



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TEMA: DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO PARA CULTIVO DE HORTALIZAS ORGÁNICAS Y TOMATE RIÑÓN

AUTORES

ABALCO HARO, CRISTIAN PATRICIO

VÁSCONEZ SIMBAÑA, PAÚL DARÍO

DIRECTOR: ING. PROAÑO ROSERO, VÍCTOR GONZALO

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "*DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO PARA CULTIVO DE HORTALIZAS ORGÁNICAS Y TOMATE RIÑÓN*" fue realizado por el señores *Abalco Haro, Cristian Patricio* y *Vásquez Simbaña, Paúl Darío* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangoquí, Junio de 2018.

Firma:

Ing. Víctor Proaño.
C.C. 1706457924



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *Abalco Haro, Cristian Patricio* y *Vásquez Simbaña, Paúl Darío*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas orgánicas y tomate riñon* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetado los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Junio del 2018

Firma

Abalco Cristian
C.C. 1717743783

Firma

Vásquez Paúl
C.C. 1721293007



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Abalco Haro, Cristian Patricio* y *Vásquez Simbaña, Paúl Darío*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas orgánicas y tomate riñon* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, Junio del 2018

Firma

Firma

Abalco Cristian
C.C. 1717743783

Vásquez Paúl
C.C. 1721293007

DEDICATORIA

A mis padres quienes me apoyaron y siempre creyeron en mí, para lograr esta meta en mi vida.

Cristian

DEDICATORIA

A mi madre Mercedes

Por siempre estar pendiente con sus rezos y oraciones, por su preocupación, por su amor incondicional.

A mi padre José

Por ser el pilar de la familia, por ser ejemplo de lucha, perseverancia y paciencia, porque a pesar de todo sigue creyendo en mí.

A mi hermano Romel

Por demostrarme que a veces tienes que hacer las cosas que no te gustan solo para disfrutar un segundo de lo que en verdad de apasiona.

Paúl

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres, familiares y amigos que siempre estuvieron a nuestro lado en los momentos difíciles para guiarnos, apoyarnos y un agradecimiento enorme a nuestro director de proyecto de investigación Ing. Víctor Proaño por sus conocimientos, tiempo, paciencia y saber guiarnos profesionalmente durante el desarrollo del proyecto.

Cristian y Paúl

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e Importancia.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivo Específico	4
1.4 Alcance	4
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Introducción.....	7
2.2 Hortalizas.....	8
2.2.1 Horticultura orgánica en el Ecuador.....	9
2.2.2 Tomate	9
2.3 Invernadero	10
2.3.1 Tipos de invernadero	10
2.4 Riego.....	11
2.4.1 Riego por gravedad.....	12
2.4.2 Riego por aspersión	12

2.4.3	Riego por goteo	13
2.4.4	Fertirriego	14
2.5	Ventilación.....	14
2.6	Nebulización.....	17
CAPÍTULO III		18
INGENIERÍA BÁSICA		18
3.1	Introducción.....	18
3.1.1	Requerimientos para la automatización del invernadero.....	18
3.1.2	Situación geográfica	19
3.2	Características climáticas y del entorno.	20
3.2.1	Temperatura.....	20
3.2.2	Elección y descripción del invernadero.....	20
3.3	Ventilación.....	22
3.3.1	Ventilación Pasiva	22
3.3.2	Ventilación Activa.....	23
3.4	Sistema de riego por goteo	24
3.5	Sistema de nebulización	24
3.6	Fertirrigación	26
3.7	Protección y maniobra	27
3.7.1	Corrientes nominales	27
3.7.2	Contactores	28
3.7.3	Relés	28
3.7.4	Conductores, borneras y terminales.....	29
3.7.5	Disyuntores.....	31
3.7.6	Fusible	32
3.7.7	Señalización.....	33
3.8	Sensores	34
3.8.1	Sensor de humedad y temperatura.....	35
3.8.2	Sensor de humedad del suelo.....	36
3.8.3	Sensor de luz.....	37
3.8.4	Sensor de lluvia.	38

3.8.5	Sensor de Nivel.....	39
3.9	Controlador.....	40
CAPÍTULO IV		42
INGENIERÍA DE DETALLE.....		42
4.1	Diseño del Invernadero.....	42
4.1.1	Sistema de Ventilación	42
4.1.2	Dimensionamiento del sistema de riego y sistema de nebulización.....	43
4.1.3	Sistema eléctrico.....	48
4.2	Diseño del sistema de control.....	51
4.2.1	Condiciones de operación.....	52
4.2.2	Modo manual.....	52
4.2.3	Modo Automático.....	52
4.2.4	Etiquetas de entradas y salidas del PLC	53
4.2.5	Lógica de Programación.....	55
4.2.6	Diseño de la interface HMI	63
4.3	Diagrama P&ID.....	68
4.4	Diagramas.....	69
4.5	Montaje.....	69
4.5.1	Estructura metálica	69
4.5.2	Montaje de sensores.....	71
4.5.3	Instalación del sistema por goteo y nebulizadores	74
4.5.4	Instalación de motores para las cortinas y extractores	75
4.5.5	Montaje de bombas y electroválvulas.	76
4.5.6	Montaje del tablero de control.....	77
4.5.7	Interface HMI	78
CAPÍTULO V.....		80
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....		80
5.1	Conclusiones.....	80
5.2	Trabajos futuros.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Corrientes nominales de los actuadores del invernadero</i>	27
Tabla 2 <i>Clasificación de contactores según su aplicación</i>	28
Tabla 3 <i>Relés estado sólido</i>	30
Tabla 4 <i>Características técnicas del sensor DHT 22</i>	36
Tabla 5 <i>Especificaciones técnicas del sensor de humedad</i>	37
Tabla 6 <i>Características técnicas del sensor inductivo</i>	38
Tabla 7 <i>Especificaciones del sensor de lluvia</i>	39
Tabla 8 <i>Especificaciones del sensor de nivel</i>	39
Tabla 9 <i>Características técnicas del controlador</i>	41
Tabla 10 <i>Caudal líneas de sistema de riego por goteo</i>	45
Tabla 11 <i>Diámetro de tubería sistema de riego</i>	45
Tabla 12 <i>Caudal líneas del sistema de nebulización</i>	46
Tabla 13 <i>Diámetro de tubería sistema de nebulización</i>	46
Tabla 14 <i>Calibre del conductor</i>	51
Tabla 15 <i>Conexión de sensores</i>	54
Tabla 16 <i>Conexión de salidas</i>	54
Tabla 17 <i>Colores del HMI</i>	67
Tabla 18 <i>Tipo de letra</i>	67

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Hortalizas	8
<i>Figura 2.</i> Tomate	9
<i>Figura 3.</i> Riego por inundación.....	12
<i>Figura 4.</i> Riego por aspersión	13
<i>Figura 5.</i> Riego por goteo.....	13
<i>Figura 6.</i> Fertirriego	14
<i>Figura 7.</i> Ventilación activa	15
<i>Figura 8.</i> Ventilación pasiva	15
<i>Figura 9.</i> Sensores de humedad.....	16
<i>Figura 10.</i> Nebulizadores	17
<i>Figura 11.</i> Estructura de un invernadero	18
<i>Figura 12.</i> Ubicación geográfica	19
<i>Figura 13.</i> Temperaturas en Pifo.....	20
<i>Figura 14.</i> Invernadero	21
<i>Figura 15.</i> Tutorio.....	22
<i>Figura 16.</i> Motorreductor	23
<i>Figura 17.</i> Extractor de aire.....	23
<i>Figura 18.</i> Dimensiones del área de cultivo	24
<i>Figura 19.</i> Líneas de riego por goteo	25
<i>Figura 20.</i> Distribución de nebulizadores	25
<i>Figura 21.</i> Líneas de nebulización	26
<i>Figura 22.</i> Tanque de fertirrigación	27
<i>Figura 23.</i> Relés electromecánicos.....	29
<i>Figura 24.</i> Relés estado sólido	29
<i>Figura 25.</i> Borneras	30
<i>Figura 26.</i> Terminales	31
<i>Figura 27.</i> Disyuntor	32
<i>Figura 28.</i> Fusible de cartucho	33
<i>Figura 29.</i> Porta Fusible	33

Figura 30. Luces piloto e interruptores	34
Figura 31. Conexión de sensores	35
Figura 32. Sensor de temperatura y humedad	36
Figura 33. Sensor de humedad del suelo.....	37
Figura 34. Sensor fotorresistencia de luz.	38
Figura 35. Sensor de lluvia.....	38
Figura 36. Sensor de nivel.....	39
Figura 37. PLC. Controllino MAXI Automation.....	40
Figura 38. Fuente 24 Vdc.....	40
Figura 39. Motorreductor	42
Figura 40. Caída de presión manguera de riego A5PC-16mm	47
Figura 41. Información técnica Nebulizador Modelo 4191	48
Figura 42. Diagrama de control	51
Figura 43. Graficet visión general del sistema	55
Figura 44. Graficet Modo manual etapas 1,2 y 3	57
Figura 45. Graficet Modo manual etapas 4 y 5	58
Figura 46. Graficet Modo manual etapas 6 y 7	58
Figura 47. Graficet Modo Automático.....	59
Figura 48. Graficet subrutina Llenado y Llover.....	61
Figura 49. Graficet subrutina Riego y Nebulización.....	62
Figura 50. Graficet subrutina de cortinas	63
Figura 51. Distribución pantalla de inicio.....	64
Figura 52. Distribución pantalla Manual y Automático.....	64
Figura 53. Distribución pantalla de información	65
Figura 54. Distribución pantalla de ayuda	65
Figura 55. Navegación del HMI.....	66
Figura 56. Estructura del invernadero.....	70
Figura 57. Colocación de plástico	70
Figura 58. Invernadero	71
Figura 59. Ubicación sensor de humedad y temperatura ambiente	71

Figura 60. Ubicación sensor humedad de suelo.....	72
Figura 61. Ubicación sensor de lluvia.....	72
Figura 62. Ubicación sensor de luz.....	73
Figura 63. Ubicación del sensor de nivel en el reservorio	73
Figura 64. Ubicación sensor de nivel en el tanque.....	74
Figura 65. Sistema de riego por goteo	74
Figura 66. Sistema de nebulización	75
Figura 67. Ubicación motor para las cortinas	75
Figura 68. Extractores de aire	76
Figura 69. Soporte de bombas y electrovalvulas.	76
Figura 70. Ubicación de bombas y electrovalvulas.	77
Figura 71. Distribución del tablero de control	77
Figura 72. Vista fontral del tablero de control.....	78
Figura 73. Pantalla inicio	78
Figura 74. Modo Manual.....	79

RESUMEN

Las hortalizas de producción orgánica en Ecuador han ganado terreno ya que son cultivos libres de químicos es decir no se ocupan fungicidas, una entidad que apoya este tipo de siembra es CONQUITO mediante el impulso de huertos orgánicos en el distrito metropolitano para lo cual ayudan con asesoramientos para la construcción de invernaderos y para la siembra cultivo hasta su producción, lo cual es una gran ayuda para los beneficiarios, pero pese a esto los huertos orgánicos no cuentan con ningún tipo de perfeccionamiento en su siembra en términos de electrónica es decir en sensar la temperatura o la humedad del suelo y de acuerdo a ello realizar alguna acción sobre la siembra, debido a esto la empresa DAFCON Automation en su interés de atacar el mercado agrícola propone un sistema de automatización para invernaderos que será desarrollado e implementado en el huerto de una beneficiaria de CONQUITO, el invernadero tendrá sistemas de ventilación activa y pasiva, sistema de riego y nebulización, sistema de control para el llenado de agua en el tanque, todo esto se lo realizará mediante un tendido de sensores en el invernadero que ayuda a su monitoreo y a tener un mejor ambiente de crecimiento para las plantas, dicho prototipo fue encargado a los señores egresados de la Universidad de las Fuerzas Armadas previo a su título de ingeniería electrónica en automatización y control.

Palabras Clave

- **TOMATE**
- **INVERNADERO**
- **RIEGO**
- **NEBULIZACIÓN**
- **FERTIRRIGACIÓN**
- **VENTILACIÓN**

ABSTRACT

Organic production vegetables in Ecuador have gained ground that can be used to help that this type of seeds is CONQUITO by means of the impulse of organic orchards in the metropolitan district for which it helps with the murders for the construction of greenhouses and for the sowing , cultivation until its production, which is a great help for the beneficiaries, but in spite of this, the organic orchards do not count on any type of improvement in their property and in terms of electronics that is to say in the measure of temperature and soil moisture and according to this, action must be taken on the company, due to this DAFCON Automation in its interest to attack the agricultural market proposes a general automation system for greenhouses that was developed and implemented in the garden of a beneficiary of CONQUITO, the greenhouse will have active and passive ventilation systems, irrigation system and nebulization, control system water velocity for the tank all this can be done through a system of sensors in the greenhouse that helps monitor and have a better growth environment for plants, this prototype was tasked to the graduates of the Universidad de las Fuerzas Armadas who search their graduate certificate in automation and control engineering.

Keywords

- **TOMOTOE**
- **GREENHUSE**
- **IRRIGATION**
- **FOGGER**
- **FERTIGATION**
- **VENTILATION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los invernaderos para el cultivo de hortalizas y tomate riñón orgánico impulsados por CONQUITO, están orientados a motivar a familias residentes en el distrito metropolitano de Quito, a realizar emprendimientos e incentivar el consumo de alimentos sin fungicidas, de esta manera personas que estén interesadas en estos proyectos tengan una nueva fuente de ingreso. Lamentablemente estos invernaderos no tienen ningún sistema automatizado; lo que hace que la siembra del producto sea artesanalmente más allá de los asesoramientos por los ingenieros agrónomos de CONQUITO que brindan ayuda con capacitaciones técnicas para el cultivo a cada beneficiario.

El Tomate riñón es una planta tipo baya de diferentes colores que van desde el amarillento hasta el rojo, por ser la hortaliza con muchas vitaminas nutricionales, hace que esta sea la más consumida a nivel mundial. Esta baya está presente en climas tropicales y subtropicales. La mayoría de las tomateras están ubicadas en las provincias de Santa Elena, en los valles de Azuay, Imbabura y Carchi. (eldiario, 2017)

El proceso de siembra es el más crítico, ya que requiere contar con una persona que esté siempre al cuidado del crecimiento de la hortaliza o tomate. Debido a esto la empresa DAFCON Automation ha solicitado a los Sres. Cristian Abalco y Sr Paúl Vásquez el diseño e implementación de un sistema automatizado para el riego, control de temperatura y humedad; los

Sres. Cristian Abalco y Paúl Vásquez son egresados de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, los cuales realizarán este proyecto para su titulación como ingenieros.

Un invernadero es una estructura cerrada de un material transparente (plástico o vidrio) cuyo principal funcionamiento es mantener controlada la temperatura y humedad, mejorar el crecimiento de las plantas, protegerla de amenazas externas que afectan el cultivo como son el clima (frio o calor) y de ataques de virus que matan la planta (plagas). Para el cultivo de hortalizas y tomate riñón en el invernadero se necesita tener en cuenta aspectos fundamentales. Primero el sistema de riego que ayuda a mantener con vida a las plantas. Segundo el sistema para el abastecimiento continuo de nutrientes a la planta. Tercero el sistema de control de temperatura y humedad que mantiene un ecosistema controlado en el invernadero capaz de ayudar con el crecimiento de las plantas, todo esto con la finalidad de obtener un mayor rendimiento de los cultivos y una mejor calidad de estos.

El proyecto se lo realizará para una moradora del sector Pifo beneficiaria del programa huertos orgánicos impulsados por CONQUITO, la propietaria del invernadero trabaja en la agricultura de manera artesanal, la misma que solicitó a la empresa DAFCON Automation la implementación y automatización del mismo, por su parte la Empresa DAFCON Automation en su propuesta de entrar en el mercado nacional y competir con empresas de automatización propone un proyecto piloto de invernadero automatizado debido a que en la actualidad los dispositivos o sistemas de automatización para invernaderos que se encuentran en el mercado son de costos demasiado elevados, casi imposible para la implementación en invernaderos de pequeños agricultores.

1.2 Justificación e Importancia

En el Valle de Tumbaco sector que se encuentra dentro del cantón Quito, emprendimientos familiares de invernaderos para el cultivo de hortalizas orgánicas han tomado fuerza para el comercio nacional. Para lo cual los dueños del invernadero deben estar en constante monitoreo manual del mismo, lo que se traduce en una tarea exhaustiva y repetitiva lo que implica tiempo que podría ser invertido en otra actividad que le pueda ayudar a generar más ingresos.

