilizantes aplicados. Implementar este sistema en un invernadero automatizado de melones en Lomas de Sargentillo garantizó un entorno de crecimiento óptimo, mejorando la calidad y el rendimiento del cultivo. En la tabla 6 se mostró un resumen del requerimiento de pH, esta información se recopiló en colaboración con los agricultores del Cantón Lomas de Sargentillo.

Tabla 6

Requerimiento de pH

| Etapa del Cultivo | Días | Rango Óptimo de pH |
|----------------------------|--------|--------------------|
| Germinación y Plántula | 0-20 | 6.0 - 6.5 |
| Crecimiento Vegetativo | 21-40 | 6.2 - 6.8 |
| Floración y Fructificación | 41-70 | 6.3 - 7.0 |
| Maduración del Fruto | 71-100 | 6.0 - 7.0 |

5.3 **Diseño del Sistema de Automatización en Simulación**

El sistema de control ambiental utilizó sensores de temperatura, humedad del aire y pH del suelo, junto con actuadores como ventiladores, extractores de aire y humidificadores para mantener condiciones óptimas. El riego por goteo, complementado con un sistema de fertirrigación que incluía tanques de nutrientes y una bomba dosificadora, aseguró una distribución eficiente del agua y los fertilizantes. Un PLC (Controlador Lógico Programable)

y una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) fueron utilizados, y el invernadero contó con pantallas térmicas para reducir la entrada de calor en periodos de alta radiación solar.

En la tabla 7 se incluyó un listado de componentes y sus costos estimados. Esta tabla servirá como referencia en una fase posterior para la implementación de la automatización de un invernadero automático. No se consideraron los costos de mano de obra, materiales de interconexión para el tendido de cables y tuberías de riego, ni los costos de infraestructura mecánica.

Tabla 7

Tabla de Componentes y Costos del Invernadero

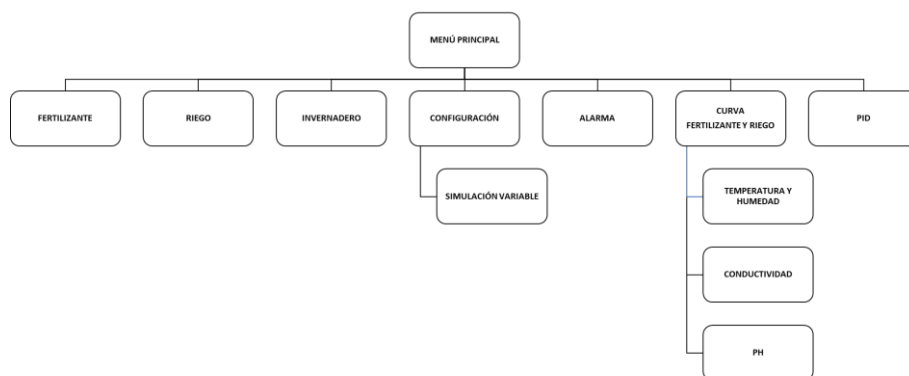
| # | Cant. | Descripción | Precio Unitario | Precio Total |
|----|-------|--|-----------------|--------------|
| 1 | 1 | TABLERO ELÉCTRICO CON ACCESORIOS ELÉCTRICOS, BORNERAS, RELÉ DE CONTROL, CANALETAS, SELECTORES, BREAKER DE CONTROL Y FUERZA | \$ 1,500.00 | \$ 1,500.00 |
| 2 | 1 | PLC DELTA MODELO AS200 16 ENTRADAS DIGITALES, 16 SALIDAS DIGITALES, 8 ENTRADAS ANALÓGICAS Y 4 SALIDAS ANALÓGICA | \$ 1,400.00 | \$ 1,400.00 |
| 3 | 1 | HMI DELTA DE 10 PULGADA | \$ 1100.00 | \$ 1100.00 |
| 4 | 1 | BOMBA DE AGUA PARA RIEGO TRIFÁSICA DE 5 HP 220VAC | \$ 1,450.00 | \$ 1,450.00 |
| 5 | 6 | VÁLVULAS SOLENOIDE 1 PULGADA PARA SISTEMA DE RIEGO | \$ 300.00 | \$ 1,800.00 |
| 6 | 6 | VÁLVULAS SOLENOIDE 1/4 PULGADA PARA VENTILADORES | \$ 85.00 | \$ 510.00 |
| 7 | 6 | VENTILADOR | \$ 200.00 | \$ 1,200.00 |
| 8 | 1 | EXTRACTOR | \$ 350.00 | \$ 350.00 |
| 9 | 1 | BOMBA MONOFÁSICA DE 2 HP A 220V PARA CONTROL DE HUMEDAD | \$ 600.00 | \$ 600.00 |
| 10 | 1 | BOMBA DOSIFICADORA DE 2 HP TRIFÁSICA A 220V PARA DOSIFICAR FERTILIZANTE | \$ 601.00 | \$ 601.00 |
| 11 | 1 | TANQUE DE FERTILIZANTE | \$ 150.00 | \$ 150.00 |
| 12 | 1 | VARIADOR DE FRECUENCIA 5 HP | \$ 1,500.00 | \$ 1,500.00 |
| 13 | 1 | VARIADOR DE FRECUENCIA 2 HP | \$ 600.00 | \$ 600.00 |
| 14 | 3 | SENSORES DE TEMPERATURA | \$ 200.00 | \$ 600.00 |
| 15 | 1 | SENSORES DE HUMEDAD | \$ 150.00 | \$ 150.00 |
| 16 | 1 | TRANSMISOR DE PRESIÓN | \$ 250.00 | \$ 250.00 |
| 17 | 1 | SENSOR DE PH | \$ 350.00 | \$ 350.00 |
| 18 | 1 | SENSOR DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA | \$ 250.00 | \$ 250.00 |
| 19 | 1 | VARIADOR DE FRECUENCIA DE 5 HP 220 VAC | \$ 1,500.00 | \$ 1,500.00 |
| 20 | 1 | VARIADOR DE FRECUENCIA DE 2 HP 220 VAC | \$ 600.00 | \$ 600.00 |
| | | | TOTAL | \$ 16,461.00 |

5.4 Desarrollo del Software en el HMI

Se utilizó el programa DOPSoft de DELTA, y se creó un nuevo proyecto desde cero. El modelo de la HMI utilizado fue el DOP-110WS. Se diseñaron 12 pantallas estructuradas para funcionar y operar de manera óptima, como se mostró en la Figura 15, para el monitoreo de condiciones ambientales, control de riego y gestión de alarmas. Se utilizaron botones, indicadores gráficos y campos de entrada para estas funciones.

Figura 15

Estructuras Funcional de las Pantallas del HMI



5.4.1 Diseño y Elaboración de Pantallas de Menú Principal

La pantalla de menú principal del HMI, que se mostró en la Figura 16, ofrecía un punto central de control y acceso a los subprocessos. Esto permitió a los operadores navegar fácilmente a las secciones de fertilizante, riego, invernadero, configuración, alarmas, curvas y PID.

Figura 16

Pantalla de Menú de Principal

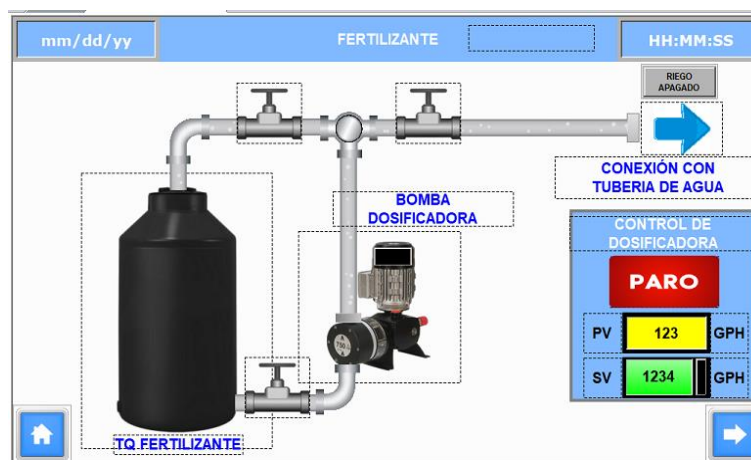


5.4.2 Diseño y Elaboración de Pantallas de Fertilizante

La segunda pantalla del HMI, dedicada al control de fertilizante que se mostró en la Figura 17, era vital para gestionar el encendido y apagado de la bomba y regular la cantidad de fertilizante en la línea principal de agua para el riego. Esta pantalla permitía a los operadores ajustar con precisión la dosificación de fertilizante, garantizando que las plantas recibieran los nutrientes adecuados. Al controlar la bomba, se aseguraba un flujo constante y eficiente de fertilizante, optimizando el crecimiento y la salud de los cultivos.

