



**Implementación de un invernadero inteligente mediante la  
utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la  
producción de Begonia (*Begonia Semperflorens* L.) En el invernadero  
“Vivero Girasol” ubicado en la parroquia de Nayón-Quito 2019-2020.**

Andrango Bravo, Stalin Orlando

Departamento de Eléctrica Y Electrónica

Carrera de Tecnología Electromecánica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electromecánica

Ing. Bustillos Escola, Diego Israel

Latacunga

17 de Agosto del 2020

## CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA  
CARRERA DE TECNOLOGIA EN ELECTROMECHANICA

### CERTIFICACION

Certifico que la monografía, "Implementación de un invernadero inteligente mediante la utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la producción de Begonia (Begonia Semperflorens L.) En el invernadero "Vivero Girasol" ubicado en la parroquia de Nayón-Quito 2019-2020" fue realizado por el/los señor/señores Andrango Bravo, Stalin Orlando la cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de agosto del 2020

Firma:

Ing. Bustillos Escolá, Diego Israel

C. C.: 0503159808

**INFORME URKUND****Urkund Analysis Result**

Analysed Document: Monografia Stalin Andrango.pdf (D77753740)  
Submitted: 8/13/2020 10:09:00 PM  
Submitted By: sandrango@espe.edu.ec  
Significance: 0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0



Ing. Diego Israel Bustillos Escola

DOCENTE

## AUTORÍA DE PUBLICACIÓN



### DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

#### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Andrango Bravo, Stalin Orlando**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Implementación de un invernadero inteligente mediante la utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la producción de Begonia (Begonia Semperflorens L.) En el invernadero “Vivero Girasol” ubicado en la parroquia de Nayón-Quito 2019-2020**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 17 de agosto del 2020**

Firma

**Andrango Bravo, Stalin Orlando**

C.C.: 1723420277

## RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA



### DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

#### RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Andrango Bravo, Stalin Orlando**, con cédula de ciudadanía n°1723420277, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Implementación de un invernadero inteligente mediante la utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la producción de Begonia (Begonia Semperflorens L.) En el invernadero “Vivero Girasol” ubicado en la parroquia de Nayón-Quito 2019-2020**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 17 de agosto del 2020**

Firma

**Andrango Bravo, Stalin Orlando**

C.C.: 1723420277

## DEDICATORIA

Por medio de la presente  
quiero dedicar este logro  
a mi Dios y a mis santos  
que me llenaron de salud,  
fuerza y sabiduría. A mis  
padres por todo el  
esfuerzo sobrehumano  
que realizaron, a mi  
hermana y mi sobrina ya  
que espero lo tomen  
como una meta para  
superar. A un gran amigo  
ROBAYO que hoy en día  
ya no se encuentra con  
nosotros pero que nos  
enseñó humildad,  
dedicación y esfuerzo.

ANDRANGO BRAVO, STALIN ORLANDO

## AGRADECIMIENTO

Mediante el presente quiero dar gracias a Dios por llenar de salud a mí y a mis padres por haberle dado las fuerzas para poderme sacar adelante a pesar de las dificultades que se presentaron. A mis padres ya que, con su apoyo tanto moral, espiritual, y económico hoy en día me encuentro terminando mi carrera profesional, por su tiempo, por su dedicación y por sus fuerzas. A mi hermana por el interés que demostró a lo largo de mi carrera y que a pesar de los problemas siempre tenía una solución en sus manos. A mi sobrina ya que ella fue mi motivación y mi motor del día a día cuando sentía que no podía más. A mis primos John, Kevin, Alex, Wilmer, Daniel, Alejandro, que me brindaron sus manos para la realización de mi proyecto. A mis amigos ya que, con las experiencias vividas, consejos y apoyo me llenaron de conocimiento. A mis docentes por su tiempo y dedicación. A mis padrinos Robert Borja y Anita Granja ya que siempre tenían uno o dos consejos para mí los cuales supe escuchar y aplicar correctamente. Sin duda alguna la lista es grande y agradezco a todos los que estuvieron en mi vida y formaron parte de mí.

ANDRANGO BRAVO, STALIN ORLANDO

## RESUMEN

La presente implementación de un invernadero inteligente está diseñado para la producción de Begonias, reduciendo su tiempo de producción y sus costos, con una mejor calidad de productos. Cuenta con un diseño simple y fácil de construir, tomando en cuenta los cálculos y análisis necesarios para adquirir los componentes de automatización para facilitar su rendimiento. El invernadero está implementado con dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos; haciendo que sea posible contar con un sistema de visualización, comprobación y calibración muy útil para su propósito, mediante un tablero eléctrico didáctico podemos manipular las funciones que dispone el invernadero inteligente. Se concluye que el invernadero inteligente permite producir cualquier tipo planta tomando en cuenta las variables de esta, al igual que, estas variables pueden ser modificadas con mucha facilidad por medio de la programación. La construcción de la estructura del invernadero inteligente se basa en la normativa mexicana, así como todos sus componentes eléctricos y electrónicos utilizan la normativa indicada por el fabricante. La utilización de fuentes de alimentación permite trabajar diferentes tipos de voltajes necesarios para el funcionamiento de cada uno de los dispositivos electrónicos, los cuales son los encargados de controlar todos los cálculos relacionados como la humedad, temperatura y horario calendario.