La realización del proyecto busca dar un mejor control a un cultivo de hortalizas y tomate de riñón, reduciendo el desgaste físico y las horas de trabajo que suelen invertir en un invernadero, mejorar el uso y administración de los recursos ocupados para el invernadero tales como el agua y los fertilizantes.

Al tener un control y monitoreo de un invernadero, los emprendimientos pueden incrementar su producción para su venta, fortaleciendo de esta manera los ingresos en las familias. La visión de este proyecto piloto es incursionar en la tecnificación de la agricultura que es un sector que debe mejorar en los próximos años, porque, lamentablemente hasta el momento poco o casi nada se han aplicado sistemas automatizados para monitoreo y control de invernaderos ya sea por falta de conocimiento o por el alto coste. Se debe considerar, que al estar en un país donde la tecnología no es común, ni de fácil acceso para los agricultores, campesinos y personas naturales, el proyecto brindará los beneficios correspondientes para en un futuro dar valor agregado al diseño de nuevos invernaderos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar la automatización de un invernadero para el cultivo de hortalizas orgánicas y tomate riñón en el Barrio la Isla en la Ciudad de Quito sector Pifo.

1.3.2 Objetivo Específico

- Diseñar un control de nivel para mantener un nivel de líquido adecuado y evitar que las bombas funcionen en vacío.
- Implementar un sistema automatizado de regadío por goteo para ahorro y gestión del agua.
- Desarrollar un sistema automatizado para aumentar la humedad relativa de un invernadero y reducir la temperatura, combinado con un sistema de ventilación forzada y nebulizadores.
- Diseñar un sistema de fertirrigación para el abastecimiento continuo de nutrientes a la planta.
- Elaborar una interfaz HMI para visualizar y supervisar el sistema automatizado del invernadero.

1.4 Alcance

El proyecto está orientado a la implementación de un sistema automatizado para el cultivo de hortalizas en un invernadero en el Barrio la Isla sector Pifo perteneciente al Valle de Tumbaco el mismo que forma parte del cantón Quito, el área de cultivo de hortalizas será de alrededor de cincuenta y cinco metros cuadrados.

En el proyecto se investigará sobre el cultivo de hortalizas y sobre los cuidados que este tipo de cultivo debe tener en un invernadero, también se seleccionará los distintos sensores y actuadores que intervienen en el proceso, estos constarán con sus respectivas especificaciones técnicas.

Para el sistema automatizado se desarrollará e implementará los siguientes puntos.

- Control de nivel para evitar que las bombas funcionen en vacío esto garantizará el correcto funcionamiento de las bombas.
- Sistema de riego por goteo el cual será activado por medio de electroválvulas para la mejor administración del recurso hídrico en este caso el agua, de acuerdo con las necesidades del cultivo.
- Implementar un sistema para reducir la temperatura, evitando altas temperaturas durante el día, este sistema constará de aspersores ubicados en el techo del invernadero, el sistema será activado de acuerdo con la lógica de control implementada.
- Control de humedad constará de nebulizadores ubicados en la parte superior del invernadero, estos serán los encargados de aumentar la humedad relativa.
- Desarrollo de una interfaz HMI en la cual el usuario sea capaz de visualizar y supervisar la temperatura, humedad, ventilación, estado de bombas electroválvulas, la interfaz debe ser intuitiva y amigable con el usuario.
- Implementar un sistema de fertirrigación para el abastecimiento continuo de nutrientes a la planta.

Para el desarrollo del proyecto se utilizará un controlador lógico programable (PLC) Controllino de código abierto, como una nueva alternativa para la automatización y con la

finalidad de reducir costos, para esto se investigará sobre el manejo del (PLC) Controllino y las facilidades que este brinde para la automatización.

Como parte importante en el desarrollo del proyecto se realizarán los respectivos diagramas de conexiones, diagramas P&ID y diagramas de flujo del proceso a automatizarse.

Por último, se implementará un tablero de control y se realizarán pruebas para verificar el correcto funcionamiento de todo el sistema automático para el invernadero, además de la redacción de un manual de usuario donde se detallarán las instrucciones para el correcto manejo del sistema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

En la actualidad la agricultura en el Valle de Tumbaco sector Pifo se encuentra en un nivel muy pobre en el ámbito de la automatización, ya sea por la falta de interés de las autoridades en impulsar la electrónica aplicándola a la agricultura o por el alto costo de los dispositivos electrónicos los cuales resulta como un gasto excesivo para el pequeño y mediano productor agrícola, el mismo que lo hace dejar de lado estas tecnologías que si bien es cierto no son nuevas a nivel mundial, pero podrían tener una buena acogida por los agricultores al hacerles conocer las facilidades y ventajas de los sistemas automatizados.

En la actualidad existe una gran cantidad de controladores en hardware propietario y hardware libre para este proyecto se propone la utilización de un hardware libre (open source) basado en la tecnología Arduino, llamado Controllino, el cual es un PLC desarrollado para realizar los proyectos electrónicos de gran envergadura e industriales a un bajo costo.

La siembra de cultivos dentro de un invernadero ha ganado terreno debido a la siembra productos orgánicos que son impulsados por CONQUITO, dichos invernaderos no cuentan con ninguna clase de tecnificación para realizar el riego o control de temperatura.

Este proyecto pretende dar solución a diferentes problemas reales en la agricultura por medio la automatización, nuestra propuesta está enfocada en la implementación de tecnología para realizar trabajos tradicionales de esta manera cumplir las tres dimensiones de desarrollo sostenible que son:

- Economía
- Medioambiente
- Sociedad

Uno de los más grandes problemas que sufre la sociedad ecuatoriana es la falta de producción tecnificada en los campos agrícolas, y debido a la falta de apoyo económico por parte de las autoridades competentes y de recursos para la producción, es que se opta por la construcción de invernaderos, este es un sendero a la solución.

2.2 Hortalizas

Las hortalizas y verduras son apropiadas para el consumo humano, están ubicadas en el segundo peldaño de la pirámide de alimentación a la par con las frutas, estas son cultivadas en huertas e invernaderos y se las puede consumir crudas o cocinadas, están compuestas en su mayor parte de un ochenta por ciento de agua además de glúcidos, lípidos y proteínas son ideal para el consumo diario en cada comida. (Definición ABC, 2018)



Figura 1. Hortalizas

Fuente: (Hortalizas, 2018)

2.2.1 Horticultura orgánica en el Ecuador

El cultivo y consumo de hortalizas en el Ecuador en los últimos ha tenido un aumento. Esto se debe a que los hábitos alimenticios de la población han cambiado. Los consumidores cada vez se preocupan más por su salud, lo que se traduce en cultivos de mejor calidad y libres de fungicidas que afecten la salud de las personas. (Zúñiga, 2014).

La producción y cultivo de hortalizas orgánicas si bien no ha tenido un aumento significativo ha tenido un aumento constante, esto se debe a que los grandes productores agrícolas acaparan todo el mercado reduciendo costos y siendo una competencia desigual para los pequeños productores. (Aumenta producción y consumo de hortalizas, 2016).

2.2.2 Tomate

El tomate es una planta tipo baya originaria de América. Está entre los vegetales de mayor consumo a nivel mundial debido a su buen sabor y gran aporte de vitaminas A y C. En el Ecuador la mayor producción de cultivo de tomate riñón bajo invernadero se centra en la región Sierra Central con un aporte de un 60% al consumo nacional, esto es debido a su clima cálido-templado.



Figura 2. Tomate

Fuente: (Riera, 2011)

2.3 Invernadero

Un invernadero es una estructura cerrada cubierta de un material transparente que es capaz de proteger al cultivo de las plagas, brindar un entorno favorable para el crecimiento de la planta.

Para la construcción de los invernaderos se deben tener en cuenta diferentes factores que van a influir en su durabilidad.

- Factor económico.
- Requerimientos climáticos de los cultivos
- Dirección del viento: se debe tener en cuenta de donde provienen los vientos dominantes y su velocidad.
- Suelo: un buen drenaje es fundamental para la ubicación del invernadero
- Topografía: las pendientes bajas.
- Factor humano para la mano de obra
- Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero.

2.3.1 Tipos de invernadero

Existe gran variedad de invernaderos que se diferencian en su estructura, pero a la final van a cumplir con el mismo objetivo que es brindar una protección a las plantas de las malas condiciones climatológicas. A continuación, se muestra una clasificación de los diferentes tipos de invernaderos.

Por su rango de temperaturas

- Invernaderos fríos

- Invernaderos templados
- Invernaderos cálidos

Por su material de cubierta

- Invernaderos de vidrio.
- Invernadero con materiales plásticos.

Por su estructura

- Invernaderos de madera.
- Invernaderos de acero.
- Invernaderos de hormigón.
- Invernaderos de Aluminio.
- Invernaderos Mixtos (hormigón y acero o madera y acero).

Por su forma

- Invernadero gótico.
- Invernadero parral.
- Invernadero asimétrico o tropical.
- Invernadero de capilla.
- Invernadero de cristal o tipo venlo.
- Invernaderos túnel. (Agrícolas, 2018)

2.4 Riego

El riego es muy importante en la explotación agrícola siendo así un factor de productividad de cultivos. Se puede definir como la intervención humana para cambiar la distribución del

recurso hídrico dependiendo de las necesidades del cultivo. En el riego se distinguen tres factores importantes como son: la fuente de agua, la distribución y la aplicación en las diferentes plantaciones (Cid, 2012). Se distinguen diferentes tipos de riego los cuales se resumen a continuación.

2.4.1 Riego por gravedad

El riego por gravedad es muchas veces denominado riego por inundación o riego de superficie, debido a que la distribución se la hace a través de canales o comúnmente denominadas acequias. Estas se encuentran distribuidas a lo largo del cultivo.



Figura 3. Riego por inundación

Fuente: (Sistema agrícola, 2018)

2.4.2 Riego por aspersión

El riego por aspersión consiste en conducir el agua a través de tubería y descargarla por medio de dispositivos llamados de emisión o descarga. La forma de distribución de las gotas de agua es en forma de una lluvia más o menos intensa pero homogénea, este tipo de riego es recomendado en zonas donde el viento no supere los 15km/h, existe varios tipos de riego por

aspersión dependiendo del tipo de cultivo y su distribución, estos pueden ser móviles, fijos y autopropulsados (Tarjuelo, 2005).



Figura 4. Riego por aspersión

Fuente: (Sistema agrícola, 2018)

2.4.3 Riego por goteo

El riego por goteo consiste en llevar el agua a través de una red de tuberías de PVC o polietileno de estructura rígida o flexible ideal para zonas áridas y para riego localizado ya que la gota cae directamente a la raíz de la planta. Una de las ventajas que este tipo de riego ofrece es que permite la correcta distribución y administración del agua. El riego puede aplicarse de dos a tres veces al día dependiendo del requerimiento de agua de las plantas (Mendoza, 2013).



Figura 5. Riego por goteo

Fuente: (Sistema agrícola, 2018)

2.4.4 Fertirriego

El fertirriego es una técnica de altísima utilidad desarrollada en el último siglo, su objetivo final es mejorar la producción del cultivo, aplicando nutrientes mediante los sistemas de riego o aspersión que se tengan instalados, otra ventaja de fertirriego es que se reduce problemas de contaminación ya que solo se aplica la dosis recomendada al cultivo. (Inta, 2018)



Figura 6. Fertirriego

Fuente: (agricola, 2018)

2.5 Ventilación

Ventilación activa y pasiva, la primera hace referencia al uso de un sistema de ventilación que ayudan a renovar el aire dentro del invernadero y la segunda es la apertura manual de las cortinas cenitales y laterales y no usa ningún elemento externo que ayude a recircular el aire. En este proyecto se realizará la ventilación activa para dar un mejor entorno en el crecimiento de la planta.



Figura 7. Ventilación activa

Fuente: (Agrícolas, 2018)

Al tener un movimiento de aire equitativo en todo el invernadero se tiene un buen crecimiento de las plantas, por otro lado, si no existe una correcta ventilación en el cultivo tendrá diferentes rangos de temperatura y humedad en el invernadero, lo cual será reflejado en una baja producción.



Figura 8. Ventilación pasiva

Fuente: (Agrícolas, 2018)

La razón fundamental de renovar el aire dentro del invernadero es de mantener condiciones medioambientales estables en el invernadero, es decir, si en el interior del invernadero la temperatura está a 40 C y en el exterior se tiene unos 30 C, con la ventilación se puede hacer descender la temperatura hasta llegar a una temperatura cercana, lo ideal es hacer por lo menos 30 renovaciones de aire en una hora. La ventilación influye directamente sobre:

La temperatura: al estar en un lugar cerrado ya sea de vidrio o de plástico, la temperatura en el interior es de suponer que es superior a la que se tiene en el exterior, por lo que al hacer recircular el aire la temperatura tiende a bajar, consiguiendo un efecto positivo en el cultivo.

La humedad: al igual que en la temperatura, en el interior de invernadero tendremos que la humedad absoluta en general, siempre será mayor que la que se tiene en el exterior, esto es resultado de que en el interior existe una gran densidad de planta que suelen tener bastante masa follor y debido a su transpiración elevan la humedad del invernadero. Humidificación

Con ayuda de los diferentes sensores como muestra en la **Figura 9**, la agricultura ha sido beneficiada ya que estos entregan información importante para realizar una correcta gestión de los diferentes recursos que serán aplicados a la siembra o al suelo directa o indirectamente.



Figura 9. Sensores de humedad

Fuente: (agriculturers, 2018)

Por ejemplo, con los datos que entrega los sensores de humedad se puede deducir cada cuánto tiempo se necesita hacer aplicaciones de riego, o a su vez después de que haya llovido saber si es necesario volver a regar. Esto se hace mediante la lectura de los sensores por medio de un PLC o controladores que automáticamente pueden activar o desactivar válvulas y bombas.

También tenemos los sensores de humedad ambiente los cuales son de gran ayuda en los primeros días de crecimiento de la planta, ya que estas necesitan de alta humedad la misma que no la pueden generar por ser pequeñas y necesitan realizarse por medio de nebulizaciones de esta manera tener humedad favorable para el cultivo, después cuando la planta haya alcanzado su madurez se puede dejar de hacer nebulizaciones ya que la misma planta genera su propia humedad.

2.6 Nebulización

La nebulización es la evaporación de una gota de agua mediante difusores figura 10 ubicados en el invernadero a una altura de 2 metros, al realizar este proceso de nebulización se tiene como resultado disminución de temperatura y aumento de la humedad relativa, esto favorece a la planta cuando en etapa de crecimiento y se verá reflejado en mayor producción cuando la planta haya alcanzado su madurez.



Figura 10. Nebulizadores

Fuente: (agricola, 2018)

Al tener en un invernadero altas temperaturas y humedad relativa baja, la planta produce una excesiva evapotranspiración y presenta estrés hídrico, estos problemas causan en la planta pobre fotosíntesis lo cuál con lleva a una marchitez en las hojas y provoca una parada en crecimiento de la planta dando como resultado baja producción.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA BÁSICA

3.1 Introducción

Un invernadero es una estructura cerrada, cubierta de un material transparente que es capaz de proteger al cultivo de las plagas y brindar un entorno favorable para el crecimiento de la planta. La *Figura 11* muestra la estructura con los componentes de un invernadero. Para la automatización del invernadero se utilizará un PLC, que se encargará de controlar temperatura y humedad lo que permitirá brindar un mejor entorno de crecimiento para las plantas. A continuación, se hace una revisión general de la información que se considerará para la automatización del invernadero.

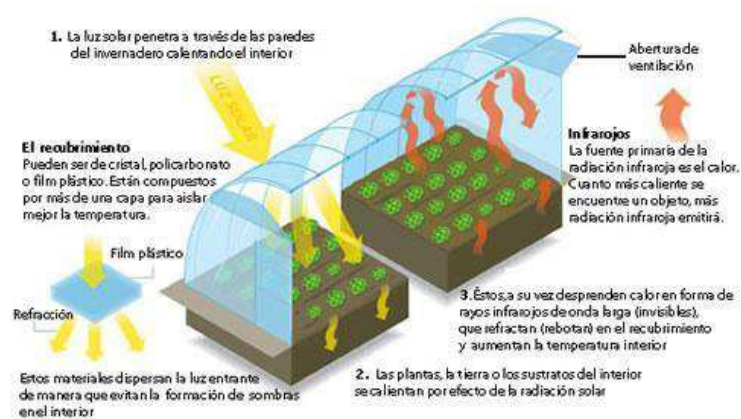


Figura 11. Estructura de un invernadero
(Arquigrafico, 2018)

3.1.1 Requerimientos para la automatización del invernadero

Para automatizar el invernadero se consideran los siguientes aspectos:

- Sistema de ventilación.