Figura 17

Pantalla de Fertilizante

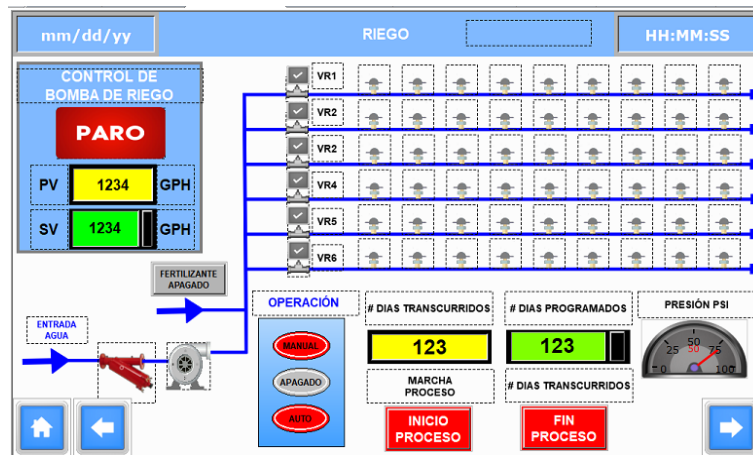


5.4.3 Diseño y Elaboración de Pantallas de Riego

La tercera pantalla del HMI, dedicada al control del riego que se mostró en la Figura 18, servía para la gestión precisa del sistema de riego en el invernadero. En esta pantalla, los operadores podían encender y apagar la bomba de riego de agua, controlando seis electroválvulas que distribuían el agua a diferentes zonas del invernadero. Esta capacidad de control permitía una irrigación segmentada y optimizada, asegurando que cada área recibiera la cantidad de agua necesaria. La pantalla permitía alternar entre los modos manual y automático, brindando flexibilidad para ajustes inmediatos o dejando que el sistema operara según los parámetros preestablecidos. Los operadores también podían iniciar y finalizar el proceso de riego, y registrar los días transcurridos desde el inicio del ciclo de riego. Esta funcionalidad era esencial para mantener un cronograma de riego preciso y eficiente, garantizando que los cultivos recibieran agua de manera uniforme y en el momento adecuado.

Figura 18

Pantalla de Riego

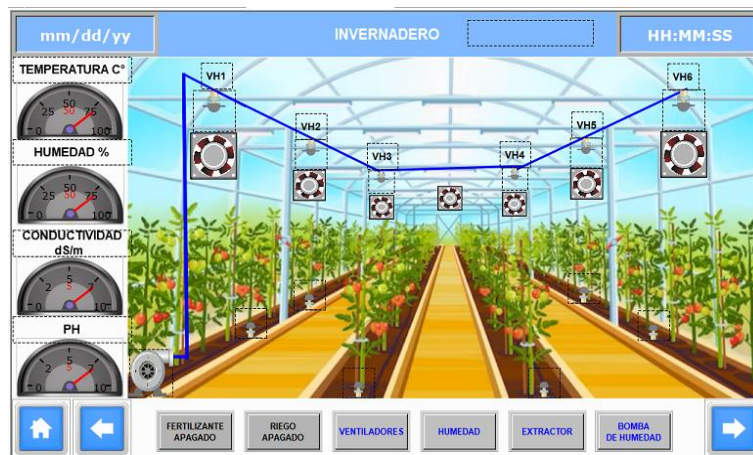


5.4.4 *Diseño y Elaboración de Pantallas de Invernadero*

En la cuarta pantalla del HMI, dedicada al control del invernadero que se mostró en la Figura 19, los operadores podían encender y apagar seis ventiladores, seis electroválvulas y una bomba de agua para regular la humedad dentro del invernadero. Además, había un extractor principal que expulsaba el calor del invernadero, controlando así la temperatura.

Figura 19

Pantallas de Invernadero



5.4.5 *Diseño y Elaboración de Pantallas de Configuración*

La quinta pantalla del HMI, dedicada a la configuración que se mostró en la Figura 20, era esencial para ajustar los límites de control altos y bajos de las variables del proceso, como temperatura, humedad, conductividad y pH. Esta pantalla permitía a los operadores establecer parámetros críticos que aseguraban un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas. Ofrecía dos métodos de control de riego: uno mediante un riego programado por calendario

diario y frecuencia semanal, y otro de manera automática basado en la medición de la conductividad del suelo. Ambos métodos incluían un botón de activación y una función para ingresar el tiempo de riego, controlando así la duración del proceso. Esta pantalla también permitía el bloqueo individual de las seis electroválvulas, facilitando el riego específico por zonas, y ofrecía control individual de las electroválvulas tanto en modo manual como automático. En este último caso, el riego por zona podía configurarse según una hora y fecha previamente programadas en el calendario.

Figura 20

Pantallas de Configuración



5.4.6 *Diseño y Elaboración de Pantallas de Simulación Variables*

La sexta pantalla del HMI, dedicada a la simulación de variables que se mostró en la Figura 21, era esencial para replicar las condiciones de proceso del invernadero como si fueran reales. Esta funcionalidad permitía probar el sistema sin la necesidad de variables físicas, facilitando la identificación y corrección de errores en la programación del PLC en caso de que el diseño no funcionara adecuadamente. Las variables de proceso que se simulaban, tales como temperatura, humedad, conductividad, pH y presión, contaban con rangos de simulación que establecían niveles máximos y mínimos.

Esta pantalla facilitaba el control de fallas en diversas variables, permitiendo ajustar los valores para simular condiciones críticas tanto en niveles altos como bajos. Los límites se podían configurar según las necesidades de los operadores. Además, era posible simular hasta 21 alarmas registradas en el HMI, garantizando que el sistema notificara la presencia de condiciones anómalas, las cuales quedaban documentadas en la pantalla de alarma. La pantalla contaba con un botón específico para activar la simulación de las variables, convirtiéndola en

una herramienta esencial para las pruebas de control y verificación de las alarmas en el invernadero.

Figura 21

Pantallas de Simulación Variables



5.4.7 Diseño y Elaboración de Pantallas de Alarma

La séptima pantalla del HMI, dedicada al monitoreo y registro de alarmas que se mostraba en la Figura 22. Esta pantalla permitía visualizar las alarmas activas y además registrar todas las alarmas. Contaba con botones que permitían el reconocimiento tanto individual como total de las alarmas. Esta pantalla contaba con dispositivos de alerta que incluían una sirena y luces indicadoras: una luz verde que señalaba el funcionamiento normal del sistema y una luz roja que se activaba para indicar la presencia de fallas.

Figura 22

Pantallas de Alarma



5.4.8 *Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de Fertilizante y Riego*

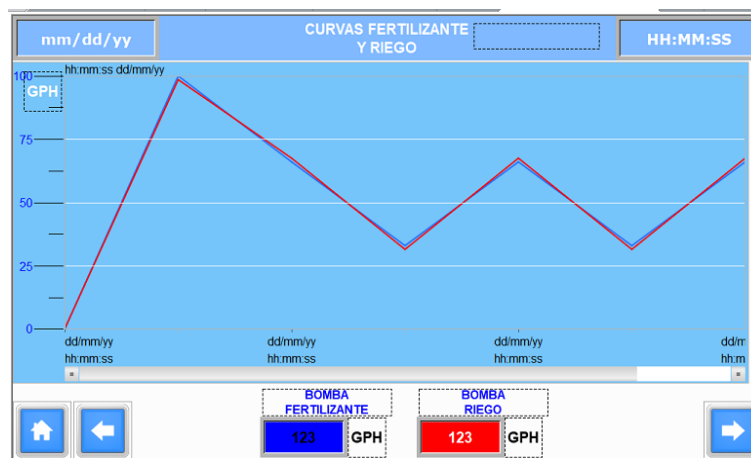
La octava pantalla del HMI se utilizaba para registrar el consumo de fertilizante y agua de riego, medido en galones por hora (GPH), como se mostraba en la Figura 23. Esta valiosa información se obtenía mediante el uso de convertidores de frecuencia, los cuales permitían un ajuste preciso en la velocidad de salida de las bombas. Gracias a este control, era posible regular la cantidad de riego o fertilizante aplicado según las necesidades específicas del cultivo, logrando también un ahorro de energía eléctrica, ya que las bombas no operaban al 100% de su potencia en todo momento.

La interfaz del HMI no solo facilitaba la monitorización en tiempo real, sino que también permitía la descarga de los datos registrados en todas las curvas de proceso para su análisis detallado posterior. Esta funcionalidad era fundamental para evaluar la efectividad de las prácticas de riego y fertilización implementadas. Al analizar estos datos, los gestores del invernadero podían optimizar el consumo de recursos, resultando en una mejora significativa en la eficiencia del sistema.

Este enfoque aseguraba una gestión más sostenible y económica de los insumos agrícolas, esencial para una producción rentable y ambientalmente responsable en el invernadero. La capacidad de ajustar y monitorear con precisión las variables de riego y fertilización permitía a los agricultores adaptar sus prácticas a las condiciones cambiantes, maximizar el rendimiento de los cultivos y minimizar el desperdicio de recursos, contribuyendo así a una agricultura más eficiente y sostenible.

Figura 23

Pantallas de Curva de Fertilizante y Riego

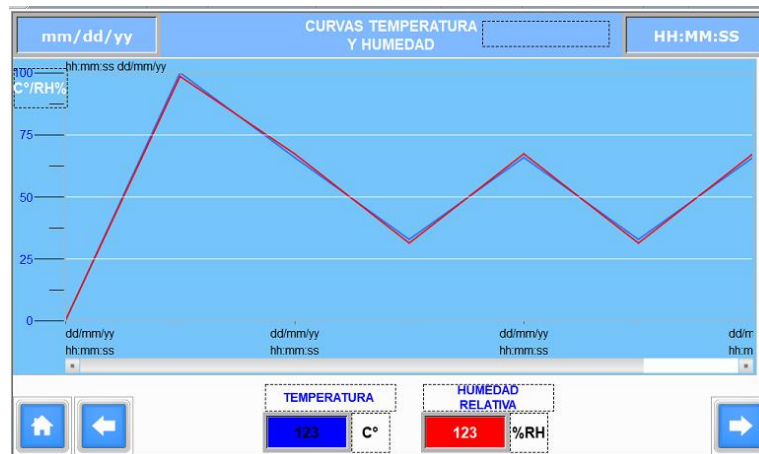


5.4.9 Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de Temperatura y Humedad

La novena pantalla del HMI se utilizaba para registrar las variables de temperatura y humedad relativa, como se mostraba en la Figura 24. Esta pantalla permitía monitorear y mantener un registro continuo de estas variables críticas.