### **Palabras clave:**

- **AUTOMATIZACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES.**
- **INVERNADERO INTELIGENTE**
- **BEGONIA SEMPERFLORENS L.**

## ABSTRACT

The present implementation of a smart greenhouse is designed for the production of Begonias, reducing their production time and costs, with a better quality of products. It has a simple and easy to build design, taking into account the calculations and analysis necessary to acquire the automation components to facilitate its performance. The greenhouse is implemented with electrical, electronic and mechanical devices; making it possible to have a system of visualization, verification and calibration very useful for its purpose, by means of an electric didactic board we can manipulate the functions provided by the intelligent greenhouse. It is concluded that the intelligent greenhouse allows to produce any type of plant taking into account the variables of this, just as, these variables can be modified very easily by means of programming. The construction of the intelligent greenhouse structure is based on Mexican regulations, as well as all its electrical and electronic components use the regulations indicated by the manufacturer. The use of power supplies allows working different types of voltages necessary for the operation of each of the electronic devices, which are responsible for controlling all related calculations such as humidity, temperature and calendar hours.

### **Keys word:**

- **AUTOMATION IN INDUSTRIAL PROCESSES.**
- **SMART GREENHOUSE**
- ***BEGONIA SEMPERFLORENS L.***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	1
CERTIFICACIÓN .....	2
INFORME URKUND.....	3
AUTORÍA DE PUBLICACIÓN.....	4
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA .....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS .....	14
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	16
CAPÍTULO I.....	17
1. Planteamiento del Problema de Investigación.....	17
1.1. Antecedentes.....	17
1.1. Planteamiento del Problema .....	19
1.2. Justificación.....	20

1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo General.....	21
1.3.2. Objetivos Específicos .....	21
1.4. Alcance.....	21
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>23</b>
<b>2. Marco Teórico .....</b>	<b>23</b>
2.1. Invernaderos.....	23
2.1.1. Tipos de Invernaderos.....	23
2.1.2. Variables de un Invernadero.....	25
2.1.3. Equipos de Medición de Temperatura.....	26
2.1.4. Formas de Controlar la Temperatura en un Invernadero. ....	29
2.1.5. Humedad y Riego.....	30
2.1.6. Clasificación de los Métodos de Riego .....	30
2.1.7. Formas de Control de Riego.....	33
2.2. Iluminación .....	34
2.2.1. Tipos de Iluminación .....	35
2.3. Sistemas de Control Automático.....	36
2.4. Autómata Programable .....	39
2.5. Control ON-OFF .....	40
2.6. Begonia.....	40
2.6.1. Características .....	42
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>44</b>
<b>3. Desarrollo del Tema .....</b>	<b>44</b>

<b>3.1. Análisis de las Alternativas del Sistema Mecánico</b> .....	<b>44</b>
3.1.1. Requerimientos.....	44
3.1.2. Invernadero.....	45
3.1.3. Bombas Hidrostáticas .....	48
3.1.4. Aspersores.....	51
3.1.5. Dimensionamiento de la Bomba.....	53
3.1.6. Dimensionamiento de Aspersores .....	56
3.1.7. Análisis de las Alternativas del Sistema Eléctrico.....	56
<b>3.2. Requerimientos Eléctricos</b> .....	<b>56</b>
3.2.1. Sensores Térmicos .....	57
3.2.2. Sensor de humedad.....	59
3.2.3. Controlador .....	61
3.2.4. HMI .....	63
<b>3.3. Conceptos seleccionados</b> .....	<b>65</b>
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>67</b>
<b>4. Implementación</b> .....	<b>67</b>
4.1. Estructura.....	67
4.2. Hidráulica.....	69
4.3. Eléctrica.....	70
4.4. Calibre del cable.....	71
4.5. Electrónica.....	73
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>78</b>
<b>5. Puesta en Marcha</b> .....	<b>78</b>