- Sistema de riego por goteo.
- Sistema de nebulización.
- Sistema de Fertiirrigación.
- Sistema de control de temperatura.
- Sistema eléctrico.
- Sistema Control de nivel de agua.
- Interface HMI.

3.1.2 Situación geográfica

Ubicado al noroeste de la ciudad de Quito se encuentra el valle de Tumbaco al que le pertenecen varias parroquias. Entre las más conocidas por el trabajo agrícola tenemos a la parroquia de Pifo la misma que tiene diferentes comunidades entre ellas localizada a 5 Km sobre la E35 se encuentra el Barrio la Isla como se muestra en la **Figura 12**. Dicho lugar esta favorecido con abundante agua por parte del canal de riego Pisque y el canal de riego la Merced, lo cual ayuda enormemente para explotar el suelo mediante la agricultura. El lugar es privilegiado al tener un suelo arenoso-arcilloso bueno para cultivo, además que tiene comunicación con las principales vías de transporte para la movilización del producto.



Figura 12. Ubicación geográfica

Fuente: Google maps

3.2 Características climáticas y del entorno.

En este apartado se realiza una revisión de las características generales del clima en el sector de Pifo lugar de construcción del invernadero, de esta manera se determina las necesidades generales para la automatización del invernadero.

3.2.1 Temperatura.

Abril es el mes más cálido del año, la temperatura en abril en promedio es de 15.6 ° C. El mes más frío del año es junio con 14.9 °C (Climate-Data, 2017). Estos datos entregan una apreciación del clima, en la que se puede concluir que en ningún caso la temperatura baja de 0 C, la temperatura media está entre los 15°C. Esto es muy favorable para el crecimiento y producción de cualquier hortaliza. Por su lado la humedad juega un papel importante ya que oscila entre 40% y 80% que también favorece al buen crecimiento de las plantas en su etapa de crecimiento, la humedad será un factor a controlar cuando la planta ya este grande y genere su propia humedad.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	15.5	15.3	15.4	15.6	15.5	14.9	14.9	15.1	15.5	15.4	15.2	15.4
Temperatura mín. (°C)	8.5	8.4	8.7	9.1	8.6	7.7	7.3	7.3	7.8	8.3	8.3	8.2
Temperatura máx. (°C)	22.5	22.2	22.2	22.1	22.4	22.2	22.6	23	23.2	22.6	22.2	22.6

Figura 13. Temperaturas en Pifo

Fuente: (Climate-Data, 2017)

3.2.2 Elección y descripción del invernadero

Para la construcción del invernadero se deben considerar los siguientes aspectos:

Suelo: Se tiene un suelo arcilloso-arenoso con buen drenaje y suficientes recursos hídricos.

Topografía: Presenta una ligera pendiente lo cual en general no es un problema para construir una estructura.

Vientos: Teniendo en cuenta que los vientos predominantes provienen del Norte y del Sureste esto indica que se puede construir el invernadero con dirección al norte de tal manera que aprovechen las corrientes de aire que provienen del mismo (Subestación el Inga, 2009).

Estructura: el invernadero tiene una estructura metálica con cimientos de hormigón, el material de recubrimiento de la estructura es plástico, el invernadero es de tipo túnel como se muestra en la *Figura 14*.

Los elementos con los que está construido el invernadero asegura una durabilidad de mínimo 7 años, estos invernaderos son los más elegidos por su gran resistencia a los vientos fuertes y son de rápida construcción ya que la estructura metálica es prefabricada.

Las medidas de la nave que es el área del invernadero dónde se va a cultivar es de:

- Longitud: 9 metros
- Ancho: 6 metros
- Altura: 4 metros



Figura 14. Invernadero

Se debe tener una estructura de madera dentro del invernadero para realizar el tutoreo *Figura 15* que son alambres tendidos sobre 2.0m de altura que permiten que el tomate crezca como enredadera.



Figura 15. Tutores

3.3 Ventilación

El trabajo de la ventilación en general se puede decir que es el intercambio de aire caliente del interior con el aire frío del exterior del invernadero controlando la humedad y temperatura. Dos son los sistemas de ventilación que pueden adoptarse: Ventilación Natural o Pasiva y Ventilación Mecánica o Activa. El objetivo común de los dos sistemas es el establecer renovaciones de aire de al menos 30 renovaciones por hora.

3.3.1 Ventilación Pasiva

El invernadero cuenta con dos ventanas laterales de 9 metros de largo por 1.5 metros de alto, que ayudan en el intercambio de aire. Las ventanas se levantarán automáticamente en las mañanas y se cerrarán por la tarde el levantamiento de las cortinas se lo hará mediante el uso de motorreductores *Figura 16*. Los sensores de lluvia harán que se cierren automáticamente cuando

comience a llover esto se hace para evitar que las plantas se mojen y como consecuencia de esto se enfermen por alguna bacteria. Esta ventilación en un invernadero es de gran ayuda para la ventilación activa ya que genera entre 15 a 20 renovaciones por hora.



Figura 16. Motorreductor

3.3.2 Ventilación Activa

En la ventilación activa se hará uso de extractores **figura 17** cuyo trabajo es aspirar el aire dentro del invernadero hacia el exterior para mejorar la recirculación de aire. En un invernadero se debe considerar que no hay una norma que contemple las renovaciones precisas, pero se recomienda que tenga al menos 30 renovaciones por hora.



Figura 17. Extractor de aire

Fuente: (Broan, 2018)

3.4 Sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo se lo dimensionará de acuerdo con la disposición de camas para cultivo en el invernadero. Para realizar el cultivo se ha tomado en cuenta la recomendación del ingeniero agrónomo. Cada planta debe estar ubicada a 30 centímetros una de otra. Por esta razón se han destinado 6 camas con capacidad de 26 plantas cada una, la separación entre camas es de 46 centímetros y 47 centímetros en el borde como se muestra en la *Figura 18*.

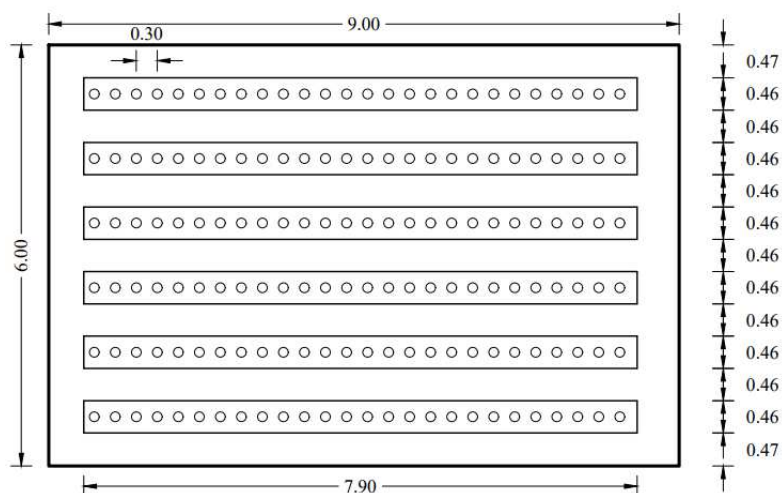


Figura 18. Dimensiones del área de cultivo

Para el sistema de riego por goteo se ha dispuesto de una línea principal de 6 metros que distribuirá el agua a las 6 líneas secundarias de riego. Las líneas secundarias de riego tienen una dimensión de 8.25 metros de longitud y la separación entre cada línea secundaria es de 92 centímetros como se muestra en la *Figura 19*.

3.5 Sistema de nebulización

El dimensionamiento del sistema de nebulización se lo realizara acuerdo con las dimensiones de toda el área de cultivo en el invernadero. Se ha tomado en cuenta la sugerencia de técnicos agrícolas, agricultores y catálogos que recomiendan que los nebulizadores deben estar ubicados a

una distancia entre 1.5 metros uno de otro y a 0.75 metros de cada borde como se muestra en la

Figura 20.

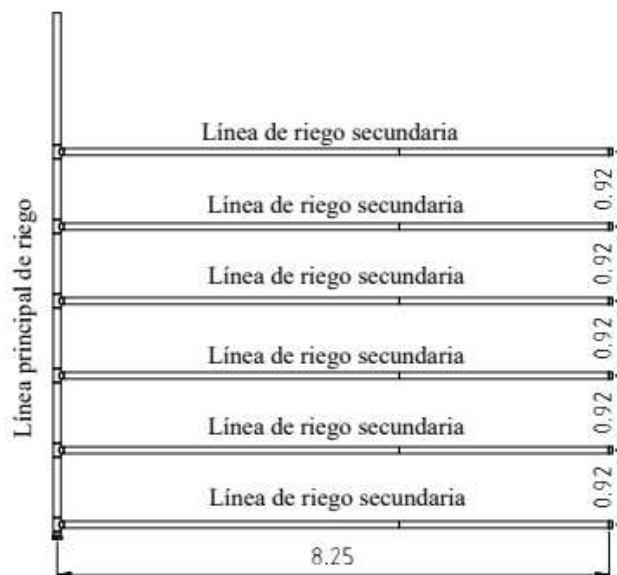


Figura 19. Líneas de riego por goteo

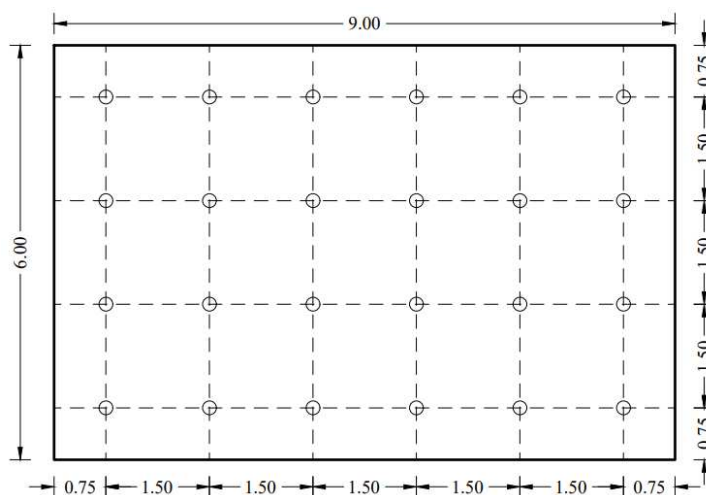


Figura 20. Distribución de nebulizadores

De manera similar a la sección sistema de riego por goteo, el sistema debe contar con una línea principal y varias líneas secundarias como se muestra en la **Figura 21**. Estas líneas de

nebulización deben ir sobre el cultivo a una altura entre 1.5 metros y 2.5 metros dependiendo de las especificaciones del nebulizador. Se recomienda también tomar en consideración que el radio de acción del nebulizador no se superponga uno a otro con la finalidad de evitar gotas que puedan dañar el cultivo.

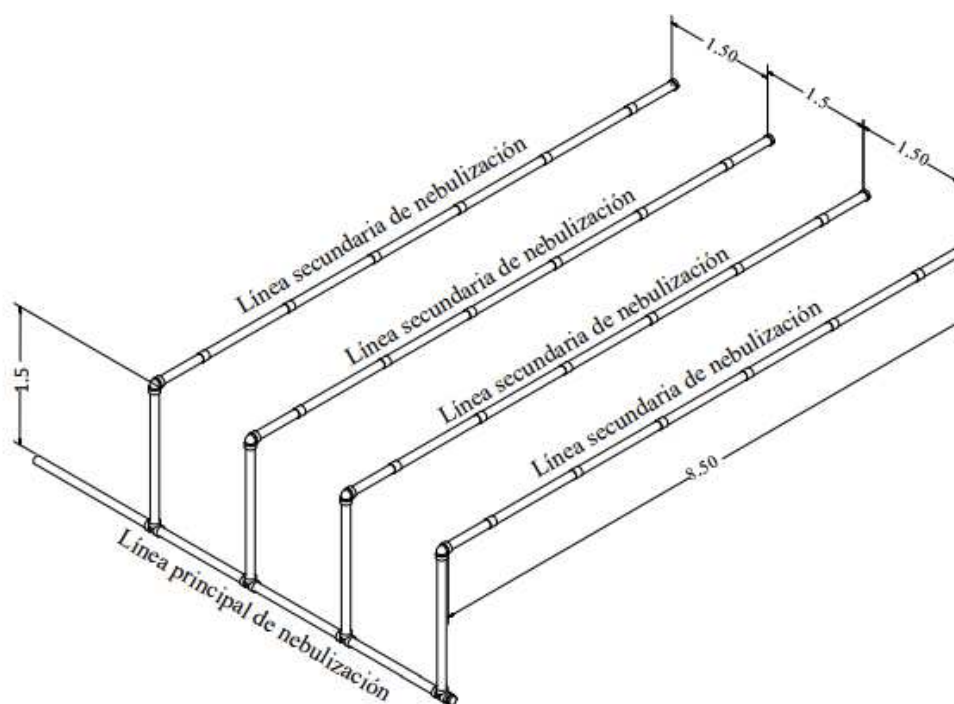


Figura 21. Líneas de nebulización

3.6 Fertirrigación

Este sistema funcionará en paralelo con la nebulización y el riego para abastecer de nutrientes a la planta por medio del riego para fortalecer las raíces y mejorar su crecimiento, mientras que al realizar una fertirrigación por medio de los nebulizadores no solo se le puede aplicar nutrientes para la planta, sino que también se puede aplicar anti-plagas.



Figura 22. Tanque de fertirrigación

Fuente: (Inta, 2018)

3.7 Protección y maniobra

Los requisitos mínimos para protección y maniobra de bombas en baja tensión son:

Elementos que garanticen el seccionamiento.

Protección automática contra corto circuito.

Un dispositivo de maniobra.

Una protección contra sobrecarga.

3.7.1 Corrientes nominales

Para el dimensionamiento de las protecciones se debe conocer las corrientes nominales de los actuadores. En la tabla 1 se muestra el valor de la corriente nominal de cada actuador que se obtienen de las placas.

Tabla 1

Corrientes nominales de los actuadores del invernadero

	Bombas	extractores
Corriente Nominal (In)	3.3 A	0.36 A

3.7.2 Contactores

Son dispositivos electromecánicos que permiten el paso o la interrupción de la corriente eléctrica, pueden ser usados tanto en el circuito de potencia como en el circuito de mando dependiendo de su aplicación y categoría de servicio. Entre sus ventajas destacan que pueden ser accionados a distancia y proporcionan un aislamiento eléctrico entre lo que es la etapa de potencia y la etapa de control. En la **Tabla 2** se resumen una clasificación de los contactores dependiendo de su aplicación.

Tabla 2

Clasificación de contactores según su aplicación

Categoría de servicio	Aplicación	Factor de potencia
AC1	Cargas puramente resistivas para iluminación o calefacción eléctrica.	0.95
AC2	Motores asíncronos mezcladoras, bombas centrífugas.	0.65
AC3	Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado.	0.35
AC4	Motores asíncronos para grúas, ascensores	0.35

Fuente: (ProfesorMolina, 2018)

3.7.3 Relés

Son conmutadores que sirven para controlar actuadores que consuman alta potencia, tienen un aislamiento entre los terminales de entrada y salida, con dos posiciones de trabajo: estado abierto con alta impedancia y estado cerrado con baja impedancia existen diferentes tipos de relés entre ellos tenemos:

- Relés electromecánicos está formado por una bobina y contactos los cuales conmutan corriente continua o alterna.



Figura 23. Relés electromecánicos

Fuente: (Chapiurco, 2017)

- Relés en estado sólido estos poseen un circuito electrónico que se dispara por nivel.








Figura 24. Relés estado sólido

Fuente: (Automatizado, 2018)

3.7.4 Conductores, borneras y terminales

El conductor es un material que permite el paso de la corriente eléctrica, básicamente se tiene dos tipos: multifilar y unifilar también llamado hilo. Los cuales siempre deben tener un aislante protector. La norma IEC 60204-1 para la distribución de cableado en un tablero de control estipula la utilización de los colores que se resumen en la **Tabla 3**.