Figura 24

Pantallas de Curva de Temperatura y Humedad

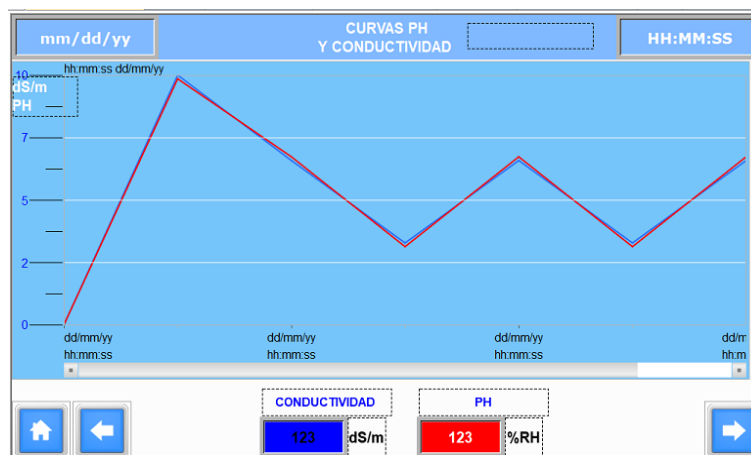


5.4.10 Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de PH y Conductividad

La novena pantalla del HMI se utilizaba para registrar las variables de temperatura y humedad relativa, como se mostraba en la Figura 25. Esta pantalla permitía monitorear y mantener un registro continuo de estas variables críticas.

Figura 25

Pantallas de Curva de PH y Conductividad

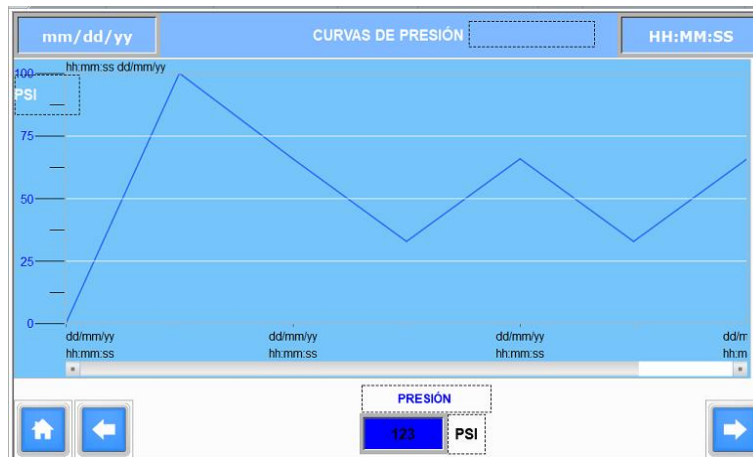


5.4.11 Diseño y Elaboración de Pantallas de Curva de Presión

La undécima pantalla del HMI se utilizaba para registrar la variable de presión en la línea de agua para el riego, como se mostraba en la Figura 26. Esta monitorización aseguraba un riego eficiente y preciso, manteniendo condiciones óptimas para el cultivo.

Figura 26

Pantallas de Curva de Presión

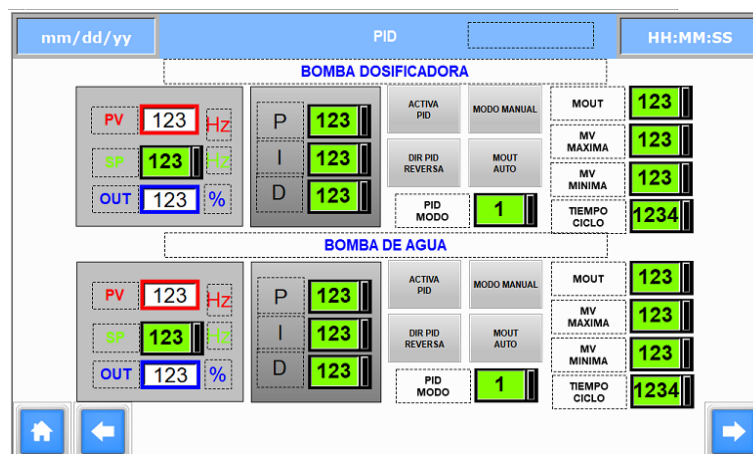


5.4.12 Diseño y Elaboración de Pantallas de PID

La duodécima pantalla del HMI se utilizaba para controlar los dos convertidores de frecuencia de la bomba de fertilizante y la bomba de riego de agua, como se mostraba en la Figura 27. Ambas bombas contaban con un método de control PID, que permitía un ajuste preciso de la velocidad y flujo. La pantalla permitía a los operadores ajustar y monitorear los parámetros del PID, asegurando que la cantidad de fertilizante y agua aplicada fuera óptima.

Figura 27

Pantallas de PID

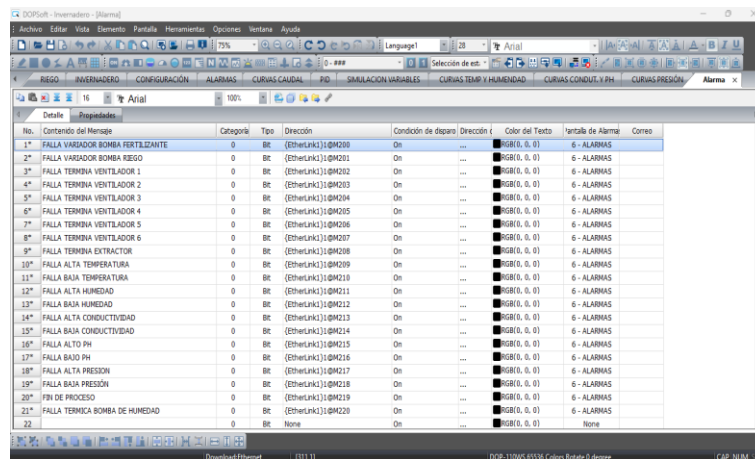


5.4.13 Configuración de Alarmas en el HMI

La configuración de alarmas en el HMI para el invernadero automatizado incluía 21 alarmas diseñadas para indicar fallos en el sistema, como se mostraba en la Figura 28. Estas alarmas aseguraban una rápida identificación y respuesta a problemas, mejorando la seguridad y eficiencia operativa del invernadero.

Figura 28

Configuración de Alarmas en el HMI



| No. | Contenido del Mensaje | Categoría | Tipo | Dirección | Condición de disparo | Dirección | Color del Texto | Índice de Alarmas | Correo |
|-----|-----------------------------------|-----------|------|--------------------|----------------------|-----------|-----------------|-------------------|--------|
| 1* | FALLA VARIADOR BOMBA FERTILIZANTE | 0 | BE | {EtherLink1}0M4200 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 2* | FALLA VARIADOR BOMBA RIEGO | 0 | BE | {EtherLink1}0M4201 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 3* | FALLA TERMINA VENTILADOR 1 | 0 | BE | {EtherLink1}0M4202 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 4* | FALLA TERMINA VENTILADOR 2 | 0 | BE | {EtherLink1}0M4203 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 5* | FALLA TERMINA VENTILADOR 3 | 0 | BE | {EtherLink1}0M4204 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 6* | FALLA TERMINA VENTILADOR 4 | 0 | BE | {EtherLink1}0M4205 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 7* | FALLA TERMINA VENTILADOR 5 | 0 | BE | {EtherLink1}0M4206 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 8* | FALLA TERMINA VENTILADOR 6 | 0 | BE | {EtherLink1}0M4207 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 9* | FALLA TERMINA EXTRACTOR | 0 | BE | {EtherLink1}0M4208 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 10* | FALLA ALTA TEMPERATURA | 0 | BE | {EtherLink1}0M4209 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 11* | FALLA BAJA TEMPERATURA | 0 | BE | {EtherLink1}0M4210 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 12* | FALLA ALTA HUMEDAD | 0 | BE | {EtherLink1}0M4211 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 13* | FALLA BAJA HUMEDAD | 0 | BE | {EtherLink1}0M4212 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 14* | FALLA ALTA CONDUCTIVIDAD | 0 | BE | {EtherLink1}0M4213 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 15* | FALLA BAJA CONDUCTIVIDAD | 0 | BE | {EtherLink1}0M4214 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 16* | FALLA ALTO PH | 0 | BE | {EtherLink1}0M4215 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 17* | FALLA BAJO PH | 0 | BE | {EtherLink1}0M4216 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 18* | FALLA ALTA PRESION | 0 | BE | {EtherLink1}0M4217 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 19* | FALLA BAJA PRESION | 0 | BE | {EtherLink1}0M4218 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 20* | FIN DE PROCESO | 0 | BE | {EtherLink1}0M4219 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 21* | FALLA TECNICA BOMBA DE HUMEDAD | 0 | BE | {EtherLink1}0M4220 | On | ... | ROJO (0, 0) | 6 - ALARMAS | |
| 22 | | 0 | BE | None | On | ... | ROJO (0, 0) | None | |

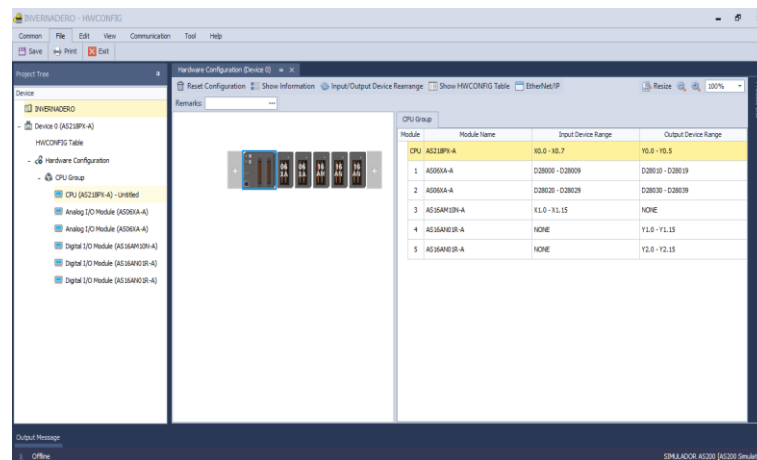
5.5 Desarrollo del Software en el PLC

Se utilizó el programa ISPSoft 3.19 de DELTA para la programación del PLC y HWConfig para la configuración del hardware, como se mostraba en la Figura 29. El modelo del PLC utilizado fue AS218PX-A. Se emplearon dos módulos de cuatro entradas y dos salidas analógicas, un módulo de dieciséis entradas digitales y dos módulos de dieciséis salidas digitales. El lenguaje de programación del PLC que se utilizó fue el diagrama de escalera. Esta combinación de software y hardware permitió una configuración y programación eficiente del sistema automatizado, asegurando un control preciso y fiable de las operaciones del invernadero.