5.1. Iluminación.....	78
5.2. Riego.....	79
5.3. Cortina y carro móvil de riego.....	81
5.4. Optimización.....	83
5.5. Mantenimiento.....	86
5.6. Características del tablero eléctrico.....	86
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>89</b>
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>89</b>
6.1. Conclusiones.....	89
6.2. Recomendaciones.....	89
<b>7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>90</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>92</b>
<i>Anexo A. Reconocimiento del lugar de trabajo.</i>	
<i>Anexo B. Estructura del invernadero.</i>	
<i>Anexo C. Implementación del sistema de riego.</i>	
<i>Anexo D. Adecuación del área de plantación.</i>	
<i>Anexo E. Diseño del sistema mecánico para el riego aéreo.</i>	
<i>Anexo F. Cortina automática.</i>	
<i>Anexo G. Tablero eléctrico.</i>	
<i>Anexo H. Planos eléctrico y tubería</i>	
<i>Anexo I. Norma Mexiana</i>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Invernadero tipo túnel</i> .....	<b>24</b>
<b>Figura 2.</b> <i>La temperatura en el florecimiento de una planta</i> .....	<b>26</b>
<b>Figura 3.</b> <i>Principios fundamentales de un termopar.</i> .....	<b>27</b>
<b>Figura 4.</b> <i>Lazo abierto de control.</i> .....	<b>34</b>
<b>Figura 5.</b> <i>Lazo cerrado de control</i> .....	<b>34</b>
<b>Figura 6.</b> <i>Diagrama de bloques.</i> .....	<b>37</b>
<b>Figura 7.</b> <i>Operaciones de los diagramas de bloques</i> .....	<b>38</b>
<b>Figura 8.</b> <i>Operaciones aritméticas</i> .....	<b>38</b>
<b>Figura 9.</b> <i>Esquema de control On-Off</i> .....	<b>40</b>
<b>Figura 10.</b> <i>Flor de begonia</i> .....	<b>42</b>
<b>Figura 11.</b> <i>Diagrama hidráulico</i> .....	<b>54</b>
<b>Figura 12.</b> <i>Estructura del invernadero</i> .....	<b>67</b>
<b>Figura 13.</b> <i>Carro móvil de riego</i> .....	<b>68</b>
<b>Figura 14.</b> <i>Posicionamiento de poleas</i> .....	<b>69</b>
<b>Figura 15.</b> <i>Esquema de conexión Hidráulica</i> .....	<b>70</b>
<b>Figura 16.</b> <i>Catalogo para selección de cable</i> .....	<b>72</b>
<b>Figura 17.</b> <i>Esquema de conexión de los actuadores</i> .....	<b>73</b>
<b>Figura 18.</b> <i>Esquema de conexión de control</i> .....	<b>74</b>
<b>Figura 19.</b> <i>Funcionamiento controladores lógicos</i> .....	<b>74</b>
<b>Figura 20.</b> <i>Proceso manual</i> .....	<b>75</b>
<b>Figura 21.</b> <i>Proceso automático</i> .....	<b>76</b>
<b>Figura 22.</b> <i>Puesta en marcha del sistema de iluminación</i> .....	<b>79</b>
<b>Figura 23.</b> <i>Puesta en marcha del sistema de riego</i> .....	<b>81</b>
<b>Figura 24.</b> <i>Cortina y carro de riego</i> .....	<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Prioridades</i> .....	<b>45</b>
<b>Tabla 2.</b> <i>Tipos de invernaderos</i> .....	<b>45</b>
<b>Tabla 3.</b> <i>Criterio de diseño del invernadero</i> .....	<b>48</b>
<b>Tabla 4.</b> <i>Tipos de Bombas</i> .....	<b>48</b>
<b>Tabla 5.</b> <i>Criterio de selección de la bomba</i> .....	<b>50</b>
<b>Tabla 6.</b> <i>Tipos de aspersores</i> .....	<b>51</b>
<b>Tabla 7.</b> <i>Criterio de selección de aspersores</i> .....	<b>53</b>
<b>Tabla 8.</b> <i>Características de la bomba periférica</i> .....	<b>55</b>
<b>Tabla 9.</b> <i>Requerimiento de la parte electrónica</i> .....	<b>57</b>
<b>Tabla 10.</b> <i>Tipos de sensores térmicos</i> .....	<b>57</b>
<b>Tabla 11.</b> <i>Requerimiento de los sensores térmicos</i> .....	<b>59</b>
<b>Tabla 12.</b> <i>Tipos de sensores de humedad</i> .....	<b>59</b>
<b>Tabla 13.</b> <i>Requerimiento de sensor de humedad</i> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 14.</b> <i>Tipos de controladores</i> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 15.</b> <i>Requerimiento para el controlador</i> .....	<b>63</b>
<b>Tabla 16.</b> <i>Tipos de HMI</i> .....	<b>63</b>
<b>Tabla 17.</b> <i>Requerimiento para el HMI</i> .....	<b>65</b>
<b>Tabla 18.</b> <i>Conceptos de selección</i> .....	<b>65</b>
<b>Tabla 19.</b> <i>Análisis de cargas</i> .....	<b>71</b>
<b>Tabla 20.</b> <i>Costo energía mensual</i> .....	<b>83</b>
<b>Tabla 21.</b> <i>Costo agua mensual</i> .....	<b>83</b>
<b>Tabla 22.</b> <i>Análisis de producción de Begonia</i> .....	<b>84</b>
<b>Tabla 23.</b> <i>Gráfico tabla 22</i> .....	<b>84</b>
<b>Tabla 24.</b> <i>Gráfico tabla 22</i> .....	<b>85</b>
<b>Tabla 25.</b> <i>Tablero eléctrico “Vivero girasol”</i> .....	<b>88</b>