Tabla 3
Relés estado sólido

Color	Aplicación	Gráfico
Verde o amarillo	Conductor de tierra	
Blanco o Celeste	Conductor Neutro	
Negro	Conductor mando de potencia	
Rojo	Conductor mando C. continua	
Azul	Conductor mando C. alterna	

Los borneras son de gran utilidad para realizar conexiones o puentes dentro del tablero, existen en diferentes colores y diferentes modelos por lo cual lo más importante para el tablero en construcción será que tengan acople para Riel DIN, y soporten un amperaje adecuado.



Figura 25. Borneras

Fuente: (Estec, 2018)

Es de suma importancia utilizar terminales para realizar conexiones firmes dentro del tablero industrial, ya que por tener un mal contacto entre cables conlleva a tener un calentamiento en el conductor y producir fallas o inclusive un incendio.

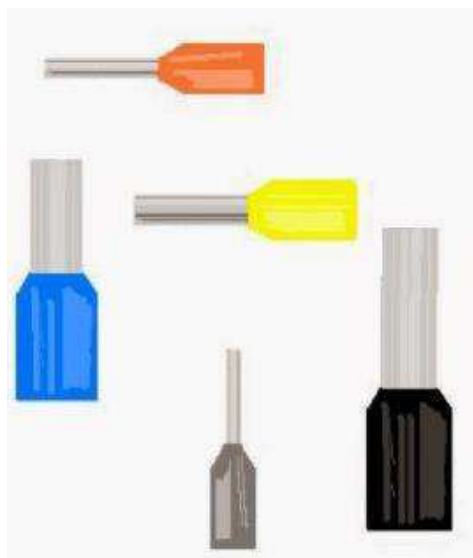


Figura 26. Terminales

Fuente: (coparoman, 2018)

3.7.5 Disyuntores

Es un sistema de protección provisto de un mando manual y su función es limitar e interrumpir la corriente en caso de cortocircuito a través de disparadores magnéticos. Los parámetros importantes de un disyuntor son los siguientes:

- Corriente de trabajo para la cual está diseñado el dispositivo.
- Tensión de trabajo para el cual está diseñado.
- Poder de corte que es la corriente máxima que puede interrumpir.
- Número de polos número máximo de conductores que se pueden conectar.



Figura 27. Disyuntor

Fuente: (Chint, 2018)

3.7.6 Fusible

El fusible es un dispositivo de protección para cargas, mismo que posee internamente un delgado filamento que se romperá al tener un recalentamiento sobre el filamento producido por un corto circuito, se tiene variedad de tipos de fusibles (Unicrom, 2018), pero la finalidad es la misma:

- Fusible desnudo
- Fusible encapsulado de vidrio.
- Fusible de tapón enroscable.
- Fusible de cartucho.

Para el presente proyecto se usa el fusible tipo cartucho **Figura 28**, que tiene una base de material aislante mismo que es utilizado en instalaciones industriales y tableros de distribución de domicilios, además puede colocarse en una porta fusible **Figura 29** que es de acople rápido al Riel DIN.



Figura 28. Fusible de cartucho

Fuente: (Industry, 2018)



Figura 29. Porta Fusible

Fuente: (Industry, 2018)

3.7.7 Señalización

Al tener una interface HMI se disminuye una gran cantidad de botoneras y luces piloto, pero cabe indicar que siempre se deben tener algún tipo de señalización sonora, por tal motivo se cuenta con dos luces piloto una será color verde que indicaran que el sistema esta energizado, y otra de color rojo que además genera sonido, la cual se activará si se tiene alguna falla en el sistema y el paro de emergencia.



Figura 30. Luces piloto e interruptores

Fuente: (Omron, 2007)

3.8 Sensores

Para el invernadero se usan cinco sensores que indican el estado del invernadero y ayudan a tener el control, mostrarán cambios climáticos alertando de eventualidades de lluvia que puede dañar el cultivo. Un sensor capacitivo que es utiliza para la humedad ambiente mientras que un termistor es para la temperatura ambiente, para detectar la humedad del suelo se utiliza una sonda que está bajo suelo la cual indica si se necesita aplicar riego.

Dos sensores están ubicados en el exterior del invernadero para notificar de cambio de clima, el más importante es el sensor de lluvia que indica la presencia de agua y hace que las cortinas se cierren automáticamente para la protección de las plantas. Otro sensor de luz también está ubicado en el exterior para determinar la apertura de las ventanas en la mañana cuando haya presencia de luz y en la tarde cuando ya no haya presencia de luz para cerrar las cortinas esto se lo hace como parte de asegurar la apertura o cierre de las cortinas ya que estas están regidas por

la temperatura. Para el control de nivel del tanque se usan sensores de tipo flotador que detectan si el tanque está lleno o vacío dependiendo del caso se activarán bombas y electroválvulas.

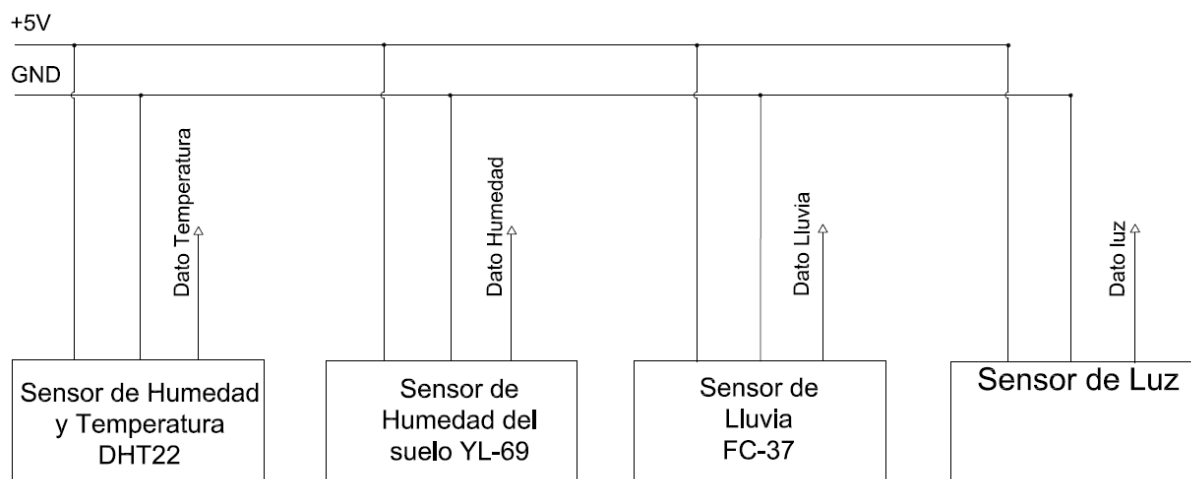


Figura 31. Conexión de sensores

3.8.1 Sensor de humedad y temperatura.

Este dispositivo está ubicado en el interior del invernadero. Básicamente contiene dos sensores encapsulados en uno solo, para sensar la temperatura hace uso de un termistor el cual tarda menos de 10 segundos en reflejar un cambio en el invernadero, este es un valor aceptable. Para la humedad ambiente se lo hace por medio de un sensor capacitivo el cual refleja cambios reales en menos de 5 segundos de igual manera es un tiempo prudente ya que los cambios de humedad no son tan bruscos (electroniclub, 2017). En la siguiente **Tabla 4** se muestra las especificaciones del sensor utilizado.

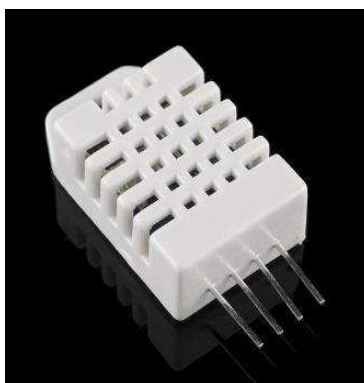


Figura 32. Sensor de temperatura y humedad

Tabla 4

Características técnicas del sensor DHT 22

Especificaciones del sensor DHT 22	
Tensión de alimentación	$3.3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 5 \text{ Vdc}$
Rango de medición	Temperatura $-40^{\circ} \text{ C a } 80^{\circ} \text{ C}$
	Humedad 0 a 99.9% RH
Precisión de medición	Temperatura $< \pm 0,5^{\circ} \text{ C}$
	Humedad 2 % RH
Resolución	Temperatura $0,1^{\circ} \text{ C}$
	Humedad 2s

3.8.2 Sensor de humedad del suelo

El sensor de humedad es una sonda (higrómetro) que va bajo tierra a unos 10 cm el cual sirve para realizar el control de humedad del suelo. La lectura del sensor es sencilla de manejar ya que entrega una tensión análoga dependiendo de la humedad que haya en el suelo, así se puede saber si el suelo está seco, húmedo o se tiene un exceso de agua lo cual indicaría que se está gastando más recursos de lo normal. Cabe indicar que las puntas del sensor están cubiertas de un laminado de cobre para resistir mejor la oxidación y alargar su vida útil. (myrobotself, 2017) En la **Tabla 5** se presentan las características del sensor.

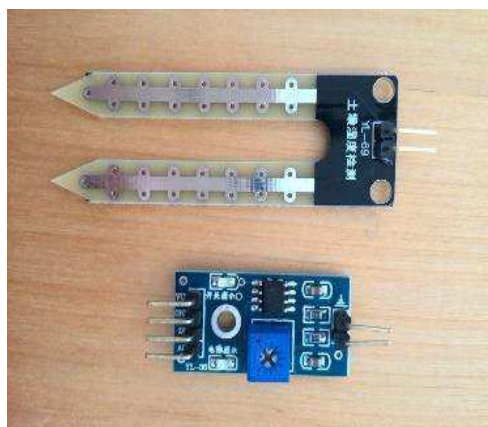


Figura 33. Sensor de humedad del suelo

Tabla 5

Especificaciones técnicas del sensor de humedad

Características del sensor YL 69	
Tensión de alimentación	$3.3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 5 \text{ Vdc}$
Voltaje de salida A0	$0 \sim 4,2 \text{ V}$
Salida digital D0	0 and 1
Corriente	32 Ma

3.8.3 Sensor de luz

EL sensor de luz es una fotorresistencia **Figura 34**, (LDR, resistencia dependiente de la luz) la cual tiene una resistencia que cambia dependiendo de la luz que reciba. Mediante esta variación podremos estimar el nivel de luz, para que en las mañanas al tener los primeros rayos de sol las cortinas se abran automáticamente y en la tarde cuando ya no se tenga iluminación entonces las cortinas se cierran, este sensor es ideal para este proyecto ya que no necesitamos hacer una medición precisa de iluminación. En la siguiente tabla se muestra las especificaciones del sensor.

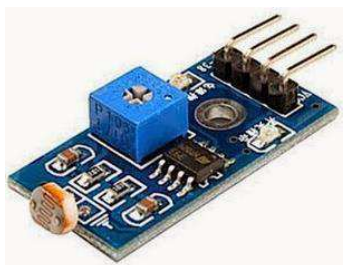


Figura 34. Sensor fotorresistencia de luz.

Tabla 6

Características técnicas del sensor inductivo

Características del sensor de luz	
Tensión de alimentación	$3.3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 5 \text{ Vdc}$
Sensibilidad	Ajustable
Salida D0	Digital

3.8.4 Sensor de lluvia.

Este sensor detecta presencia de lluvia. Cuando gotas de agua entran en contacto con las dos pistas conductoras entrelazadas entonces se tendrá una variación de conductividad entre ellas y esta información muestra presencia o no de lluvia. De esta manera podemos activar el cierre automático de las cortinas. Este sensor es bastante práctico para el proyecto ya que lo único que se necesita es saber si está lloviendo para cerrar las cortinas. La **Tabla 7** indica sus características.

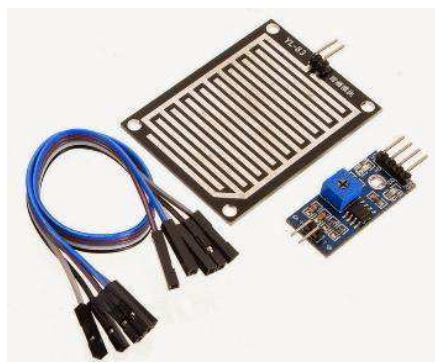


Figura 35. Sensor de lluvia

Tabla 7*Especificaciones del sensor de lluvia*

Características del sensor de lluvia	
Tensión de alimentación	$3.3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 5 \text{ Vdc}$
Sensibilidad	Ajustable
Salida D0	Digital

3.8.5 Sensor de Nivel

El sensor de nivel de tipo flotador **Figura 36**, es usado para el control de llenado del tanque, ya que siempre deberán estar con agua para que las bombas puedan trabajar y no funcionen en vacío, las especificaciones del sensor se encuentran en la **Tabla 8**.

**Figura 36.** Sensor de nivel**Tabla 8***Especificaciones del sensor de nivel*

Características del sensor de nivel	
Max. capacidad de contactos	70 W
Max. voltaje de operación	100 Vdc
Max. corriente de operación	0.5 A
Temp. de funcionamiento	$-10^{\circ} \text{ C a } 80^{\circ} \text{ C}$
Contactos	(NA) - (NC)

3.9 Controlador

Como parte principal del sistema de control se tiene un PLC el cual será el cerebro del sistema centralizado, al trabajar con este PLC industrial de software libre se tiene una enorme ayuda ya que cuenta con varias entradas y salidas para realizar lecturas de sensores y activación de actuadores. PLC Controllino MAXI Automation *Figura 37* es un controlador suficiente y aceptable para el proyecto, este PLC está basado en un Arduino Mega, es compacto y pequeño. Las características se presentan en la **Tabla 9**. (Controllino, 2017) , el PLC trabaja con 24Vdc por lo cual es necesario usar una fuente externa *Figura 38*.



Figura 37. PLC. Controllino MAXI Automation

Fuente: (Controllino, 2017)



Figura 38. Fuente 24 Vdc

Tabla 9
Características técnicas del controlador

Características Controllino MAXI Automation	
Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de alimentación	24 Vdc
Max corriente	20 Amp.
Entradas	12 análogas/digital 0 - 24 V
Entrada	2 análogas 0 - 10 V
Entrada	6 digitales
Salidas	8 digitales 2A (PWM)
Salidas	2 análogas 0-10V (0-20mA)
Salidas	10 relés 230V- 6 ^a

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE

4.1 Diseño del Invernadero

En esta sección se realizan los cálculos para determinar los requerimientos del invernadero.

4.1.1 Sistema de Ventilación

Se tiene dos sistemas de ventilación instalados en el invernadero que son activa y pasiva, los mismos que sirven para la renovación del aire, los cálculos de los mismos serán detallados a continuación.

- Ventilación pasiva

Las dimensiones de las cortinas laterales enrollables deben ser del 15% al 20% (Soler&Palau, 2018) del área de la estructura total del invernadero para poder garantizar su aporte de renovaciones, el área total $137.4 m^2$ mientras que el área de las cortinas $27m^2$ y cumple con las dimensiones requeridas.

El peso de las cortinas es de unas 20 libras con este dato se elige el motor que tendrá que ser capaz de mover este peso por lo cual se hizo la compra de un motorreductor de 24 Voltios que es capaz de levantar 50 libras-pie lo cual es suficiente para el proyecto.



Figura 39. Motorreductor

- Ventilación Activa

El volumen del invernadero es de 170 m^3 las renovaciones que se necesitan son de al menos unas $30 \frac{\text{ren}}{\text{hora}}$, ya que las cortinas laterales ayudan a tener ventilación natural con unas $15 \frac{\text{ren}}{\text{hora}}$, entonces se debe realizar un cálculo para determinar las especificaciones de los extractores, para ello se debe conocer el volumen del invernadero y se lo multiplicará por el número de renovaciones que se desee tener esto nos dará el caudal de aire que se necesita mover, los extractores tienen en su placa los detalles de caudal de aire que suelen mover.

$$\text{Caudal} = \text{Volumen del invernadero} * \text{N. de renovaciones}$$

$$\text{Caudal} = 170 \text{ m}^3 * 20 = 3400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El caudal que deben mover los extractores debe ser de al menos $3400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ para garantizar que haga unas $20 \frac{\text{ren}}{\text{hora}}$, por lo tanto, los extractores instalados mueven $3600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ lo cual son suficiente para el invernadero.