Escogimos utilizar el lenguaje de programación del diagrama de escalera para la programación del invernadero debido a sus múltiples ventajas. Este lenguaje era fácil de entender y utilizar, especialmente para técnicos con experiencia en circuitos eléctricos. La representación gráfica del diagrama de escalera permitía una rápida identificación y resolución de problemas, ya que su estructura se asemejaba a los esquemas eléctricos tradicionales. Además, este lenguaje facilitaba la programación de sistemas complejos al permitir la visualización clara de las relaciones lógicas entre los diferentes componentes del sistema.

Figura 29

Configuración del Hardware



5.5.1 Programación del Modo de Operación

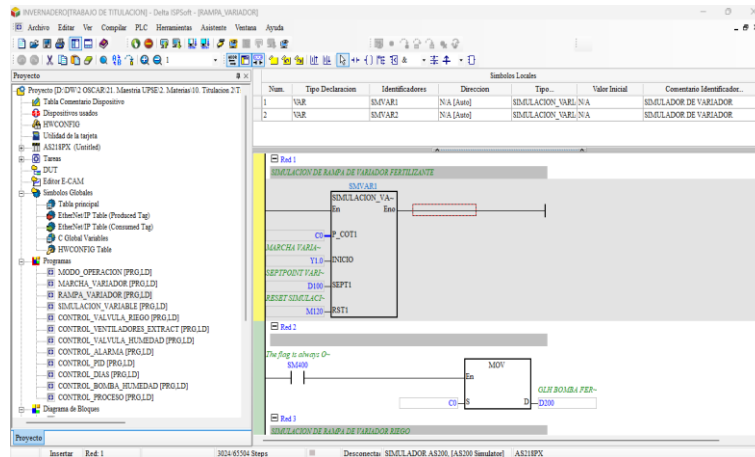
La programación del PLC para la automatización del invernadero se dividió en doce subprogramas. El primer subprograma tenía la función de controlar el modo de operación, como se mostraba en la Figura 30. Este subprograma incluía la programación de cuatro modos de control: manual, automático, apagado y remoto. El modo manual permitía a los operadores ajustar y manejar manualmente los sistemas del invernadero, lo cual era útil para tareas de mantenimiento y ajustes específicos. El modo automático habilitaba la operación del invernadero según los parámetros predefinidos y las condiciones ambientales, asegurando una gestión eficiente y constante. El modo apagado detenía todos los sistemas para situaciones de emergencia o mantenimiento mayor.

El modo remoto permitía el control del invernadero desde una ubicación diferente a través de internet. Utilizando la HMI con servidor VNC incorporado, se facilitaba el monitoreo y el funcionamiento remoto del sistema. Este modo era útil para supervisar y ajustar las operaciones del invernadero sin necesidad de estar físicamente presente. Los operadores podían acceder a la interfaz del HMI desde cualquier dispositivo con conexión a internet, permitiendo una gestión flexible y eficiente.

realizaba la simulación de rampas de aceleración y desaceleración para los convertidores de frecuencia de las bombas de fertilizante y riego.

Figura 32

Programación Rampa Variador



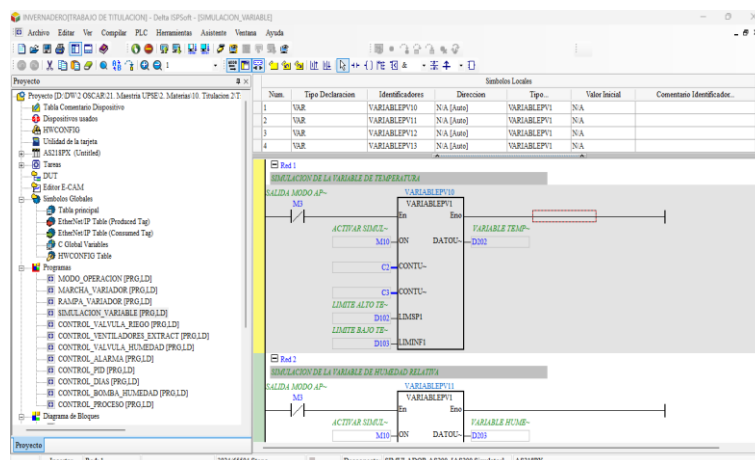
5.5.4 Programación Simulación Variables

El cuarto subprograma tenía la función de simular las variables del proceso del invernadero, como se mostraba en la Figura 33. Esta programación simulaba las cinco variables clave del invernadero: temperatura, humedad, conductividad, pH y presión.

Esta simulación era importante para comprobar la automatización del invernadero y ajustar el sistema, asegurando un comportamiento similar a las condiciones reales, con valores de ajuste mínimos y máximos para cada variable.

Figura 33

Programación Simulación Variables

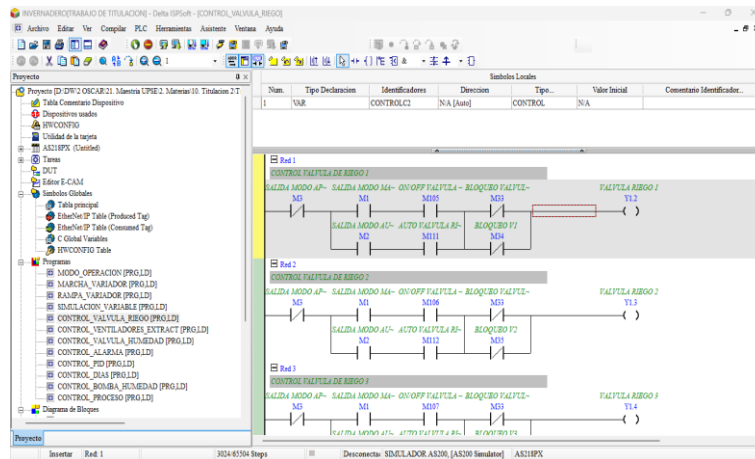


5.5.5 Programación Control de Válvulas Riego

El quinto subprograma tenía la función de controlar las válvulas de riego, como se mostraba en la Figura 34. Esta programación gestionaba las seis válvulas de riego en modos manual y automático. Permitía controlar el proceso de riego según un cronograma preestablecido o mediante el ajuste de los valores mínimos y máximos de la variable de conductividad.

Figura 34

Programación Control de Válvulas Riego

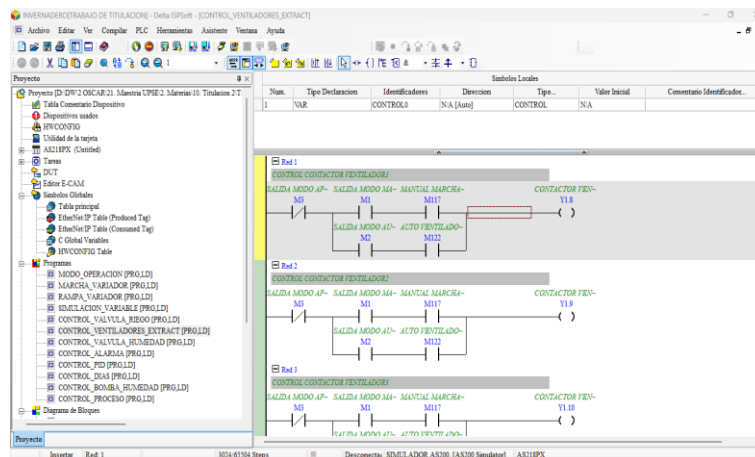


5.5.6 Programación Control de Ventiladores y Extractor

El sexto subprograma tenía la función de controlar los ventiladores y el extractor, como se mostraba en la Figura 35. Esta programación servía para controlar seis ventiladores, regulados por las variables de humedad y temperatura. El extractor principal era controlado únicamente mediante el ajuste de los valores mínimos y máximos de la variable de temperatura.

Figura 35

Programación Control de Ventiladores y Extractor

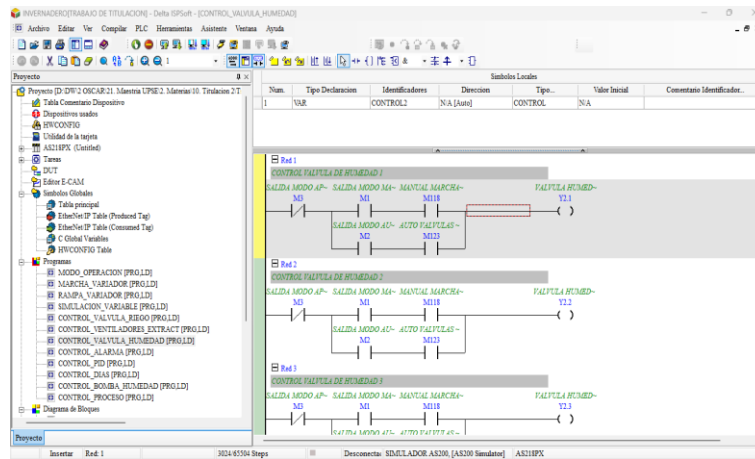


5.5.7 Programación Control Válvulas de Humedad

El séptimo subprograma controlaba las válvulas de humedad, como se mostraba en la Figura 36. Esta programación gestionaba seis válvulas ajustando los valores mínimos y máximos de la variable de humedad.