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1. <i>Bernoulli</i>.....</b>	<b>54</b>
<b>Ecuación 2. <i>Método de igualación.</i> .....</b>	<b>54</b>
<b>Ecuación 3. <i>Energía del sistema</i>.....</b>	<b>54</b>
<b>Ecuación 4. <i>Ecuación Potencia</i>.....</b>	<b>55</b>
<b>Ecuación 5. <i>Ecuación ley de Ohm</i> .....</b>	<b>71</b>

## CAPÍTULO I

### 1. Planteamiento del Problema de Investigación

#### TEMA:

Implementación de un invernadero inteligente mediante la utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la producción de begonia (begonia semperflorens l.) En el invernadero “vivero girasol” ubicado en la parroquia de nayón-quito 2019-2020.

#### 1.1. Antecedentes

En la actualidad la exigencia de organismos de agricultura ha obligado a las empresas a cumplir con ciertas normativas que le permiten el correcto funcionamiento de las instalaciones, para ello se ha visto en la necesidad de implantar diagramas unifilares, sistemas de riego automatizados, equipos de ventilación, equipos de protección eléctrica, sistemas eléctricos, dispositivos de control de temperatura, sensores, necesarios para una adecuada automatización del invernadero; de manera particular el “Vivero Girasol” cuenta con un sistema manual que le permite laborar sin ningún tipo de inconveniente.

Por la importancia del tema se han desarrollado trabajos como los que se indica a continuación:

Citas:

- La automatización de un invernadero proyecto investigado por Baptista (Baptista et al., n.d.) Dice: “Para lograr mejorar los sistemas de los invernaderos y mejorar para mantenerlos automatizados para preocuparnos menos por el bienestar de nuestro producto”. Mediante su proyecto se obtuvo el siguiente resultado: “En el presente proyecto la empresa distribuidora de la energía eléctrica FECSA ENDESA, después de la recepción y aprobación de un estudio técnico detallado donde figuren la

relación de los receptores y potencias, decidiendo la propuesta de conectar la instalación de la red eléctrica subterránea de baja tensión próxima para los terrenos de la propiedad, mediante un centro de transformación de la compañía. (Baptista et al., n.d.).

- El ahorro de energía en invernaderos mediante el uso de iluminación led proyecto investigado por Durán Jorge (2015) dice: “El ahorro energético o ahorro de la energía se refiere a la optimización del consumo eléctrico con el fin de ahorrar costos y ayudar a disminuir las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático, el cual es evidente y es necesario aprender a utilizar la energía eléctrica de una manera más económica y respetuosa con nuestro ambiente”. Mediante su proyecto se obtuvo el siguiente resultado: “Los particulares y las industrias que son consumidores de la energía eléctrica pueden reducir el consumo energético para disminuir costos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar eficacia y maximizar así el beneficio que brindan las nuevas tecnologías en materia de iluminación.” (Hugo et al., n.d.).
- El mejoramiento de la red eléctrica y telecomunicaciones de la institución educativa Boyacá de Perreira proyecto realizado por Michael Andres Hoyos Castaño (2012) dice: “el estado actual de la red, hace necesario que este sea sustituido por uno que brinde las garantías necesarias para el buen funcionamiento de las instituciones, puesto que se presentan problemas tanto en el diseño eléctrico como en el de telecomunicaciones, debido a que no hay cumplimiento con la normatividad vigente”. Mediante su proyecto se obtuvo el siguiente resultado: “Para el diseño eléctrico de una institución eléctrica, el RETIE y la norma NTC 2050 exigen distancias para

la ubicación de las salidas de fuerza en los salones de clases y baños, por lo que se realizó el diseño eléctrico con base a las necesidades y fallas del sistema existente”. (Hugo et al., n.d.).

Por lo expuesto es necesario que el “Vivero Girasol” implemente equipos de automatización que faciliten la revisión preventiva, colectiva de los equipos eléctricos, de este modo el invernadero tendrá un sistema automatizado adecuado para su correcto funcionamiento.

### **1.1. Planteamiento del Problema**

El “Vivero Girasol” fue creado en enero de 1995 para brindar servicios de jardinería, mantenimiento de jardines, producción de plantas, entre otras; mismo que desde tiempos atrás no cuentan con un sistema automatizado.