4.1.2 Dimensionamiento del sistema de riego y sistema de nebulización

- Sistema de Riego

Para el cálculo de caudal y diámetro de tubería tanto para la línea principal y secundaria de riego se consideró la disposición de tuberías de riego disponibles en el mercado nacional. Se distribuirá dos líneas secundarias de riego por cada cama de cultivo, cada gotero se encuentra a 30 centímetros uno de otro en consecuencia cada línea de riego tendrá distribuidos 26 goteros por toda su longitud. Todos los goteros tienen una capacidad de $4 \left[\frac{\text{l}}{\text{H}} \right]$ equivalente a $0.066 \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right]$. El cálculo del caudal para las líneas se lo calcula con la ecuación 1.

El diámetro de la tubería se calculará tomando en cuenta que la velocidad del agua está comprendida entre $1 \left[\frac{m}{s} \right]$ hasta $3.5 \left[\frac{m}{s} \right]$ para evitar ruido y erosión (Gassó & Solomando, 2011). El cálculo para el diámetro de tubería se lo realizará con la ecuación 2 y 3 tomando la velocidad del agua $2.5 \left[\frac{m}{s} \right]$ equivalente a $8.2 \left[\frac{ft}{s} \right]$ que se encuentra en el rango de velocidad recomendada.

$$Q_T = k * Q_k \quad (1)$$

Dónde:

Q_T : es el caudal total en $\left[\frac{l}{min} \right]$

k : es el número total de elementos

Q_k : es el caudal de cada gotero $\left[\frac{l}{min} \right]$

$$\phi_{in} = \sqrt{\frac{Q[GPM] * 0.4081}{v \left[\frac{ft}{s} \right]}} [in] \quad (2)$$

Dónde:

ϕ_{in} : es el diámetro interno de la tubería en $[in]$

Q_T : es el caudal total en $[GPM]$

v : es la velocidad del fluido en el interior de la tubería en $\left[\frac{ft}{s} \right]$

$$\phi_{ex} = \phi_{in} + 2 * 0.049 [in] \quad (3)$$

Dónde:

ϕ_{in} : es el diámetro interno de la tubería en $[in]$

ϕ_{ex} : es el diámetro exterior de la tubería en $[in]$

El cálculo de caudal de las distintas líneas tanto principal como secundarias se lo realizó utilizando la ecuación 1, descrita en la sección sistema de riego por goteo, en cambio para el cálculo de diámetro de las tuberías se empleó las ecuaciones 2 y 3 respectivamente. A continuación, se muestran en la **Tabla 10** y **Tabla 11**, los valores obtenidos mediante los cálculos respectivos.

Tabla 10*Caudal líneas de sistema de riego por goteo*

	Línea secundaria	Línea principal
Número de líneas	12	1
Caudal de goteros $\left[\frac{l}{min}\right]$	0.06666	0.06666
Numero de goteros	26	312
Caudal total $\left[\frac{l}{min}\right]$	1.733	20.79
Caudal total [GPM]	0.457	5.492

Tabla 11*Diámetro de tubería sistema de riego*

	Línea secundaria	Línea principal
Caudal total [GPM]	0.457	5.492
Velocidad agua $\left[\frac{ft}{s}\right]$	8.20	8.20
Diámetro interno [in]	0.15	0.52
Diámetro externo [in]	0.25	0.62
Tubería estándar cercana [pulg]	3/8 (16mm)	3/4 (25mm)

- *Sistema de Nebulización*

El cálculo del caudal y diámetro de la tubería para nebulización se lo realizó en base a la disposición de nebulizadores disponibles en el mercado nacional. Se distribuirá 4 líneas secundarias de nebulización conectadas a la línea principal como se muestra en la **Figura 21**,

cada línea contará con 6 nebulizadores de $35 \left[\frac{L}{H} \right]$ equivalente a $0.59 \left[\frac{L}{min} \right]$. Se debe tomar en cuenta la velocidad recomendada del agua en la tubería la cual fue mencionada en la sección 4.1.2. Los cálculos para caudal y diámetro de tubería se los realizará en base a las ecuaciones 1,2 y 3, esto se puede observar en la **Tabla 12** y **Tabla 13**.

Tabla 12*Caudal líneas del sistema de nebulización*

	Línea secundaria	Línea principal
Número de líneas	4	1
Caudal de nebulizadores $\left[\frac{L}{min} \right]$	0.59	0.59
Numero de nebulizadores	6	24
Caudal total $\left[\frac{L}{min} \right]$	3.54	14.16
Caudal total [GPM]	0.935	3.74

Tabla 13*Diámetro de tubería sistema de nebulización*

	Línea secundaria	Línea principal
Caudal total [GPM]	0.935	3.74
Velocidad agua $\left[\frac{ft}{s} \right]$	8.20	8.20
Diámetro interno [in]	0.22	0.43
Diámetro externo [in]	0.32	0.53
Tubería estándar cercana [pulg]	3/8 (16mm)	¾ (25mm)

- *Dimensionamiento de la bomba*

El dimensionamiento de la bomba es de vital importancia para abastecer de agua tanto al sistema de riego como al sistema de nebulización. Para el cálculo de la potencia necesaria de la bomba se necesita tanto el caudal total como la presión de cada sistema. El recorrido total de la

manguera de riego es de 96m, mediante la gráfica de la **Figura 40** se determina que la caída de presión para el sistema de riego es aproximadamente de 1.2 bar que corresponde a la manguera de riego con goteros de $4\left[\frac{l}{h}\right]$.

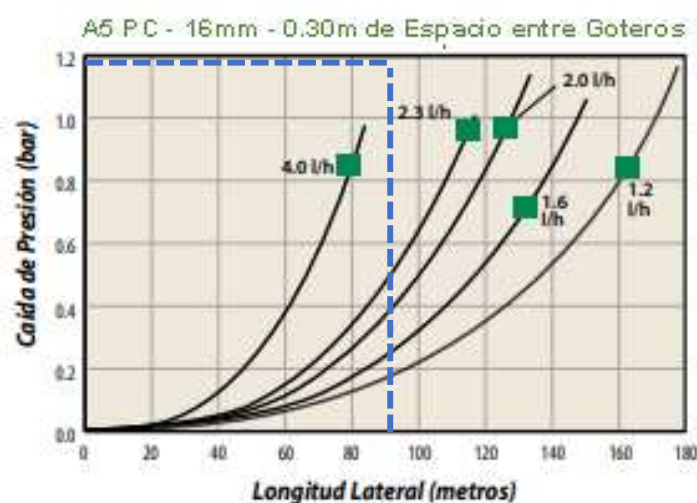


Figura 40. Caída de presión manguera de riego A5PC-16mm

Fuente: (Manguera de Riego Serie A5 PC, 2016)

La presión de funcionamiento del nebulizador es de 1 bar a 5 bares como se muestra en la **Figura 41**. Para el sistema de nebulización se ha tomado una presión de funcionamiento de 3 bares por lo tanto la presión total sería de 4.2 bares. El caudal del sistema de riego es de $20.79\left[\frac{l}{min}\right]$ es esto se observa en la **Tabla 10**, el caudal del sistema de nebulización es de $14.16\left[\frac{l}{min}\right]$ esto se observa en la **Tabla 12**, por lo tanto el caudal total es de $34.95\left[\frac{l}{min}\right]$ Para el cálculo de potencia la bomba se emplea la ecuación 4.

$$PB [Kw] = \frac{P[bar] \cdot Q\left[\frac{l}{min}\right]}{600} \quad (4)$$

Donde:

PB : es la potencia de la bomba en $[Kw]$

P : es la caída de presión en $[bar]$

Q : es el caudal total de los dos sistemas en $\left[\frac{l}{min}\right]$

$$PB = \frac{4.2[bar] \cdot 34.95 \left[\frac{l}{min}\right]}{600} [Kw]$$

$$PB = 0.244[Kw]$$

Se debe tener en cuenta que el acople del motor a la bomba tiene una eficiencia del 75 % por lo que la potencia real de la bomba es de $0.3262[Kw]$, por lo tanto se ha seleccionado una bomba de $0.5[Hp]$ lo que equivale a $0.37[Kw]$

Información técnica				
Caudal	Tamaño de la boquilla		Diámetro de riego	
			4191	
	(mm)	(inch)	(m)	(Ft)
20	0.6	0.023	2.2	7
35	0.8	0.035	2.5	8
50	1.0	0.043	2.8	9
70	1.2	0.050	3.0	10
90	1.3	0.055	3.2	10
160	1.8	0.070		
180	2.0	0.078		
Color del cabezal difusor			●	
Sección regada			320° LDE	
Presión de funcionamiento			1.0-5.0 bar (14.5-72.0 psi)	

Figura 41. Información técnica Nebulizador Modelo 4191

Fuente: (Emisores, 2015)

4.1.3 Sistema eléctrico

En este apartado se explica el cálculo realizado para las protecciones de los actuadores como son las bombas, los extractores y se realiza el cálculo del dimensionamiento del conductor.

- *Protección para las bombas*

La protección de la bomba se la hará con un disyuntor con protección tanto térmica como magnética, se toma en cuenta el criterio de sobredimensionamiento del 125% para garantizar el correcto funcionamiento del circuito potencia correspondiente a la bomba. Para el cálculo de la corriente nominal del motor se emplea la ecuación 5.

$$I_n = \frac{P[W]}{E[V] \cdot fp} [A] \quad (5)$$

Donde:

I_n : es la corriente nominal del motor monofásico en [A]

E : Es la tensión de alimentación del motor en [V]

fp : es el factor de potencia del motor

P : Es la potencia del motor en [W]

$$I_n = \frac{370[W]}{110[V] \cdot 0.8} [A]$$

$$I_n = 3.91[A]$$

Tomando en cuenta el criterio de sobredimensionamiento del 125% de la corriente nominal la corriente es igual a $I_n = 4.88[A]$, por lo tanto se ha seleccionado un disyuntor termo magnético de 6[A]

- *Protección para los extractores*

Se empleará un único fusible para proteger los dos extractores debido a su baja corriente y a su aplicación, ya que estos funcionarán únicamente en las madrugadas para renovar el aire y

evitar la condensación de las partículas de agua. La potencia de cada extractor es de 40W con un factor de potencia de 0.8. El cálculo para los extractores se realiza con la ecuación 5 de manera similar al apartado de protección para las bombas.

$$I_n = \frac{80[W]}{110[V] \cdot 0.8} [A]$$

$$I_n = 0.909[A]$$

De igual manera se toma en cuenta el criterio de sobredimensionamiento del 125% para el correcto funcionamiento del sistema la corriente es igual a $I_n = 1.136[A]$, por lo tanto se ha seleccionado un fusible de 2[A].

- *Contactor del motor para la bomba*

En el apartado protección para la electro bomba se determinó la corriente nominal del motor $I_n = 3.91[A]$. El tiempo de operación de la bomba no es continuo. Por esta razón, la categoría del contactor es AC2 con factor de potencia de 0.65 especificado en la **Tabla 2** sección 3.7.2

$$I_c = \frac{I_n}{fp}$$

$$I_c = \frac{3.91}{0.65}$$

$$I_c = 6.01 [A]$$

Se ha seleccionado un contactor de 110V con una corriente de 7[A].

- *Dimensionamiento del conductor*

Para el cálculo del conductor se toma como referencia los valores de potencia y corrientes mencionados anteriormente.

- Potencia aparente: 330W.
- Tensión de entrada: 110Vac.
- Frecuencia 60Hz
- Corriente nominal: 3.91 A

El tipo de conductor a utilizar será de Cobre tiene alta conductividad y pocas pérdidas eléctricas.

Para el cálculo del conductor se sobredimensionará en un 125% de la corriente nominal.

Tabla 14
Calibre del conductor

Corriente	Distancia	Calibre
5 A	30 metros	18 AWG

4.2 Diseño del sistema de control.

Para el funcionamiento del invernadero se cuenta con un tablero de control que a su vez cuenta con un controlador llamado Controllino MAXI Automation el cual es un PLC de código abierto. Cuenta con una pantalla Touch Nextion montada en el tablero la cual permite al usuario visualizar el estado del invernadero.

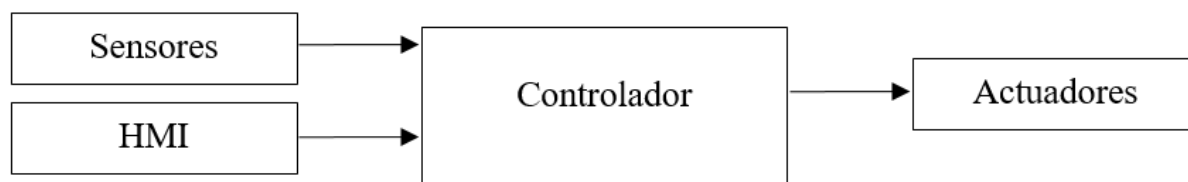


Figura 42. Diagrama de control

En la siguiente **Figura 42** se muestra un diagrama del funcionamiento del invernadero en donde básicamente se tiene la lectura de los sensores que será recibida por el controlador y visualizada por medio de la interface HMI y por medio de esta podremos realizar la activación de los actuadores.

4.2.1 Condiciones de operación

Para realizar el control del invernadero se cuenta con una pantalla Nextion que será nuestra HMI la misma que tendrá dos modos de funcionamiento los cuales son:

- Modo manual.
- Modo automático.

4.2.2 Modo manual

Las operaciones que se realizan en modo manual básicamente es activar o desactivar todos actuadores por medio de la interface, que se encuentra ubicada en el tablero de control. La ventaja de tener una pantalla Nextion como HMI es que se puede disminuir en gran número los botones y luces indicadoras físicas que suelen ir en el tablero y ahora estarán en la HMI. EL modo manual para nuestro proyecto es útil cuando se realice trabajos de limpieza dentro del invernadero como es la deshierba, poda o la cosecha del producto. Para seleccionar el modo manual es relativamente sencillo ya que la presente HMI se tendrá un botón de selección entre manual y automático.

4.2.3 Modo Automático

En modo automático permite tener controlada la temperatura, humedad ambiente y del suelo del invernadero, la primera se la controla mediante la activación de los extractores y con la

apertura de las cortinas, mientras que la humedad del ambiente se la controla mediante los nebulizadores. La humedad ambiente es sumamente necesaria en los primeros días del crecimiento de las plantas, la humedad del suelo se la puede controlar mediante riego.

Las operaciones que se realizan en modo automático básicamente pretenden garantizar el cumplimiento de las condiciones para tener un ambiente óptimo, de esta manera brindar una protección al producto de las plagas a las que se encuentra expuesto al estar al aire libre. El modo automático del invernadero trabaja de la siguiente manera:

- En la interface principal se seleccionará en modo automático.
- En esta interface se presiona el botón de arranque, una luz indicadora verde se activará lo cual indica que el sistema está funcionando.
- Para que el sistema entre en funcionamiento el nivel de agua de los tanques debe ser el óptimo.

4.2.4 Etiquetas de entradas y salidas del PLC

En la **Tabla 15** se describe la distribución de los sensores conectados a las entradas del PLC. Es necesario mencionar que al tener una interface HMI se reducen los botones o pulsadores físicas que suelen ir en el tablero.

El controlador cuenta con salidas a relés y salidas digitales lo cual es una gran ventaja para poder trabajar con más actuadores, para nuestro caso se usarán las salidas digitales de 24 Vdc para las electroválvulas y las salidas a relés para las bombas y los extractores, esto se hace para no ocupar la mayoría de las salidas que tiene el PLC, reservando de esta manera salidas, en caso

de que el proyecto necesite más actuadores. En la **Tabla 16** se describe la distribución de las salidas del PLC.

Tabla 15
Conexión de sensores

Entradas	Función	Detalle
DI0	Sensor de temperatura	Indica la humedad y temperatura ambiente mediante el sensor DHT-22
AI0	Sensor de humedad del suelo	Indica la humedad del suelo mediante el sensor DY-69
AI1	Sensor de luz	Indica intensidad de luz del sol mediante un LDR
AI2	Sensor de lluvia	Indica si está lloviendo mediante el sensor MH-RD
AI3	Sensor de nivel 1	Flotador para detección de nivel bajo de agua reservorio
AI4	Sensor de nivel 2	Flotador para detección de nivel bajo de agua tanque uno
AI5	Sensor de nivel 3	Flotador para detección de nivel alto de agua tanque uno
Tx y Rx	Conexión Nextion	Pantalla Nextion es la interface HMI conectada al puerto serial

Tabla 16
Conexión de salidas

Salidas	Función	Detalle
DO0	Activación electroválvula 1	Electroválvula de llenado del tanque uno
DO1	Activación electroválvula 2	Electroválvula de las llovederas externas
DO2	Activación electroválvula 3	Electroválvula para riego
DO3	Activación electroválvula 4	Electroválvula para nebulizar
DO4	Conexión Puente H	Control de giro de motor para las cortinas
DO5	Conexión Puente H	Control de giro de motor para las cortinas
R0	Activación de la bomba uno	Realiza el llenado del tanque uno y de las llovederas
R1	Activación de la bomba dos	Realiza el riego y las nebulizaciones
R2	Activación de extractor uno	Renueva el aire del interior
R3	Activación de extractor dos	Renueva el aire del interior

4.2.5 Lógica de Programación

El Graficet realiza una descripción funcional de todo el sistema a ser automatizado, es decir permite al diseñador tener una visión global del sistema. Este debe ser intuitivo y de fácil comprensión. Para el invernadero se ha dispuesto de dos modos de operación como se indica en la **Figura 43**. El modo manual será utilizado exclusivamente para tareas de comprobación, mantenimiento y reparación. El modo automático es el encargado de monitorear tanto humedad como temperatura y en base a estas variables actuar de acuerdo a la lógica de control implementada.