Figura 36

Programación Control Válvulas de Humedad

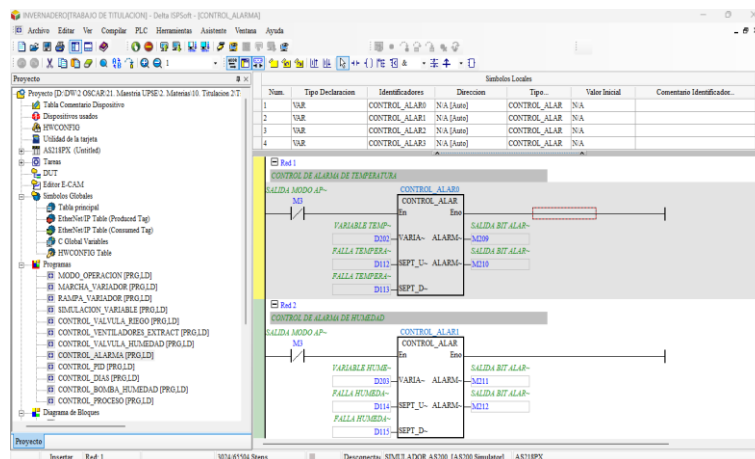


5.5.8 Programación Control de Alarma

El octavo subprograma controlaba las alarmas, como se mostraba en la Figura 37. Esta programación gestionaba 21 alarmas, enviando una marca virtual a la HMI para indicar la existencia de una anomalía. Al activarse una alarma, se encendía una luz roja de fallo y una sirena. Cuando no había fallos, se encendía una luz verde indicando que todo estaba normal; se incluía una marca virtual para silenciar la sirena.

Figura 37

Control de Alarma

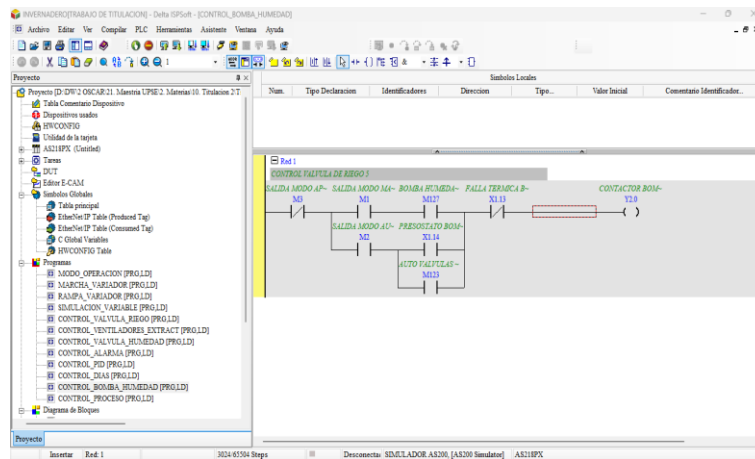


5.5.11 Programación Control Bomba de Humedad

El undécimo subprograma controlaba la bomba de humedad, como se mostraba en la Figura 40. Esta programación gestionaba el encendido y apagado de la bomba de humedad, que operaba cada vez que se abrían las válvulas de humedad o cuando el presostato de la línea de agua necesitaba mantener la presión de trabajo.

Figura 40

Programación Control Bomba de Humedad

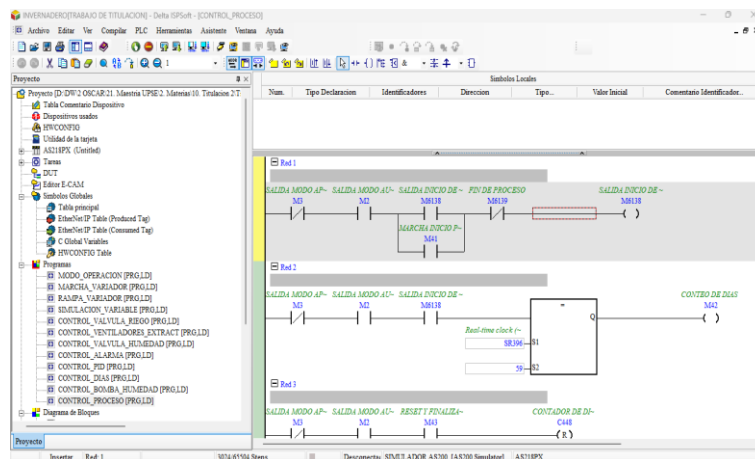


5.5.12 Programación Control Proceso

El duodécimo subprograma controlaba el inicio y fin del proceso, como se mostraba en la Figura 41. Esta programación gestionaba el inicio y fin del proceso mediante el ajuste del número total de días necesarios para el cultivo del melón. Se activaba el modo automático, permitiendo que el sistema comenzara a operar según los parámetros predefinidos.

Figura 41

Programación Control Proceso



5.5.13 Comentarios de Entrada y Salidas del PLC

Los comentarios de las entradas y salidas del PLC para el invernadero automatizado, como se mostraba en la Figura 42, se encontraban en la Tabla de Comentarios del software ISPSoft. Era muy importante colocar comentarios para identificar cada entrada y salida y conocer qué función realizaban en el programa. Estos comentarios facilitaban la comprensión y el mantenimiento del sistema, permitiendo a los técnicos y operadores entender rápidamente el propósito de cada conexión. Una documentación clara y detallada aseguraba una operación eficiente y una resolución de problemas más rápida, mejorando la fiabilidad y eficacia del sistema automatizado del invernadero.

Figura 42

Comentarios de Entrada y Salidas del PLC

| Nombre Dispo | Comentario |
|--------------|-------------------------------------|
| X1.0 | FALLA VARIADOR BOMBA FERTILIZANTE |
| X1.1 | FALLA VARIADOR BOMBA RIEGO |
| X1.2 | MODO REMOTO |
| X1.3 | MODO MANUAL |
| X1.4 | MODO AUTOMATICO |
| X1.5 | PARADA EMERGENCIA |
| X1.6 | FALLA TERCERA VENTILADOR 1 |
| X1.7 | FALLA TERCERA VENTILADOR 2 |
| X1.8 | FALLA TERCERA VENTILADOR 3 |
| X1.9 | FALLA TERCERA VENTILADOR 4 |
| X1.10 | FALLA TERCERA VENTILADOR 5 |
| X1.11 | FALLA TERCERA VENTILADOR 6 |
| X1.12 | FALLA TERCERA EXTRACTOR |
| X1.13 | FALLA TERCERA BOMBA HUMEDAD |
| X1.14 | PIESTOSTATO BOMBA HUMEDAD |
| X1.15 | |
| Y1.0 | MARCHEA VARIADOR BOMBA FERTILIZANTE |
| Y1.1 | MARCHEA VARIADOR BOMBA RIEGO |
| Y1.2 | VALVULA RIEGO 1 |
| Y1.3 | VALVULA RIEGO 2 |
| Y1.4 | VALVULA RIEGO 3 |

6 RESULTADOS

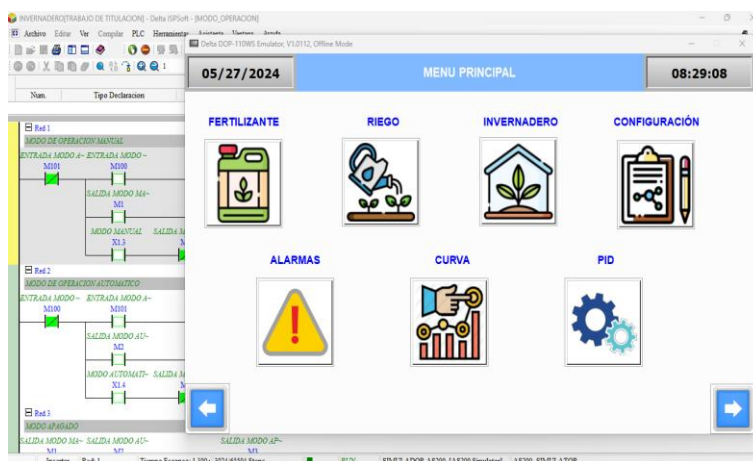
Los resultados de la investigación cualitativa validaron la funcionalidad del sistema de automatización del invernadero mediante simulaciones usando el programa ISPSOft y DOPSoft en modalidad simulación. Se realizaron pruebas de funcionamiento de convertidores de frecuencia, válvulas de riego, humedad, extractor, ventiladores y alarmas. Se evaluaron los modos de operación (manual, automático, apagado y remoto), detectando y resolviendo anomalías de manera eficiente. Estas simulaciones permitieron observar cómo el sistema se comportaba bajo condiciones controladas, asegurando que funcionara correctamente como si estuviera operando en un entorno real.

6.1 Simulación de Menú Principal

Para la simulación número uno, correspondiente al menú principal del HMI, como se mostraba en la Figura 43, pudimos observar cómo el PLC y la HMI estaban en modo simulación sin presentar errores de comunicación. La simulación verificó el acceso a las siete pantallas que conformaban el menú principal, demostrando la correcta navegación entre ellas. Se podía visualizar la fecha y el tiempo en funcionamiento continuo, confirmando la precisión y la estabilidad del sistema.