- La producción de la Begonia decaería significativamente de tal manera que afecta el estado económico de los propietarios y una baja producción en el invernadero.
- Debido a la demanda y la competencia, recae en la necesidad de implementar un sistema automatizado en el invernadero con el fin de abastecer la demanda y mejorar la calidad de los productos ante la competencia existente en el mercado.
- Tanto productores como distribuidores presentan grados de insatisfacción que limitan la venta de la Begonia, el invernadero se ve en la necesidad de tomar medidas preventivas y correctivas para evitar una baja producción.
- Los clientes dejarán de acudir al invernadero para la compra de productos de jardinería lo que producirá un decaimiento en la economía del invernadero.
- Baja producción de Begonia ante una gran demanda.

## 1.2. Justificación

Las exigencias por parte de organismos de agricultura hoy en día obligan a los invernaderos a cumplir normas establecidas para la producción de Begonias, por esta razón deben optimizar, dotar e implementar equipos para la adecuada automatización; particularmente transductores que permita a los productores controlar las variables de temperatura, humedad e iluminación para aumentar la producción.

- La producción de Begonias aumentará significativamente.
- La calidad de las Begonias se incrementará ante la competencia.
- La entrega de begonias se realizará en el tiempo establecido.
- Se mejorarán los grados de satisfacción tanto de productores como de distribuidores.

El “Vivero Girasol” podrá laborar con el sistema automatizado reduciendo el tiempo de hibernación de los productos a comparación con el tiempo de producción manual.

Las personas que se beneficiarán del trabajo investigativo serán los propietarios, trabajadores y distribuidores por que contarán con un invernadero inteligente el cual facilita la producción de Begonias de una forma segura y obteniendo un producto de calidad. Se beneficiarán del presente trabajo investigativo, los propietarios porque contarán con un invernadero inteligente que facilitará la producción de Begonias, los trabajadores porque podrán laborar sin ningún tipo de riesgo, los distribuidores porque contarán con productos de calidad para su respectiva venta; esto permitirá que el invernadero mantenga su prestigio de gran productor de Begonias.

Por lo expuesto es importante que los invernaderos particularmente el invernadero “Vivero Girasol” implemente un invernadero inteligente con el uso de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Implementar un invernadero inteligente mediante la utilización de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para la producción de Begonia (*Begonia semperflorens* L.) En el invernadero “Vivero Girasol” ubicado en la parroquia de Nayón-Quito 2019-2020.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Analizar los tipos de estructuras de invernaderos para favorecer el crecimiento de la Begonia Tomando en cuenta las variables de temperatura, iluminación y humedad mediante normas estandarizadas.

Seleccionar los componentes adecuados para el sistema de control y de potencia del invernadero que permitan el funcionamiento óptimo bajo las condiciones ambientales que se producen dentro del invernadero.

Implementación del sistema de control y de potencia en el invernadero “Vivero Girasol” utilizando materiales y herramientas necesarias para la automatización de iluminación y el control de variables como humedad y temperatura.

Realizar pruebas del invernadero inteligente mediante la puesta en marcha de los dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para determinar el tiempo y espacio necesario para la producción.

### **1.4. Alcance.**

El presente trabajo abarca la implementación de equipos para la automatización de iluminación y control de: temperatura y humedad en el

invernadero “Vivero Girasol” como método para el incremento de producción masiva de Begonias, elevando la calidad de los productos y la facilidad de operación y control del sistema de producción, recurriendo al uso de sensores capacitivos, inductivos, interruptores, PLC-HMI, indicadores de luces piloto en los tableros de control y demás elementos electrónicos para la automatización del invernadero inteligente.

- El material de la estructura será de acero galvanizado, la altura mínima del invernadero es de 3m del piso a la punta pilar y a 5m a la punta de la cercha, estas medidas son recomendadas para zonas sobre los 2000 m.s.n.m.
- El área del invernadero será de  $60m^2$ .
- El material de la cubierta será de polietileno de baja densidad, el espesor será entre 150 y 200 micras (0,15 a 0,20 mm).
- El tablero de control estará constituido por: pulsadores, luces piloto, displays, paro de emergencia, dispositivos eléctricos y electrónicos de control con un área de (2x1) m de acero inoxidable con un espesor de 0,15mm.
- Los conductores serán THHN 12 A.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Invernaderos

Se denomina como un invernadero a un espacio o área delimitada para el cultivo de plantas el cual tiene por característica principal el paso de los rayos solares a través de su recubrimiento razón por la cual es muy común el uso de materiales como el plástico o el vidrio, además de atrapar diferentes frecuencias espectrales lo cual genera que la temperatura del interior aumente, es gracias a este fenómeno que nosotros podemos controlar variables como; iluminación, temperatura, humedad y gases que sirven o favorecen el crecimiento de una planta. (Carlos López Hernández & Pérez-Parra, n.d.).