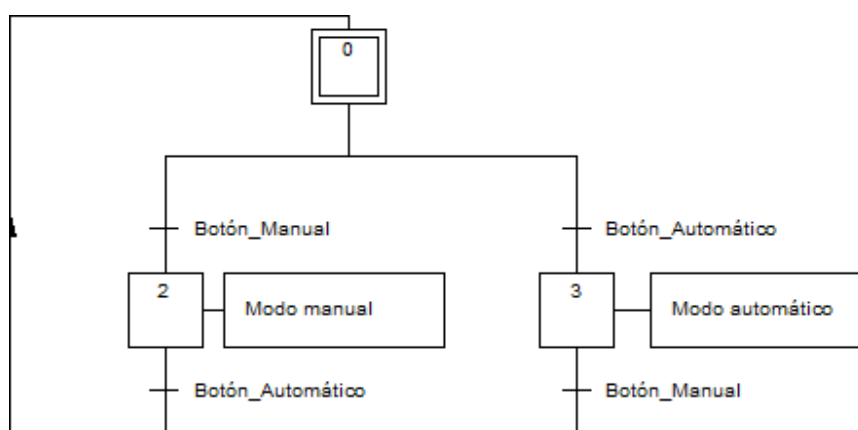


Figura 43. Graficet visión general del sistema

4.2.5.1 Modo manual

El modo manual será activado una vez que se presione el Botón_Manual y se desactiva cuando se presione el Botón_Automático, los botones de activación tanto manual y automático no pueden ser presionados al mismo tiempo. Al seleccionar el modo manual se habilitan las opciones de Llenar_Tanque, Llover, Riego, Nebulización, Cortinas y Extractores pudiéndose activar estas simultáneamente. Con la finalidad de una mejor comprensión, el modo manual se lo ha dividido en etapas las cuales se exponen a continuación.

Para Llenar el tanque el operario debe revisar si el reservorio de agua principal se encuentra lleno, esto se puede observar fácilmente en la interfaz HMI, al activar el llenado se enciende la bomba 1 y la electroválvula de llenado que permite el paso de agua hacia el tanque, para detener el llenado se debe pulsar otra vez el botón de llenado, esto hace que se apague la bomba 1 y se cierre la electroválvula de llenado.

En la función Llover el operario debe presionar el botón Llover, este esparcirá un chorro de agua a los cultivos aledaños al invernadero por medio de la activación de la bomba 1 y la electroválvula llover, cuando se desee detener el proceso se debe oprimir nuevamente el botón Llover lo que apagará la bomba 1 y cerrará la electroválvula llover.

Para la activación del riego se presiona el botón Riego, pero antes se debe revisar que el nivel de agua en el tanque sea suficiente para realizar este procedimiento, esto se lo puede hacer desde la interfaz HMI. Una vez activado el riego se activará la bomba 2 y la electroválvula de riego la cual permitirá el paso de agua hacia las cintas de riego por goteo. Para detener el proceso basta con oprimir nuevamente el botón Riego. Lo descrito anteriormente se lo puede observar en la ***Figura 44.***

La Nebulización no es más que entregar agua a presión en forma de neblina, misma que se activa presionando el botón nebulización, antes de oprimir el botón el operario debe revisar el nivel de agua en el tanque y proceder a realizar la operación, el botón se oprime y se activa la bomba 2 y la electroválvula nebulización, la electroválvula deja pasar el agua a través de los nebulizadores hacia el cultivo, si se desea detener la nebulización el operario debe presionar el botón riego una vez más.

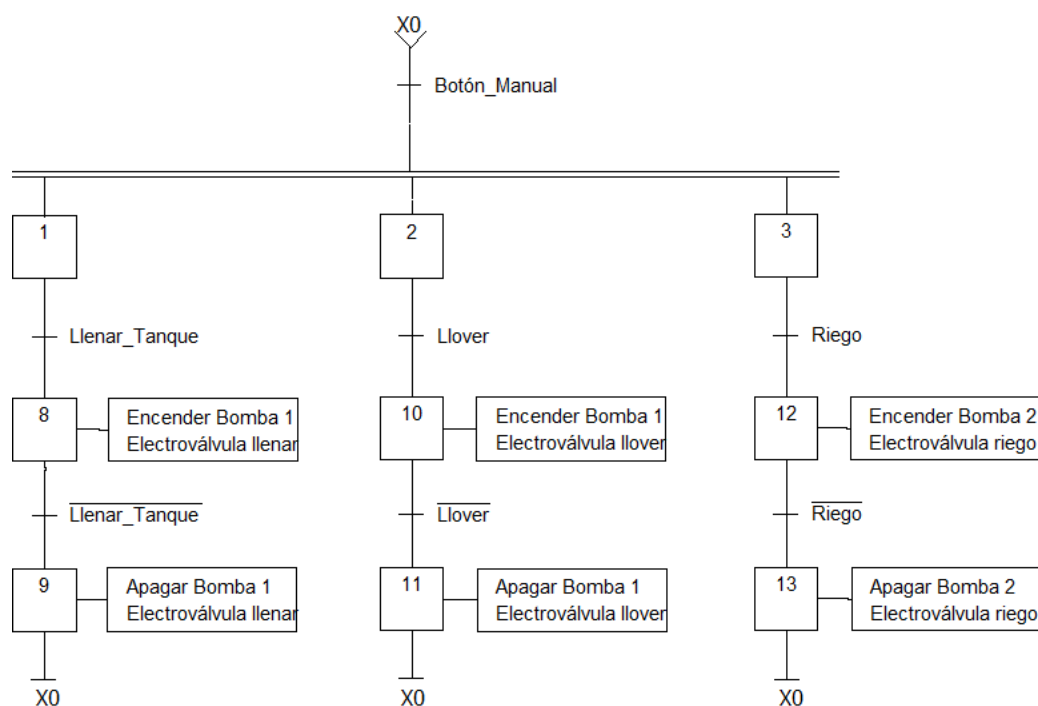


Figura 44. Grafcet Modo manual etapas 1,2 y 3

El extractor se activa al oprimir el botón Extractor, esto hace que el extractor se prenda permitiendo la renovación del aire, sacando el aire del interior del invernadero y extrayendo del exterior. Para apagar el proceso basta con presionar el botón Extractor nuevamente. Lo descrito anteriormente se lo puede observar en la **Figura 45**.

La función cortinas permite subir y bajar las cortinas del invernadero, el operario debe tener mucho cuidado ya que estos motores son de alto torque y pueden dañar el material de las cortinas o a su vez los motores se podrían averiar al terminar su recorrido, se puede hacer una inspección visual de la posición de las cortinas en el HMI, al oprimir el botón de Subir no se puede presionar el botón Bajar al mismo tiempo o viceversa. Para detener el avance de las cortinas tanto en un sentido como el otro se debe presionar el botón detener para pausar el recorrido de las cortinas, esto garantiza el correcto funcionamiento tanto de los motores DC como el material de las cortinas. Lo descrito anteriormente se lo puede observar en la **Figura 46**.

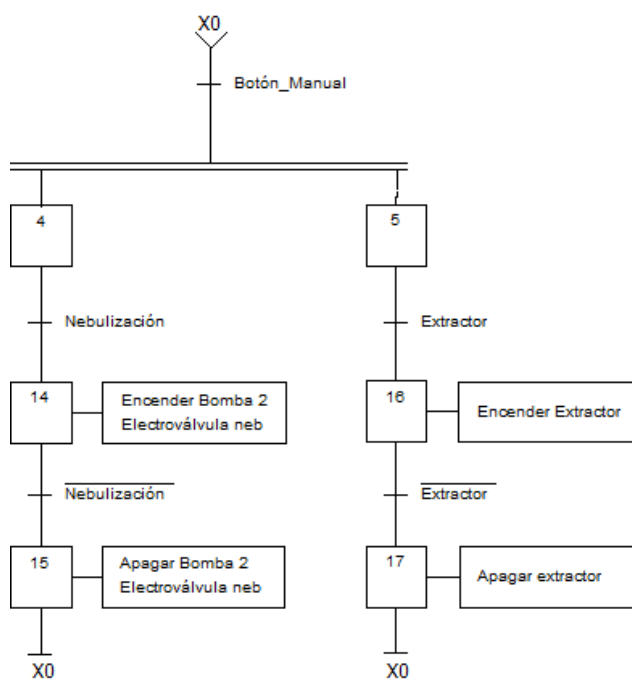


Figura 45. Grafcet Modo manual etapas 4 y 5

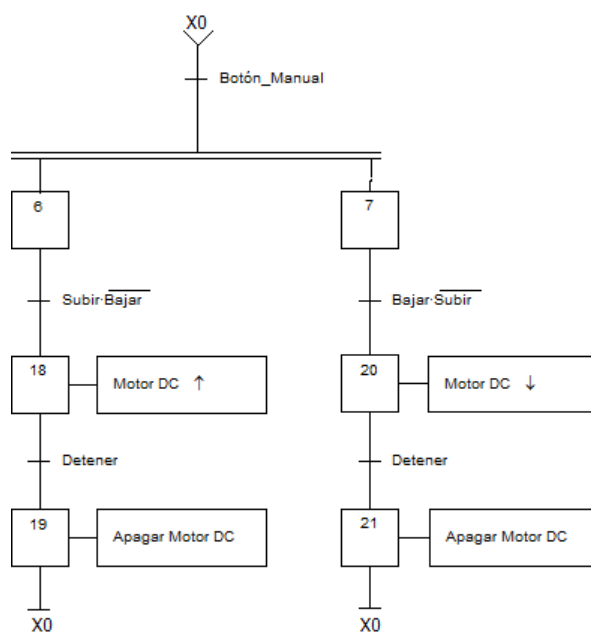


Figura 46. Grafcet Modo manual etapas 6 y 7

4.2.5.2 Modo automático

En el modo automático el sistema funciona independientemente, limitando al operario a labores de visualización y supervisión, el modo automático dependerá de variables de humedad y temperatura tanto del suelo como del ambiente y de acuerdo a estas variables se activarán las diferentes subrutinas correspondientes a este modo. A continuación, se dará una breve explicación de cada una de las subrutinas. Una vista general del modo automático se observa en la **Figura 47** modo automático

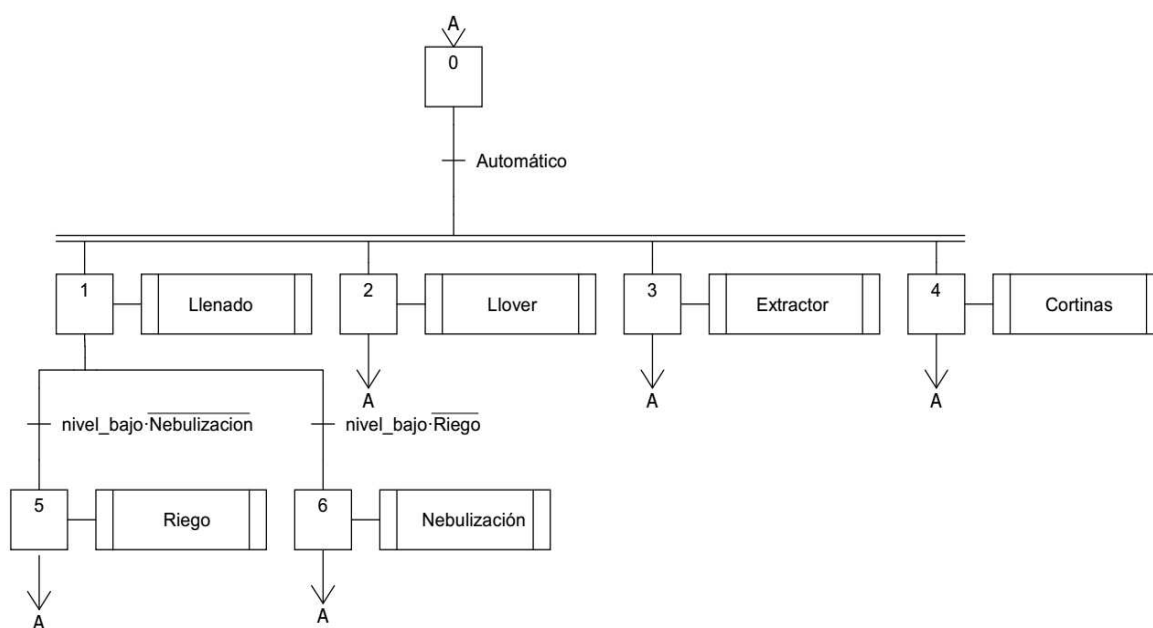


Figura 47. Grafset Modo Automático

- *Subrutina Llenado*

La función de esta subrutina es llenar el tanque de agua para poder realizar el riego y la nebulización. La subrutina de Llenado se activa al seleccionar el modo automático, una vez completada esta subrutina se puede activar el riego y nebulización. Para realizar la función de

llenado se disponen de tres sensores de nivel ubicados en el reservorio y en el tanque respectivamente. El sensor nivel_reservorio ubicado en el reservorio permite que se active la bomba 1 y la electroválvula de llenado de esta manera se asegura que la bomba 1 no funcione en vacío. Los sensores nivel_alto y nivel_bajo están ubicados en el tanque permitiendo el sensado de líquido garantizado un nivel de agua adecuado para poder realizar tareas de riego y nebulización, si el nivel de agua en el reservorio no es el óptimo no se pueden hacer estas tareas.

- *Subrutina Llover*

La función de la subrutina Llover es de regar agua en el techo del invernadero cuando la temperatura llegue o sobrepase los 40°C. Al igual que el llenado depende del nivel de agua en el reservorio, si el nivel es el adecuado y la temperatura en el invernadero es mayor a la permitida se procede a activar estos aspersores en el exterior del invernadero. Se activa la bomba 1 y la electroválvula que permite el paso de agua hacia los aspersores con la intención de reducir la temperatura en el interior del invernadero. En la **Figura 48** Graficet Subrutinas de llenado y Llover se presenta a detalle lo anteriormente expuesto.

- *Subrutina Riego*

La función de la subrutina Riego es de abastecer de agua a las plantas de acuerdo a la humedad del suelo. Depende de la subrutina Llenado lo que garantiza un nivel de líquido adecuado. El riego se activa cuando la humedad del suelo es muy baja prendiendo la bomba 2 y abriendo la electroválvula de riego, el riego se detiene cuando la humedad del suelo es la adecuada.

- *Subrutina Nebulización*

La función de la subrutina Nebulización es de nebulizar que no es mas que exparir agua a las plantas en forma de neblina. De igual manera la subrutina de Nebulización necesita de la subrutina Llenado, esta subrutina depende tanto de la humedad relativa y la temperatura en el interior del invernadero. Cuando la humedad relativa es muy baja o la temperatura del ambiente es alta se procede a activar la nebulización prendiendo la bomba 2 y la electroválvula de nebulización. En la **Figura 49** Grafcet Subrutinas Riego y Nebulización se presenta a detalle lo anteriormente expuesto.