Figura 43

Simulación de Menú Principal

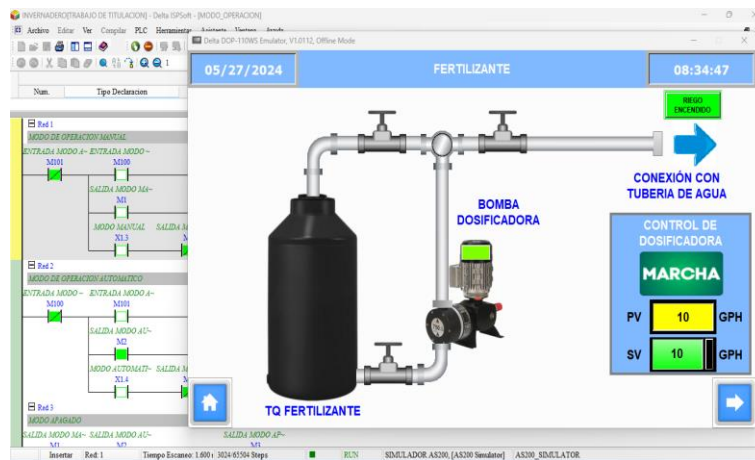


6.2 Simulación de Fertilizante

Para la simulación número dos, correspondiente al control de la bomba de fertilizante, como se mostraba en la Figura 44, se verificaba el encendido y apagado de la bomba. La simulación permitía cambiar el Setpoint del convertidor de frecuencia y observar la aceleración y desaceleración de la bomba. Esta prueba aseguraba que la bomba respondiera correctamente a los comandos y ajustes.

Figura 44

Simulación de Fertilizante



6.3 Simulación de Riego

Para la simulación número tres, correspondiente al control de la bomba de riego, como se mostraba en la Figura 45, se verificaba el encendido y apagado de la bomba. La simulación permitía cambiar el setpoint del convertidor de frecuencia y observar la aceleración y desaceleración de la bomba. Se probaban los cuatro modos de control: manual, automático, apagado y remoto. También se ingresaba el total de días programados, se pulsaba el botón de inicio de proceso y se probaba el botón de fin del proceso. Se comprobaba el encendido de las seis válvulas de riego, como se mostraba en la Figura 46.

Figura 45

Simulación de Riego

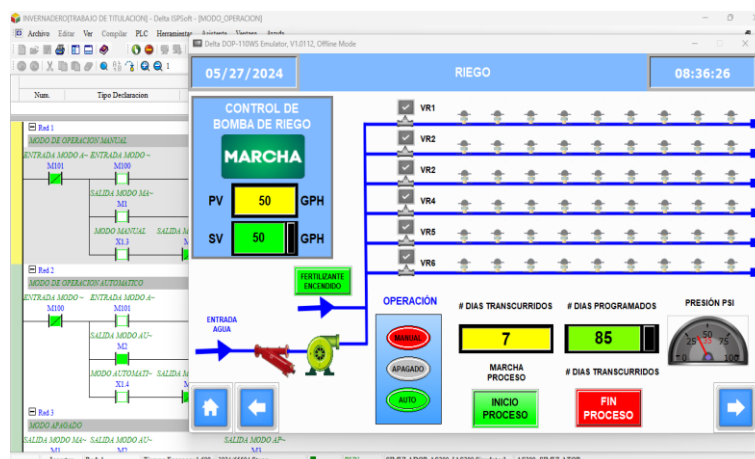
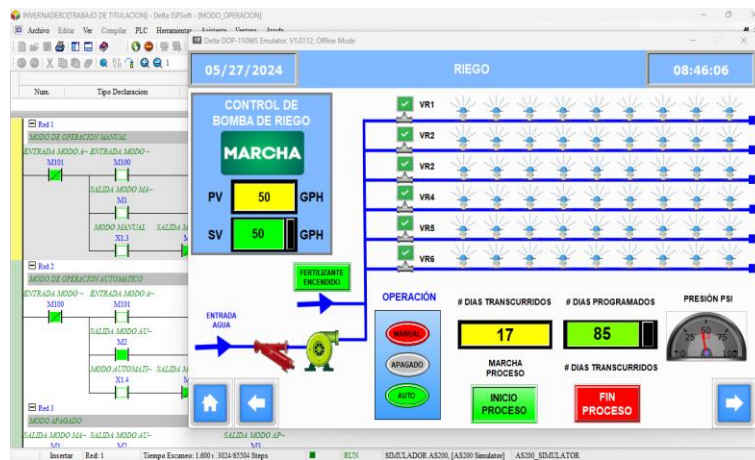


Figura 46

Encendido de las Válvulas de Riego



6.4 Simulación de Invernadero

Para la simulación número cuatro, correspondiente al control del invernadero, como se mostraba en la Figura 47, se verificaba el encendido y apagado de seis ventiladores según los valores mínimos y máximos de los controles de temperatura y humedad, como se mostraba en la Figura 48. Se comprobaba el encendido y apagado de seis válvulas y una bomba de humedad, ajustándose a los valores mínimos y máximos del control de humedad. Se verificaba el encendido y apagado de un extractor según los valores mínimos y máximos de los controles de temperatura, tanto en modalidad manual como automática.

Figura 47

Simulación de Invernadero

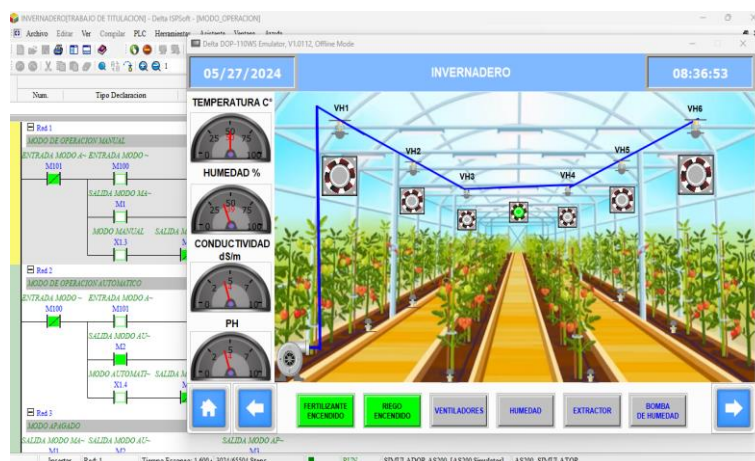
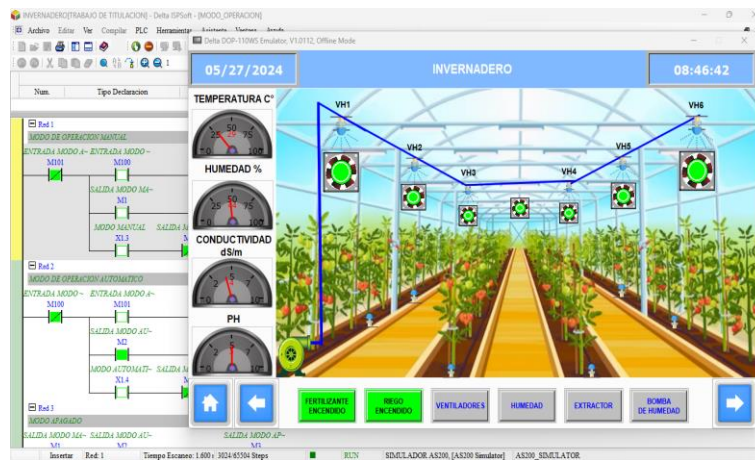


Figura 48

Encendido de Ventiladores



6.5 Simulación de Alarmas

Para la simulación número cinco, correspondiente al control de alarmas, como se mostraba en la Figura 49, se comprobaba el funcionamiento de las 21 alarmas. Se verificaba que las alarmas se activaran correctamente y que también se registraran en el histórico de alarmas. Se comprobaba el reseteo de la sirena y que la luz roja de fallo permaneciera encendida hasta que el fallo fuera eliminado. También se verificaba el reconocimiento de las alarmas, tanto de manera individual como en grupos. Se comprobaba que la luz verde estuviera encendida cuando no existían fallas, como se mostraba en la Figura 50.

Figura 49

Simulación de Alarmas

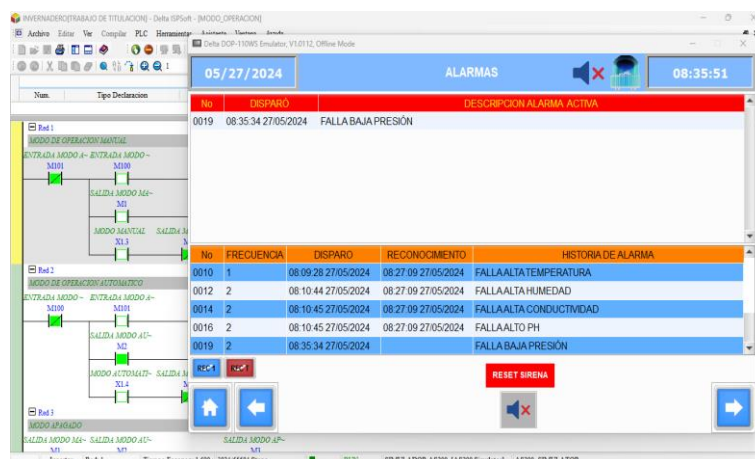
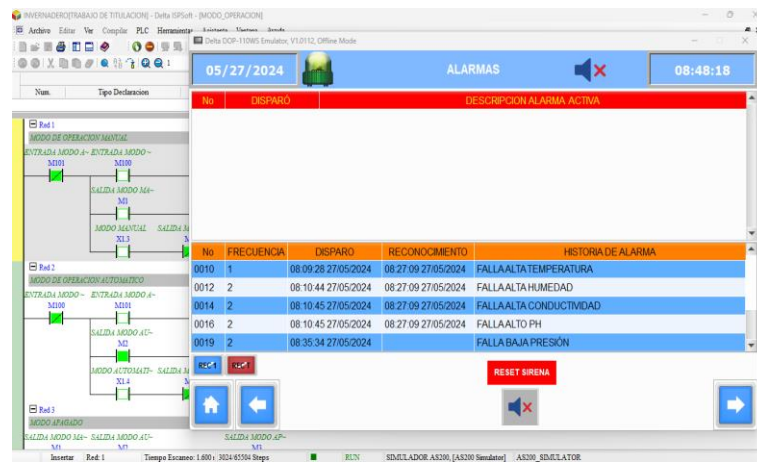