##### 2.1.1. Tipos de Invernaderos

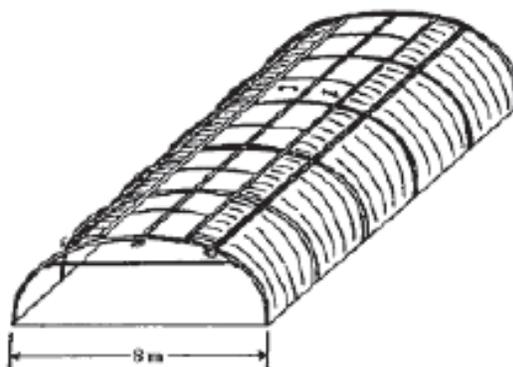
**Invernadero tipo túnel.** El diseño de este tipo de invernaderos es capaz de soportar grandes velocidades de viento tienen la principal característica de permitir el ingreso de gran cantidad de luz. El aire caliente se enfría rápidamente con lo cual obtenemos una inversión térmica dentro del invernadero. [1](Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016).

Es uno de los más indicados al momento de realizar la producción de cualquier variedad de plantas ya que cuenta con las especificaciones más acertadas para una producción masiva.

La inclinación de la cubierta es diferente dependiendo la cantidad de radiación (oscila entre 15 y 35°). La dimensión del ancho oscila entre 6 y 12m (incluso mayores), por largo variable. Las alturas de las paredes oscilan entre 2,0-2,5m y el techo 3,0-3,5m (además de ello se pueden elaborar con menor altura que los señalados, pero no es recomendable) (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016) . Figura1.

## Figura 1.

*Invernadero tipo túnel.*



Nota: el gráfico representa un tipo de invernadero. Tomado de Samaniego, (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016).

**Invernadero tipo capilla.** Este tipo de invernaderos se caracteriza por tener dos techos con una cubierta pendiente, además de ser construido con materiales flexibles y a la medida. Son especiales para la siembra de arbustos, además de tener muy poca inercia térmica y difícil ventilación [2]. (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016)

**Invernadero en diente de sierra.** Son creados para ambientes con mínimas precipitaciones y con un alto índice de radiación solar. Incluye pilares y en su cubierta usa materiales flexibles o rígidos. Su forma permite recolectar agua lluvia [3]. (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016)

**Invernaderos con techumbre curva.** Cubre más terreno de producción y con alturas que superan a los antes mencionados. Posee una gran inercia térmica que permite mantener la temperatura dentro del invernadero. Su forma no permite

agregar más puntos de ventilación [4]. (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016)

**Invernadero tipo parral.** Posee un tendido de alambres entre columna y columna que forma la pared que cubre el invernadero, soporta todo el recubrimiento plástico y permite cubrir una zona extensa. Tiene alta inercia térmica por la gran masa de aire que alberga en su interior. Permite mayor incidencia de luz [5]. (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016)

### **2.1.2. Variables de un Invernadero**

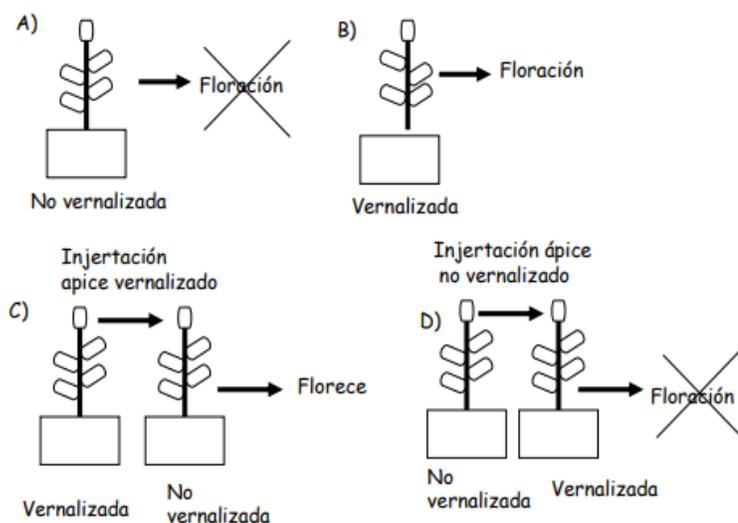
Dentro de un invernadero existen muchas variables y parámetros los cuales son modificados de acuerdo a la planta que va a estar en su interior o a aplicabilidad, por lo general las variables que más se controlan son temperatura y humedad del aire, pero para el caso de las begonias se controlara una tercera variable que es la luminosidad con la finalidad de realizar un efecto más rápido en la temperatura. Además, existen otros tipos de variables como el PH, humedad del suelo, gases como el CO<sub>2</sub> los cuales no son relevantes para el desarrollo de la planta Begonia por lo cual se tomarán los valores estándar de la zona. (Fernández & Johnston, n.d.)