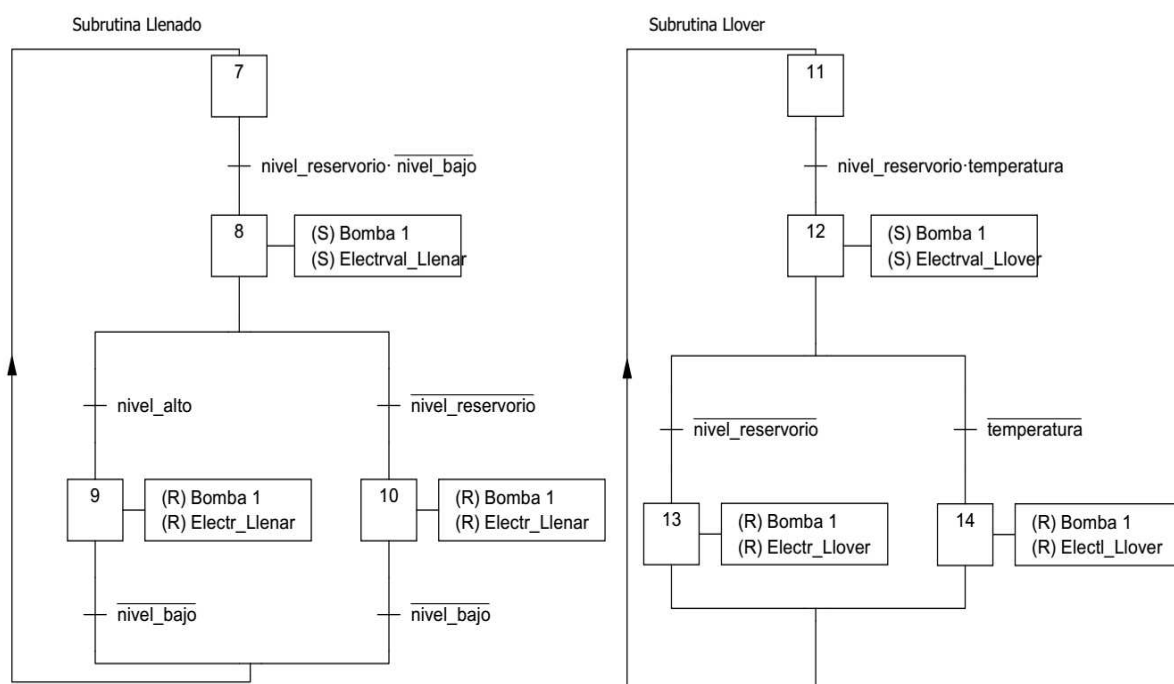


Figura 48. Grafcet subrutina Llenado y Llover

- *Subrutina Cortinas*

La función de las subrutina Cortinas es de abrir y cerrar las cortinas dependiendo de la humedad y temperatura en el invernadero. Se ejecuta de forma independiente, es decir no necesita de otras subrutinas. Para subir o bajar las cortinas se disponen de 3 sensores, 2 sensores finales de carrera ubicados en la parte superior e inferior de las cortinas (c_bajo,c_alto) y 1 sensor de luz indicándonos si es de día o de noche. Las cortinas se suben cuando se detecte luz en el sensor y se detienen cuando se activa el sensor c_alto, lo que indica que las cortinas se han abierto completamente, podemos observar la posición de las cortinas en el HMI.

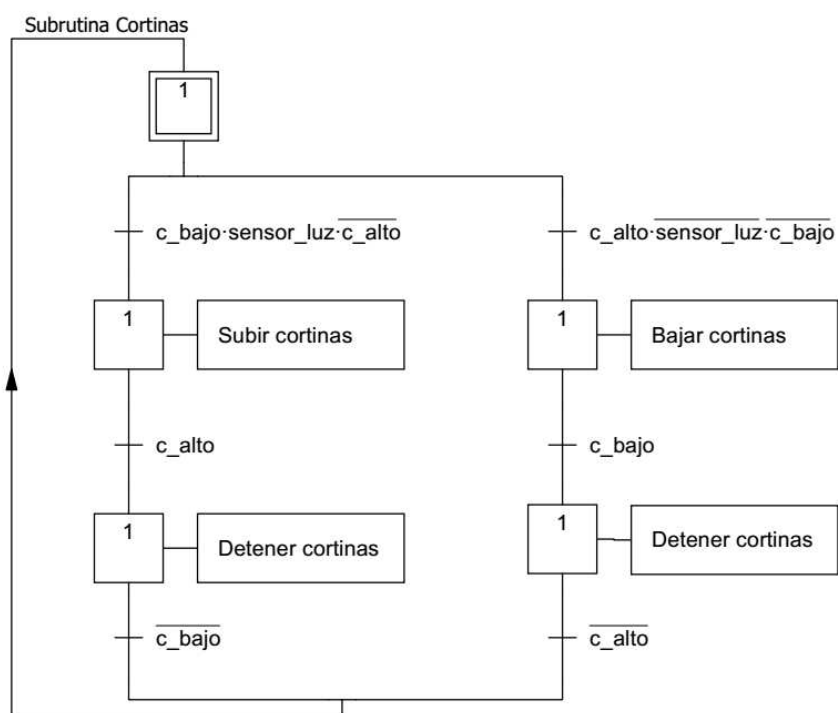


Figura 49. Graficet subrutina Riego y Nebulización

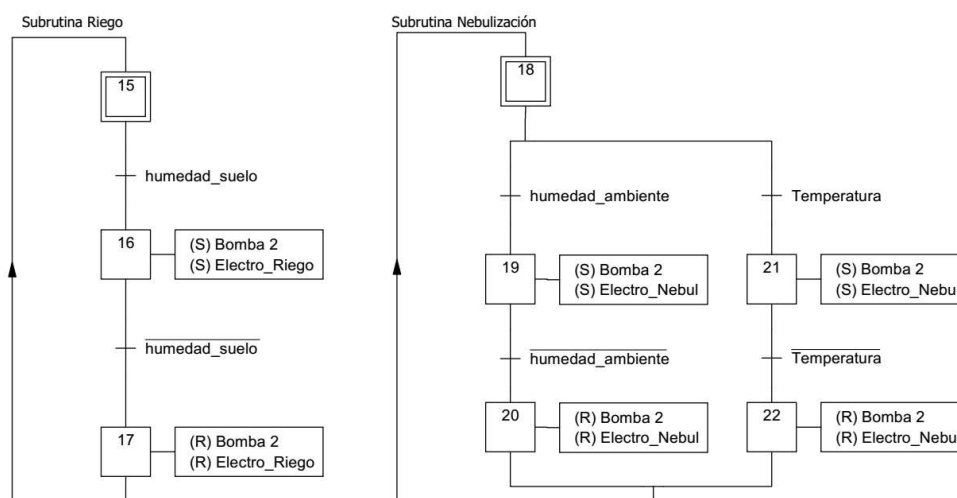


Figura 50. Graficet subrutina de cortinas

4.2.6 Diseño de la interface HMI

Para el diseño de la interface se toman en cuenta características estéticas como proporción y simetría que faciliten al usuario la visualización del estado del invernadero (Granollers, 2018).

Las interfaces contarán con criterios como:

- **Visibilidad:** los elementos gráficos en la pantalla deben tener un tamaño adecuado para que el usuario no confunda la información.
- **Color:** permite dar una relevancia a ciertas partes de la interfaz.
- **Interactividad:** el usuario puede activar los actuadores desde la interface.
- **Perceptibilidad:** es la identificación del estado del invernadero para que el usuario tome acciones.
- **Información:** los indicadores visuales y datos que se recojan de los sensores deberán ser entregados en tiempo real.

- *Distribución de pantallas*

Para tener una mayor visualización de la información es necesario ocupar todo es el espacio disponible en la pantalla, por lo cual se ha definido plantillas de distribución para la pantalla. Se han definido las plantillas en base a los requerimientos del usuario y en la guía Gedis.

Acceso	Título	Acceso
Imagen del Proyecto		
Menú de accesos		

Figura 51. Distribución pantalla de inicio

Acceso	Título	Acceso
Sinóptico del proceso		
Variables de sensores		
Menú de acciones		
Indicadores		

Figura 52. Distribución pantalla Manual y Automático

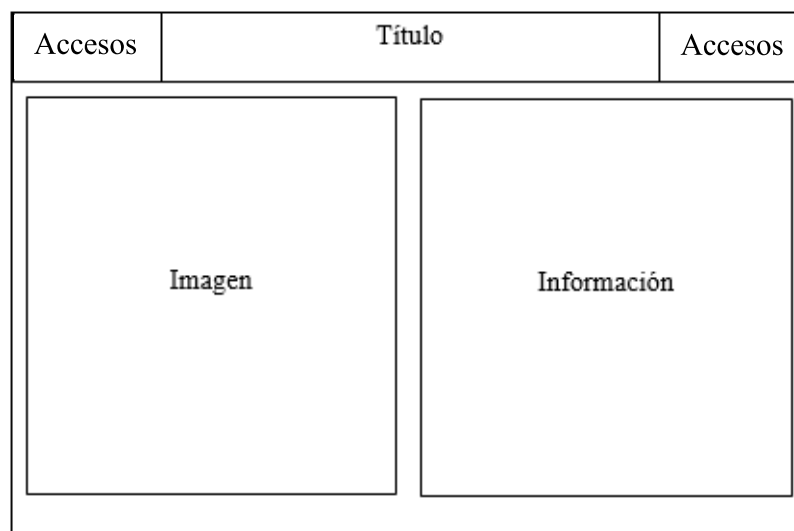


Figura 53. Distribución pantalla de información

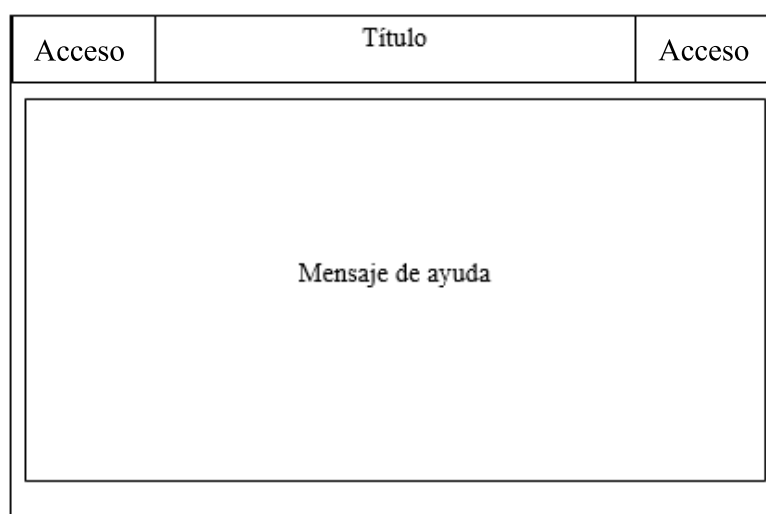


Figura 54. Distribución pantalla de ayuda

- *Navegación*

El usuario tendrá la posibilidad de tener una fácil navegación entre las pantallas, las mismas que se explican en el siguiente diagrama.

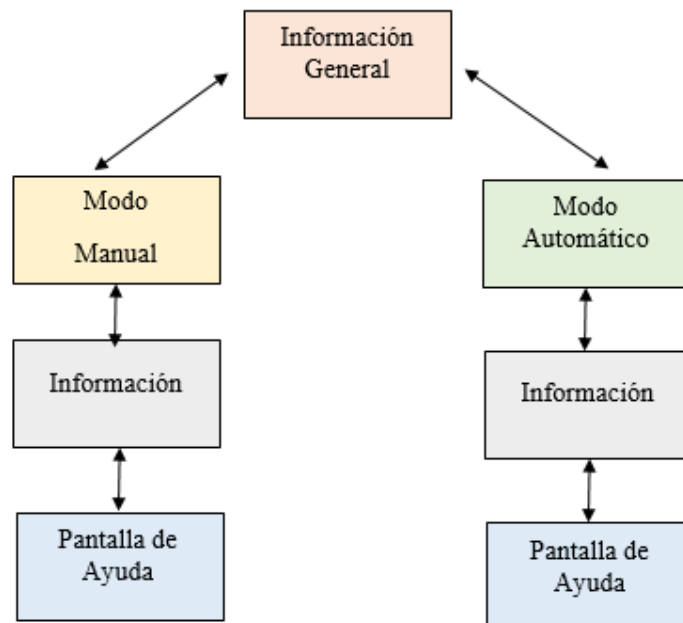


Figura 55. Navegación del HMI

- *Uso de colores*

Hacer un buen uso de colores entrega al usuario un mejor ambiente de trabajo, además evita sobrecarga visual y permite hacer acciones rápidas ante fallos que indique la interface, para esto se ha determinado ciertas características para el uso del color:

- Alto contraste de colores.
- El color debe enfatizar la información.
- Los colores usados para el diseño de las pantallas deben ser diferentes de las alertas de esta manera se fortalece la rapidez de la reacción del usuario ante circunstancias adversas.

Para la selección y el uso de colores de fondo de la pantalla se recomiendan los siguientes lineamientos:

- Fondos de pantalla se usarán colores neutros blanco, gris, beige y arena, no usar negro dado que da mucho resplandor.
- Los colores de fondo deben crear contraste con los demás elementos de la interfaz
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas grandes de la pantalla ya que producirán malestar y confusión visual.

Tabla 17
Colores del HMI

Color	Objeto
Verde claro	Títulos de pantalla.
Gris claro	Fondo de pantalla
Verde	Equipo funcionando o activado
Rojo	Equipos en condición de alerta

- *Texto en el HMI*

La guía Gedis indica que para la presentación del texto no se debe tener más de tres tipos de letras y no más de tres tamaños de letras, además, se debe considerar el no cargar de información al usuario con letras pequeñas uso excesivo de letras mayúsculas.

El uso del color en las letras es muy importante para el usuario ya que si se llega a mezclar demasiados colores en texto puede causar estrés visual y confundir.

Tabla 18
Tipo de letra

Formato de texto para el HMI			
	Títulos	Subtítulos	Variables
Tipo de letra	Britannic	Tahoma	Tahoma
Tamaño de letra	26	25	24
Representación	Negrita	Negrita	Sin Negrita
Color	Negro	Negro	Negro

4.3 Diagrama P&ID

Se ha usado la normativa ISA S5.1. para realizar los diagramas P&ID del invernadero. Se cuenta con diferentes sensores como son los de humedad y temperatura del ambiente, humedad del suelo, sensor de lluvia, sensor de luz, sensores de nivel de agua. A continuación se explica a detalle la implementación de los diferentes lazos de control, su nomenclatura y simbología se observa en el **Anexo A5** y **Anexo A6** respectivamente.

Lazo 1: Controlador indicador de Nivel. (LIC-1)

Este lazo cuenta con tres sensores de nivel, el primer sensor (LSH-1) está ubicado en el reservorio. Los dos restantes están ubicados en el tanque (TK1), en la parte superior del tanque está el sensor (LSH-1A) y en la parte inferior el sensor (LSL-1). Estos sensores son los encargados de monitorear los niveles de agua adecuados tanto en el reservorio como en el tanque, de acuerdo a esto se activa la bomba 1 (B1) y la electroválvula FV-1.

Lazo 2: Controlador indicador de Temperatura. (TIC-2)

El lazo de control de temperatura tiene dos sensores montados en el área de cultivo, un sensor de lluvia (OT-2) y un sensor de temperatura ambiente (TT-2). El lazo de control de temperatura activa dos motores (C1) y (C2) correspondientes a las cortinas del invernadero para reducir la temperatura en el interior, en caso que la temperatura sea extrema se activa un aspersor ubicado en el techo del invernadero por medio de la válvula de control (FV-2) y la bomba 1 (B1).

Lazo 3: Controlador indicador de Humedad (MIC-3)

El lazo de control de humedad del suelo consta de un sensor de humedad montado en campo por debajo del suelo en el área de cultivo (MT-3), el cual monitorea la humedad del suelo para aplicar el riego al cultivo por medio de la electroválvula (FV-3) y la bomba 2 (B2).

Lazo 4: Controlador indicador de Humedad (MIC-4)

El lazo 4 de control de humedad tiene un sensor de humedad ambiente (MT-4) montado en campo que monitorea la humedad ambiente y activa los nebulizadores para aumentar la humedad en el interior del invernadero. Los nebulizadores se activan por medio de la electroválvula (FV-4) y la bomba 2 (B2). Cuando la humedad es muy alta, también se activan los extractores (E1) y (E2) para ayudar en el intercambio de aire y reducir la humedad.

4.4 Diagramas

Los diagramas de potencia, control, conexión de sensores y actuadores fueron realizados en el programa de diseño Autocad Electrical, los mismos que son mostrados en lo **Anexo A**, con su respectiva nomenclatura y simbología.

4.5 Montaje

En esta sección se expone la construcción del invernadero y la implementación de la automatización del mismo basándose en la ingeniería de detalle mencionada anteriormente. Es importante mencionar que en algunos aspectos de la instalación del sistema de riego, nebulización y ubicación de sensores fueron recomendaciones del Ingeniero Agrónomo de CONQUITO.