Figura 50

Luz Verde Encendida

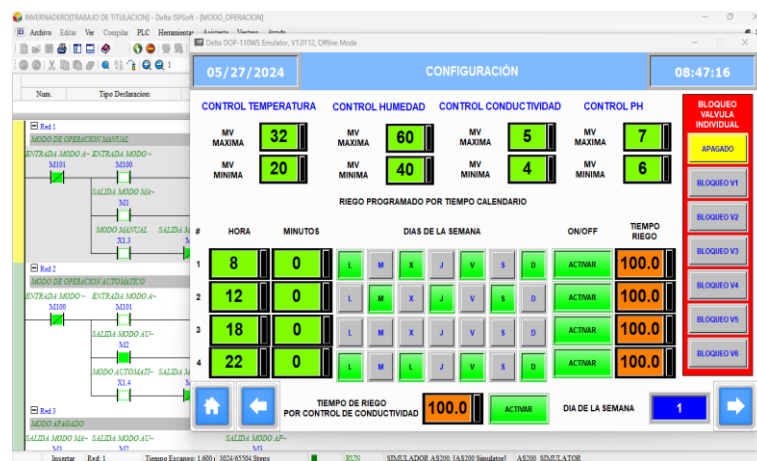


6.6 Simulación de Configuración

Para la simulación número seis, correspondiente al control de la configuración, como se mostró en la Figura 51, se comprobó el funcionamiento del control de las variables de proceso, permitiendo ajustar los límites altos y bajos de variables como temperatura, humedad, conductividad y pH. Se probaron los dos métodos de control de riego: el primero mediante un riego programado por calendario diario y frecuencia semanal, y el segundo de manera automática basado en la medición de la conductividad del suelo. Se verificaron los botones de activación y la función para ingresar el tiempo de riego, controlando así la duración del proceso. Se comprobó el bloqueo individual de las seis electroválvulas, tanto en modo manual como automático.

Figura 51

Simulación de Configuración

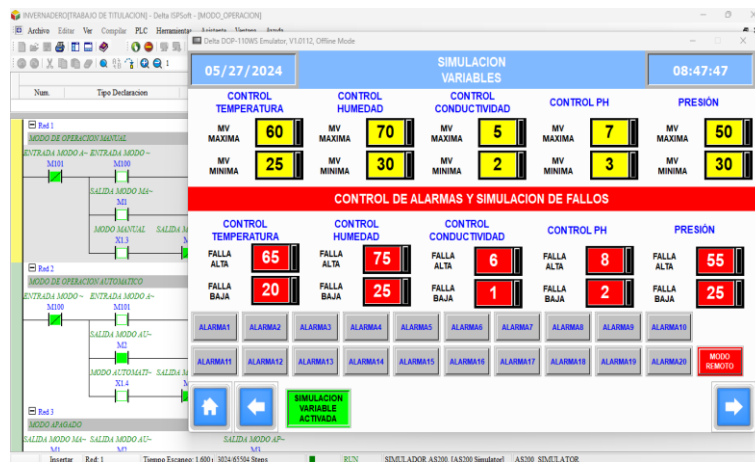


6.7 Simulación de Variables Proceso

Para la simulación número siete, correspondiente a la simulación de variables, como se mostró en la Figura 52, se comprobó el funcionamiento de las variables de proceso, incluyendo temperatura, humedad, conductividad, pH y presión. Se ajustaron los rangos de simulación para niveles máximos y mínimos, asegurando que el sistema pudiera manejar una variedad de condiciones operativas. Se simuló el control de fallas en diversas variables, permitiendo ajustar los valores para simular condiciones críticas tanto altas como bajas. Se verificó que las alarmas funcionaran correctamente, activándose y registrándose en el HMI cuando se detectaban condiciones anómalas, y guardándose en el historial de alarmas. Se probó el botón para activar la simulación de variables, asegurando que el sistema respondiera adecuadamente y que todas las funciones de monitoreo y control operaran según lo previsto. Esta simulación sirvió para comprobar que el diseño funcionaba correctamente y presentaba un comportamiento muy apegado al funcionamiento real de un invernadero.

Figura 52

Simulación de Variables Proceso

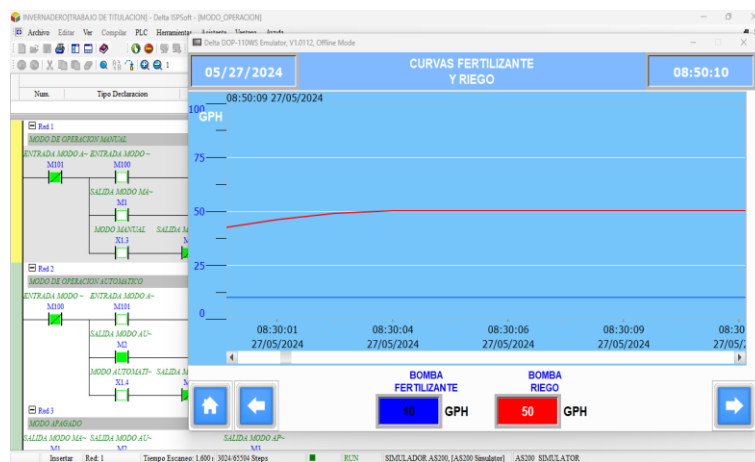


6.8 Simulación de Curva de Fertilizante y Riego

Para la simulación número ocho, correspondiente a la curva de fertilizante y riego del HMI, como se mostró en la Figura 53, se verificó la simulación de las variables de flujo de las bombas de fertilizante y riego. Se observó la medición digital de ambas variables y se registró cómo los datos se generaban, formando una curva. Esta simulación sirvió para visualizar y analizar el comportamiento del flujo de fertilizante y riego en tiempo real, asegurando que el sistema funcionara correctamente.

Figura 53

Simulación de Curva de Fertilizante y Riego

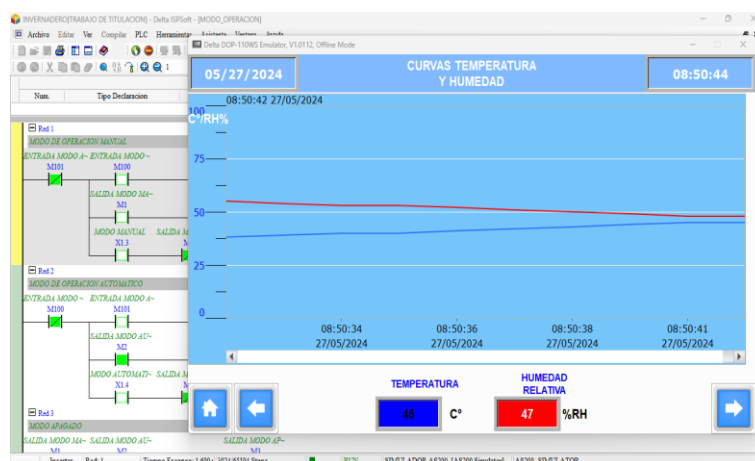


6.9 Simulación de Curva de Temperatura y Humedad

Para la simulación número nueve, correspondiente a la curva de temperatura y humedad del HMI, como se mostró en la Figura 54, se verificó la simulación de las variables de temperatura y humedad del invernadero. Se observó la medición digital de ambas variables y se registró cómo los datos se generaban, formando una curva. Esta simulación sirvió para visualizar y analizar el comportamiento de la temperatura y humedad en tiempo real, asegurando que el sistema funcionara correctamente.

Figura 54

Simulación de Curva de Temperatura y Humedad

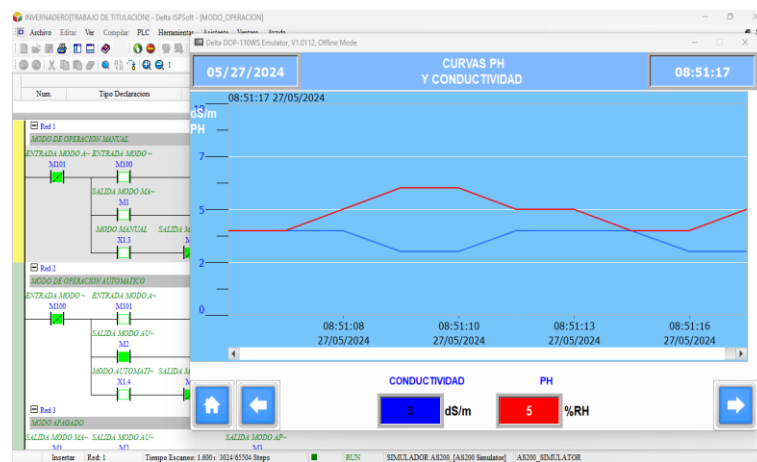


6.10 Simulación de Curva de Conductividad y pH

Para la simulación número diez, correspondiente a la curva de conductividad y pH del HMI, como se mostró en la Figura 55, se verificó la simulación de las variables de conductividad y pH del invernadero. Se observó la medición digital de ambas variables y se registró cómo los datos se generaron, formando una curva.