**Temperatura.** La temperatura es uno de los factores más importantes ya que esta determina la adaptación de las plantas en diferentes entornos naturales dado que altera diversas funciones vitales. Dentro de los parámetros que afectan a determinada capacidad de una alteración química; las cambiantes de estado de los líquidos (hielo - líquido – vapor), cambiantes en la estructura y movimiento de partículas, las funciones asociadas a la membrana y la actividad enzimática. (Fernández & Johnston, n.d.)

Para un correcto crecimiento es necesario controlar la temperatura de acuerdo al tipo de especie que se desea cultivar puesto que de no ser así la planta no se puede desarrollar adecuadamente a este término se lo conoce como vernalización. Figura 2.

### Figura 2.

*La temperatura en el florecimiento de una planta.*



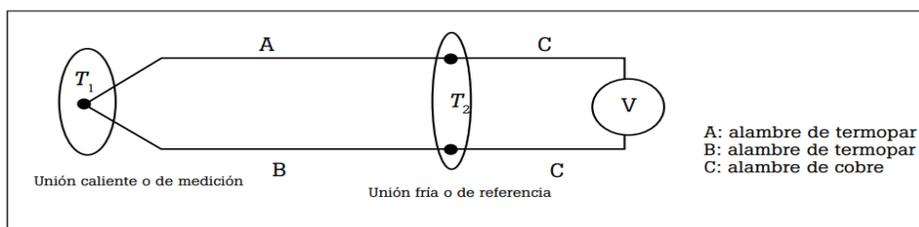
Nota: El gráfico representa el proceso de florecimiento de la planta, (Control Nelson Wladimir Romero Samaniego & Sebastián Yáñez Morillo, 2016).

### 2.1.3. Equipos de Medición de Temperatura.

**Termocuplas.** Los equipos denominados termocuplas son los dispositivos que permiten analizar la variación de temperatura eléctrica haciéndolos los más utilizados en la industria. Una termocupla está constituida por dos filamentos de distinto material unidos en un extremo, al someterse a temperatura en la conexión de los metales se genera un voltaje muy pequeño causado por el efecto Seebeck, en el rango establecido como milivolts el cual aumenta con la temperatura. (Fernández & Johnston, n.d.). Figura 3.

**Figura 3.**

*Principios fundamentales de un termopar.*



Nota: Principio básico del funcionamiento del termopar, (Fernández & Johnston, n.d.).

En el mercado existen varios tipos de termocuplas los cuales constan de diferentes rangos de medición, este tipo de sensores no generan histéresis y sobre todo presentan una gran linealidad lo que genera una gran ventaja al realizar cualquier tipo de control,

**Termistores.** Estos dispositivos en la relación de precio son más económicos que las RTD, a pesar de que no poseen la capacidad lineal son mucho más sensibles, está constituido de una serie de elementos metálicos reducidos que han sido ampliamente investigados para su respectivo uso, el termistor es rigurosamente un semiconductor que se ejerce como un "resistor térmico". Se pueden hallar en distintas partes del mercado con la denominación NTC (Negative Temperature Coeficient ) con una existencia determinada de coeficiente positivo cuando su resistividad aumenta significativamente con la temperatura y se los expresa como PTC (Positive Temperature Coeficient). (Fernández & Johnston, n.d.)

En diversos casos, la resistencia de un termistor antes mencionado varía con respecto a la temperatura ambiente, puede disminuir en hasta 6% por cada 1°C de temperatura como un margen de error. Este aumento de sensibilidad en las variable de la temperatura produce que el termistor resulte el más adecuado para

realizar cualquier tipo de mediciones precisas de temperatura, aplicándolo ampliamente para manejo de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C. (Fernández & Johnston, n.d.)

**Termómetros infrarrojos.** Los termómetros Infrarrojos son capaces de medir la temperatura de un cualquier tipo de objeto sin la necesidad de manipularlo. Existen diversos casos en los que la adquisición de datos de temperatura sin manipulación directa es crítica: Necesita de gran mayoría si el elemento medido es pequeño, movable o inaccesible; para el desarrollo dinámico que exigen una respuesta rápida; o para temperaturas >1000°C. (Fernández & Johnston, n.d.)

La mayoría de los termómetros más conocidos debe ponerse en contacto directo con la fuente de temperatura, y tiene un rango útil de -100 °C à 1500°C. En definición, los termómetros infrarrojos evalúan la temperatura de cualquier superficie de un objeto el cual se produce al ser interceptado y medido conforme la radiación infrarroja que este emite. El escalón típico de temperatura para dichos termómetros es -50°C a 3000°C de un determinado lugar remoto. Las longitudes de trabajo pueden cambiar desde una fracción de centímetro a distintos kilómetros en aplicaciones aerotransportadas. (Fernández & Johnston, n.d.)

Este tipo de sensores son estrictamente utilizados para personal de medicina ya que solamente con tener contacto con el cuerpo mediante el infrarrojo de dicho equipo hacía una persona se obtienen mediciones más exactas que cualquier otro tipo de dispositivo de medición.