4.5.1 Estructura metálica

Los tubos para la estructura del invernadero fueron hechos de acero inoxidable debido a la humedad, los tubos que van en la tierra tuvieron que ser fundidos con material de concreto.

Cuando ya está ubicada la estructura del invernadero con los tensores se procede a colocar los tubos que se les conoce como cenitales, de tal manera que todo quede a nivel.



Figura 56. Estructura del invernadero

Para el montaje del plástico es fundamental tener toda la estructura fija ya que el plástico será templado de acuerdo al esqueleto de metal y este debe soportar todo el peso.



Figura 57. Colocación de plástico



Figura 58. Invernadero

4.5.2 Montaje de sensores

Para la ubicación de los sensores se adoptó la recomendación del Ing. Luis Román de CONQUITO quien menciona ubicarlos en el centro del invernadero tanto como sensor del ambiente y el de humedad del suelo.

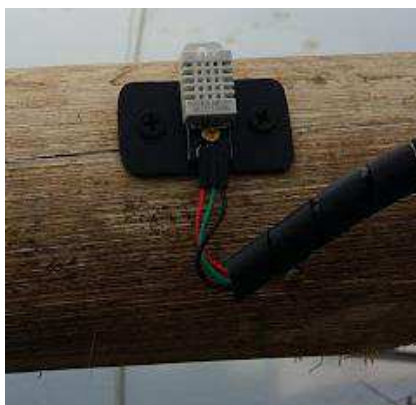


Figura 59. Ubicación sensor de humedad y temperatura ambiente



Figura 60. Ubicación sensor humedad de suelo

Los sensores de lluvia y de luz se ubicaron cerca de las bombas para tener una fácil accesibilidad para su instalación y una buena ubicación para que determinen las variables climáticas.



Figura 61. Ubicación sensor de lluvia

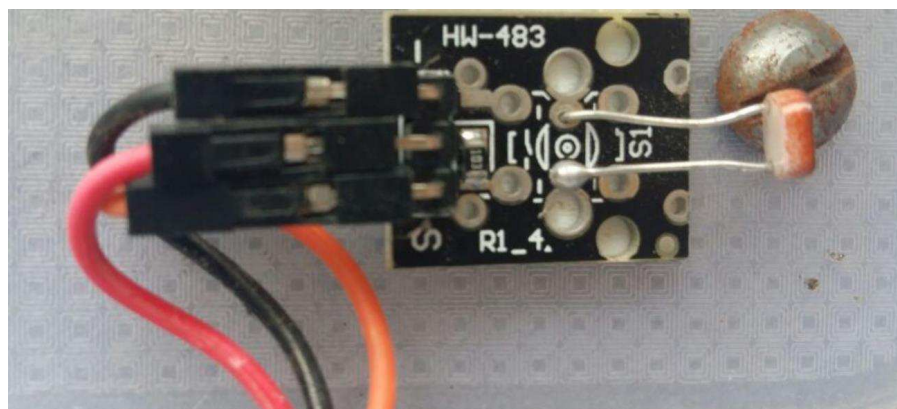


Figura 62. Ubicacion sensor de luz

Los sensores de nivel para el llenado automático estarán ubicados en el interior del tanque y el otro en el reservorio.



Figura 63. Ubicación del sensor de nivel en el reservorio



Figura 64. Ubicación sensor de nivel en el tanque

4.5.3 Instalación del sistema por goteo y nebulizadores

El sistema de riego y nebulización van por tuberías distintas mismas que fueron instaladas de acuerdo al diseño propuesto en la ingeniería de detalle.



Figura 65. Sistema de riego por goteo



Figura 66. Sistema de nebulización

4.5.4 Instalación de motores para las cortinas y extractores

La instalación de los motores se lo ha hecho sobre una estructura fija sobre un cimiento de concreto, también se ha instalado dos finales de carrera para indicar la posición de las cortinas y estas se puedan abrir y cerrar, los extractores están ubicados en la parte trasera se invernadero.



Figura 67. Ubicación motor para las cortinas



Figura 68. Extractores de aire

4.5.5 Montaje de bombas y electroválvulas.

Para el montaje de las bombas y las electroválvulas se las ubico en un mismo sitio por facilidad del cableado y para el mantenimiento.



Figura 69. Soporte de bombas y electroválvulas.



Figura 70. Ubicación de bombas y electrovalvulas.

4.5.6 Montaje del tablero de control

En la **Figura 71** se muestra la distribución del tablero de control tanto fuentes, protecciones, control y potencia se encuentran distribuidos de manera equitativa, también se realizó su respectivo diagrama de distribución en Autocad Electrical esto se observa en el **Anexo B1**

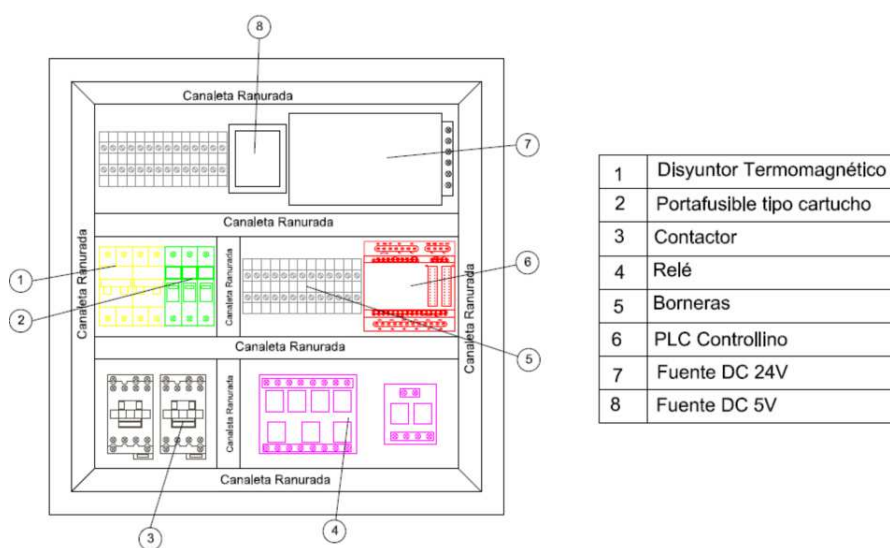


Figura 71. Distribución del tablero de control



Figura 72. Vista fontral del tablero de control

4.5.7 Interface HMI

En las siguientes imágenes se muestra las interfaces realizadas en el trabajo como son la pantalla de inicio, el modo manual, también se realizó un manual de usuario en el **Anexo B3** en donde se tiene todas las interfaces.



Figura 73. Pantalla inicio

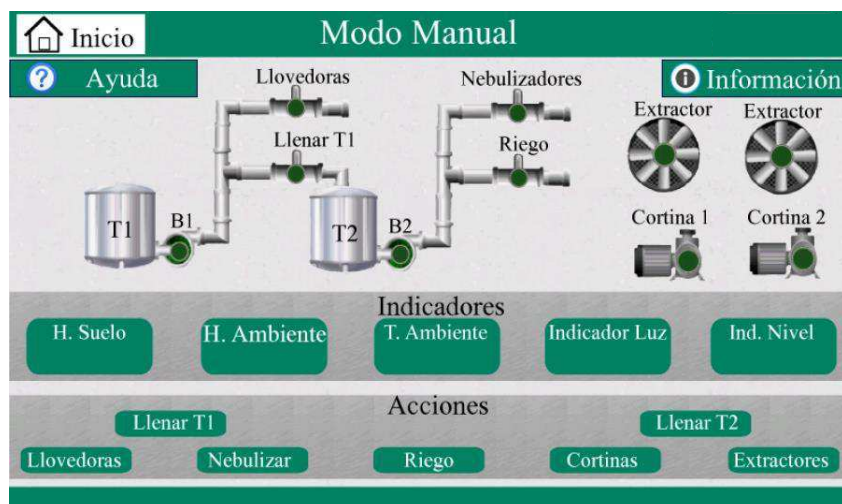


Figura 74. Modo Manual

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Conclusiones

- El diseño y la automatización del invernadero fue todo un éxito ya que se cumplió con los objetivos planteados, actualmente se encuentra en correcto funcionamiento.
- Se implementó un control de nivel para el tanque por medio de sensores ubicados uno en el reservorio de agua y dos en el tanque, de esta manera se garantiza el correcto funcionamiento de bombas, además de tener una alerta visual como auditiva cuando el nivel de agua no es el adecuado.
- El sistema de riego por goteo ha permitido el ahorro de agua en comparación de como se lo hacía tradicionalmente, esto se debe a que el riego se aplicaba sin ningún criterio. Para el sistema de riego también se ha dimensionado bombas, electroválvulas y tuberías las cuales se justifican por los cálculos realizados.
- Se logró mejorar las condiciones ambientales tanto de humedad como de temperatura del invernadero ya que ahora las cortinas se abren o se cierran dependiendo de la temperatura. Estas se combinan con el sistema de nebulización para disminuir la temperatura y aumentar la humedad ambiente, además de las llovederas ubicadas en el techo las cuales se activan cuando la temperatura es la máxima tolerable.
- Además, se redujo el trabajo de riego y fumigación que se solía hacer manualmente en el invernadero y era una tarea repetitiva y extenuante.

- Se diseñó e implemento una interfaz HMI de fácil comprensión que permite monitorear y controlar las diferentes variables y actuadores del invernadero, la interfaz es intuitiva y de fácil de navegación.

5.2 Trabajos futuros

- Se puede realizar un mejor control de temperatura usando tipo de calefacción por tubería para evitar bajas temperatura. Este sistema es relativamente costoso ya que se necesita una tubería de cobre por todo el invernadero, además de bombas de agua caliente y un sistema de calentamiento de agua que podría ser un calefón y de esta manera hacer recircular el agua por todo el invernadero.
- Se podría realizar un sistema de iluminación artificial para el invernadero para las noches y de esta manera permitir que las plantas realicen continuamente el proceso fotosíntesis sin importar la hora.
- Se puede implementar un sistema de sombra que proteja a las plantas de los rayos directos del sol, lo cual se lo podría realizar mediante un sistema mecánico que haga que se tape la parte superior del invernadero con una especie de manta oscura como una malla sarán.
- El internet de las cosas es una buena opción para el usuario ya que mediante este podría tener el control del invernadero remotamente, el sistema al ser montado sobre un Controllino PLC que es basado en Arduino, sería una buena propuesta tener una aplicación Android o IOS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

agricola, r. (20 de 03 de 2018). *riego agricola*. Obtenido de riego agricola: <https://www.riego-agricola.com/album/fotogaleria-inicio/flf-png1/>

Agrícolas, N. (04 de 01 de 2018). *Novedades Agrícolas*. Obtenido de Novedades Agrícolas: <http://www.novedades-agricolas.com/es/>

agriculturers. (15 de 02 de 2018). *Red especialista en la agricultura*. Obtenido de Red especialista en la agricultura: <http://agriculturers.com/evaluacion-de-sensores-de-suelo-para-la-automatizacion-del-riego-en-cultivos-hortícolas-bajo-invernadero/>

agroconsulting. (20 de 03 de 2018). *olivicultura de precisión* . Obtenido de olivicultura de precisión : <http://oliviculturadeprecision.com/fertirriego-de-precision-1a-parte/>

Arquigrafico. (23 de 04 de 2018). *Arquigrafico, Architecture, Engineering, Construction*. Obtenido de Arquigrafico, Architecture, Engineering, Construction: <https://arquigrafico.com/que-son-los-invernaderos/>

Aumenta producción y consumo de hortalizas. (2016). *El Agro*, 1.

Automatizado, T. (20 de 03 de 2018). *Todo Automatizado*. Obtenido de Todo Automatizado: <http://electroequiposcr.com/producto/rele-de-estado-solido-ssr-metaltex-tzc/>

Broan. (25 de 03 de 2018). *Broan*. Obtenido de Broan: <http://www.broan.com.ec/industriales.html>

Chapiurco, I. E. (20 de 03 de 2017). *Electrónica Chapiurco*. Obtenido de Electrónica Chapiurco:

<https://iechapiurco.blogspot.com/2017/11/05-encender-un-relevador-con-arduino.html>

Chint. (20 de 03 de 2018). *Material electrico Chint HANSA*. Obtenido de Material electrico Chint

HANSA: http://hansaindustria.com.bo/Catalogos/cat_rev/catalogos/pdf/chint.pdf

Cid, G. (2012). Algunas consideraciones para lograr una agricultura. *Ingeniería Agrícola*, 3-11.

Climate-Data. (09 de 01 de 2017). *Clima Pifo*. Obtenido de Clima Pifo: Clima Pifo

Controllino. (01 de 01 de 2017). *Controllino*. Obtenido de Controllino:

<https://controllino.biz/controllino/maxi-automation/>

coparoman. (15 de 03 de 2018). *coparoman*. Obtenido de coparoman:

<http://coparoman.blogspot.com/2015/04/terminal-de-punta-para-cables-de.html>

Definición ABC. (4 de Enero de 2018). Obtenido de

<https://www.definicionabc.com/salud/hortalizas.php>

eldiario. (10 de Octubre de 2017). Obtenido de [http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-](http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/337717-el-tomate-baja-de-precio/)

[ecuador/337717-el-tomate-baja-de-precio/](http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/337717-el-tomate-baja-de-precio/)

electroniclub. (01 de 02 de 2017). *Ingeniería y diseño electrónico* . Obtenido de Ingeniería y

diseño electrónico : <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22/>

Emisores. (2015). Emisores ein dor. *Tavlit*, 16.

Estec. (01 de 03 de 2018). *Estec*. Obtenido de Estec: [https://estec.cl/category/area-](https://estec.cl/category/area-electrica/bornes-de-conexion/)

[electrica/bornes-de-conexion/](https://estec.cl/category/area-electrica/bornes-de-conexion/)

- Gassó, F., & Solomando, S. (2011). *Estructura e instalaciones de un invernadero*. Barcelona.
- GGB. (25 de Enero de 2017). *Ggb*. Recuperado el 1 de Abril de 2016, de Fallecidos a diciembre 2015: <http://tallersggb.net/chapa-lisa-acero-inoxidable-2b-laminado-en-frio/>
- Granollers, P. P. (2018). Diseño de pantalla. *Diseño industrial*, 46.
- Hortalizas*. (4 de Enero de 2018). Obtenido de <https://www.importancia.org/hortalizas.php>
- InduServices. (15 de Febrero de 2017). *InduServices servicios industriales*. Obtenido de InduServices: <http://www.induservicesecuator.com/descargas/catalogo001.pdf>
- Industry, D. (15 de 03 de 2018). *Salon online de la industria*. Obtenido de Salon online de la industria: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/fusible-cartucho-133704.html>
- Inta. (20 de 03 de 2018). *fertilizando*. Obtenido de fertilizando: <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertirriego%20en%20plantaciones%20frutales%20y%20otros%20cultivos%20a%20campo%20abierto.asp>
- Manguera de Riego Serie A5 PC. (2016). *Rain Bird*, 3.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. Córdoba.
- myrobotself. (01 de 02 de 2017). *my robot self*. Obtenido de my robot self: <https://myrobotself.com/2016/07/23/sensor-de-humedad-del-suelo-modulos-yl-69-y-yl-38/>
- Omron. (2007). Botones de presión. *Botones de presión, interruptores de selección y luces piloto*, 3.

ProfesorMolina. (15 de Enero de 2018). *ProfesorMolina*. Obtenido de www.profesormolina.com.ar/electromec/index.htm

Riera, J. (8 de Octubre de 2011). Obtenido de <https://luxveritatem.wordpress.com/2011/10/08/el-tomate-previene-el-cancer-de-prostata-y-mejora-la-piel/tomate/>

Sistema agricola. (4 de Enero de 2018). Obtenido de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>

Soler&Palau. (10 de 01 de 2018). *Climatización de invernaderos*. Obtenido de Climatización de invernaderos: <http://www.solerpalau.es/es-es/hojas-tecnicas-la-climatizacion-de-invernaderos/>

Tarjuelo, J. (2005). *El riego por aspersión*. Castilla-La Mancha.

Unicrom, E. (10 de 03 de 2018). *Electrónica Unicrom*. Obtenido de Electrónica Unicrom: <https://unicrom.com/fusible/>

Zúñiga, P. (2014). *Manual de producción orgánica de semillas de hortalizas*. Quito.