Figura 55

Simulación de Curva de Conductividad y pH

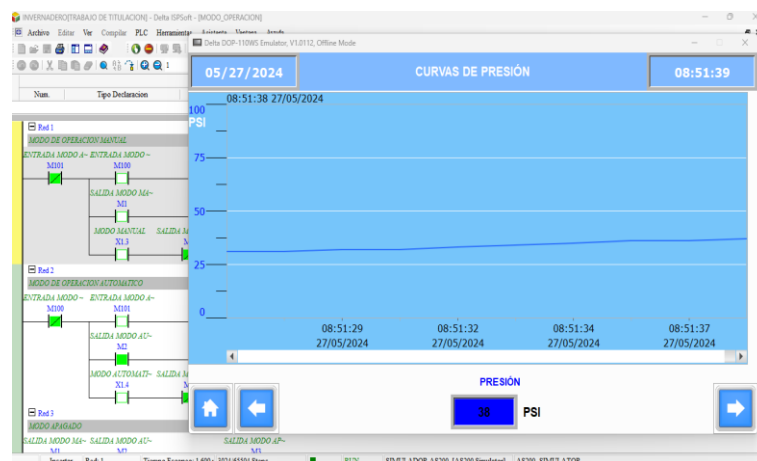


6.11 Simulación de Curva de Presión

Para la simulación número once, correspondiente a la curva de presión del HMI, como se mostró en la Figura 56, se verificó la simulación de la variable de presión del invernadero. Se observó la medición digital de la variable y se registró cómo los datos se generaron, formando una curva.

Figura 56

Simulación de Curva de Presión

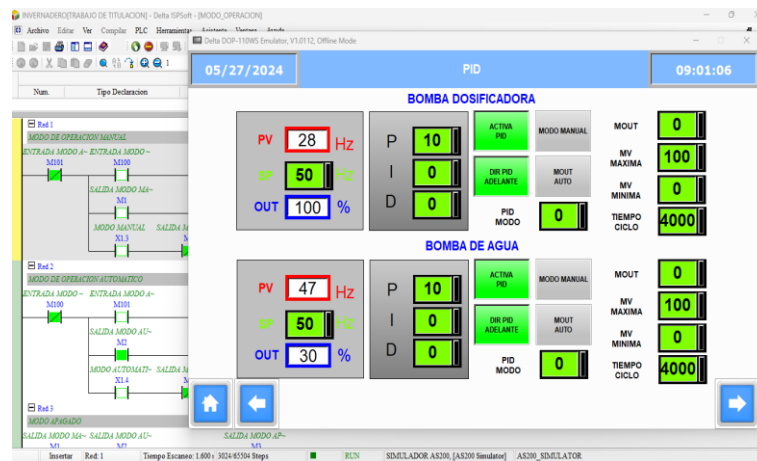


6.12 Simulación de PID

Para la simulación número doce, correspondiente al control PID de las bombas de fertilizante y riego, como se mostró en la Figura 57, se verificó la simulación del control de los dos convertidores de frecuencia de la bomba de fertilizante y la bomba de riego de agua. En esta simulación, se probó el control PID en modo automático, ajustando los valores del PID, el tiempo de ciclo, el MV Máximo y el MV Mínimo. Se activaron el botón "Activa PID" y el botón "Dir. PID Adelante", empezando así a funcionar y manteniendo un control preciso del flujo de fertilizante y agua.

Figura 57

Simulación de PID



Se pudo simular el control del lazo PID en modo manual al activar el botón "Modo Manual" y ajustar el valor de salida en "Mout", como se mostró en la Figura 58.

Figura 58

PID en Modo Manual



7 CONCLUSIONES

El enfoque de automatización propuesto se basó en el uso de un programa de simulación basado en el Controlador Lógico Programable (PLC) y la Interfaz Humano Máquina (HMI) de la marca Delta. Esta combinación de tecnologías facilitó una gestión más efectiva y adaptable de los invernaderos, permitiendo visualizar y optimizar el funcionamiento de la automatización para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos involucrados en el proceso agrícola. Al incorporar programas de simulación, se anticipó que el sistema automatizado optimizaría el ciclo de cultivo, mejorando significativamente la producción y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

La metodología utilizada en el desarrollo de este sistema de automatización se basó en la investigación cualitativa, que incluyó la observación detallada y el análisis de imágenes resultantes de las simulaciones. Este enfoque permitió evaluar la funcionalidad y efectividad del sistema propuesto, identificar y ajustar aspectos clave del sistema, y comprender a fondo los procesos involucrados para optimizar el rendimiento y la sostenibilidad del cultivo. La investigación cualitativa fue fundamental para garantizar la precisión y el control necesarios para el éxito de un proyecto de esta envergadura.

La simulación práctica desempeñó un papel fundamental en la validación y optimización del diseño propuesto, demostrando de manera concreta cómo la automatización puede mejorar significativamente la producción de melones. Los resultados de este estudio no solo sentaron las bases para el desarrollo de políticas agrícolas que fomenten la adopción de tecnologías avanzadas, sino que también pueden influir en las prácticas agrícolas locales, promoviendo un enfoque más eficiente y sostenible en la agricultura.

Este trabajo representó un paso importante hacia la modernización y la sostenibilidad de la agricultura en el Cantón Lomas de Sargentillo y más allá. La automatización de invernaderos para el cultivo de melones no solo mejoró la eficiencia y la productividad agrícola, sino que también contribuyó a la conservación de los recursos naturales y al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles. Este enfoque integrado de tecnología y agricultura sentó las bases para un futuro más prometedor en el sector agrícola ecuatoriano, impulsando la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad en la producción de alimentos.

8 RECOMENDACIONES

Fue fundamental realizar un análisis detallado de las necesidades y requisitos específicos de cada invernadero y cultivo antes de diseñar e implementar un sistema de automatización. Esto incluyó considerar factores como el tipo de cultivo, las condiciones ambientales locales, los recursos disponibles y los objetivos de producción. Al personalizar el sistema de automatización según las características únicas de cada invernadero, se pudo garantizar una integración efectiva y un rendimiento óptimo.

Se recomendó la selección cuidadosa de los componentes tecnológicos, como sensores, actuadores, PLC y HMI, para asegurar la compatibilidad, la fiabilidad y la eficiencia del sistema automatizado. Fue importante trabajar con proveedores confiables y expertos en tecnología agrícola para garantizar la calidad de los equipos y su adecuación a las necesidades específicas del invernadero y el cultivo. La inversión en tecnología de vanguardia pudo resultar en beneficios a largo plazo en términos de productividad y sostenibilidad.

Se aconsejó realizar pruebas exhaustivas y simulaciones antes de la implementación completa del sistema de automatización. Las pruebas en entornos controlados permitieron identificar posibles fallos, ajustar parámetros y optimizar el rendimiento del sistema antes de su despliegue en condiciones reales. La simulación práctica propuesta fue una herramienta valiosa para visualizar y validar el funcionamiento del sistema automatizado, así como para capacitar al personal en su operación y mantenimiento.

Fue importante capacitar al personal agrícola en el uso y mantenimiento de los sistemas automatizados. La formación adecuada del personal en la operación de PLC, HMI y otros componentes tecnológicos fue esencial para garantizar un funcionamiento eficiente y una respuesta rápida ante posibles problemas. Además, se estableció un plan de mantenimiento preventivo para asegurar la durabilidad y el rendimiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

9 REFERENCIAS

- Alvarado Ruiz, G. J., & Peñuela Sanabria, W. D. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado recibo-almacenamiento de trigo en grano*.
<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/18460>
- Avellaneda Triana, Y. M., Gomez Sanchez, B. S., & Franco González, B. N. (2022). *Diseño, monitoreo y automatización de cultivos verticales aplicando IoT*.
- Bustamante, M. J. P. (2022). *Evaluación de la eficiencia energética por aplicación de variadores de frecuencia en sistemas de bombeo y de la factibilidad económica de su implementación*. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/c01495a6-7d47-4df0-8963-e552d6a8fe8e/content>
- Carrera Hidalgo, Á. I. (2021). *Desarrollo de una plataforma IoT para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube* [Master's Thesis]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20134>
- Coyago Calle, C. R. (2023). *Automatización de un invernadero semi hidropónico*.
- Delgado Prieto, M., & Fernández Sobrino, Á. (2022). *Automatización industrial: Diseño de automatismos programados*. Iniciativa Digital Politècnica. Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/369210>
- Guzmán Vaca, A. E. (2023). *Diseño y construcción de un prototipo de invernadero para agricultura de precisión a través de IOT*.
- López, G. B., & Velasteguí, L. E. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *Alfapublicaciones*, 3(3.1), 98-115.

Martínez Gandía, A. (2024). *Proyecto de almacenamiento de productos químicos para una empresa que fabrica fertilizantes nitrogenados en la localidad de Ribarroja del Turia (Valencia)*.

Miguez García, C. R. (2023). *Prospección de agricultura protegida en el Litoral Ecuatoriano*.

Ordoñez, R. C. O., Recalde, L. F. C., Núñez, G. P. S., & Sandoval, E. M. S. (2023). Adquisición de señales analógicas de instrumentación con LOGO! Soft V8. 3 mediante generador de señales y el sensor PT100. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7865-7880.

Pardo Solano, F. V., & Casa Yanguicela, J. C. (2020). *Automatización de un sistema de riego para el control de humedad en los cultivos del invernadero# 2 del Centro Experimental Salache en la Universidad Técnica de Cotopaxi*.

Salazar Chambi, J. I. (2023). *Diseño e implementación de un prototipo de control de temperatura y humedad utilizando arduino aplicado a un mini invernadero para cultivo ornamental*.

Santos Beltrán, V. A., Freire, T., & Fernando, D. (2023). *Diseño de un invernadero hidropónico automático con control del pH y electroconductividad para cultivo de tomate y monitoreo en la nube*.