**Termorresistencia.** La Termorresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Posee elementos sensitivos fundamentados en conductores metálicos, que

evolucionan su resistencia eléctrica en función de la temperatura o de algún tipo de resistividad. (Alagria, 2016)

#### **2.1.4. Formas de Controlar la Temperatura en un Invernadero.**

**Ventilación natural.** La ventilación natural dependerá del área de las ventanas que está posesa en las paredes del invernadero este tipo de ventilación no se puede controlar al momento de regular la temperatura en el interior de un invernadero.(Carlos López Hernández & Pérez-Parra, n.d.)

**Ventilación forzada.** Para conseguir una adecuada ventilación dentro de un invernadero para regular la temperatura se puede implementar equipos de ventilación que ayudan a recircular aire del exterior hacia el interior de las instalaciones. Para ello se pueden utilizar ventiladores en el interior del invernadero para ayudar a evacuar el aire caliente que se encuentra en las instalaciones, así también se puede ayudar a una mayor evacuación utilizando extractores para mejorar el intercambio de aire en menos tiempo. (Carlos López Hernández & Pérez-Parra, n.d.)

De esta manera se puede controlar el aire en el interior del invernadero utilizando equipos que ayuden la circulación de aire frío por aire caliente.

**Mallas para invernaderos.** La trascendencia de la radiación solar como variable concluyente de crecimiento y producción de los cultivos requiere su respectivo análisis de resultados. Los porcentajes para un adecuado manejo de sombreo que establecen los fabricantes de mallas, al detallar, son identificados fácilmente por ser porcentajes de estudio que se han medido en laboratorio con principios de luz artificiales (descritos como radiación natural) y con una inclinación de cero. (Carlos López Hernández & Pérez-Parra, n.d.)

El método más utilizado por los productores en los invernaderos para control de temperatura es implementando mallas de sombra ya que es más

económico y ayuda no solo a controlar la temperatura ambiental, sino que también ayuda a reflejar los rayos UV que es uno de los elementos más importantes para el crecimiento de las plantas dentro de un invernadero.

**Enfriamiento por nebulización.** Este sistema utiliza el principio de nebulización fina. Por medio de boquillas distribuidas generalmente en la parte superior del invernadero la cual proyecta agua en forma de microgotas de 2 a 100 micras dependiendo del diámetro del aspersor estas se evaporan antes de llegar al suelo y hacen que el aire baje su temperatura y aumenta el porcentaje de humedad en el ambiente.

#### **2.1.5. Humedad y Riego**

Es una variable muy importante cuando se cultivan plantas en un invernadero, ya que una baja humedad podría provocar alta tensión hídrica en las plántulas eso se puede provocar por la alta transpiración de la planta mientras que un exceso de humedad puede provocar la aparición de microorganismos y algas lo que sería un gran problema para los dueños de los viveros y para las plantas, una humedad que se encuentre en el rango adecuado para la planta generaría un incremento en el crecimiento, esto sin el temor que aparezca algas o algún otro organismo perjudicial para la planta. (Alagria, 2016)

#### **2.1.6. Clasificación de los Métodos de Riego**

Andrade C. (2018) indica que los métodos de riego establecen técnicas para infiltrar el agua al perfil del suelo donde se desarrollan las raíces, hasta un contenido de humedad respectiva para el cultivo deseado.

**Riego por goteo.** El sistema de riego por goteo utilizado en los invernaderos permite una óptima utilización de agua abonada distribuyendo de una manera muy adecuada en una zona respectiva. Este método de transporte de agua es a través de tuberías y mangueras a presión, en muchos de los casos es

necesario utilizar las pendientes que se presentan en el terreno de no poseer ningún tipo de pendiente se realizará la implementación de un sistema de bombeo. (Cardozoperez Manuel Eduardo Diaz Martinez Mario Julian Trabajo De Grado Ing Jorge Luis Corredor Rivero, 2014)

El agua que se aplica por este método se dirige hacia las raíces de las plantas de manera directa ya que está diseñado para que gotee directamente en cada una de las raíces de las plantas o a su vez en el sector deseado del suelo para evitar desperdicio de agua o abono.

**Riego por aspersión.** Este tipo de riego es muy utilizado en grandes extensiones ya que distribuye el agua de una manera más uniforme en forma de lluvia o neblina dando así un mejor uso del recurso hídrico. Un método de riego por aspersión se fundamenta de una red de tuberías o tubos con una serie de acoples que contiene diferentes aspersores en casa salida o terminal de la tubería. (Cardozoperez Manuel Eduardo Diaz Martinez Mario Julian Trabajo De Grado Ing Jorge Luis Corredor Rivero, 2014)

**Riego por microaspersión.** Este método de riego consiste en evitar enviar gotas de agua al suelo para ellos requiere niveles de presión moderados incluso menor que el método de aspersión. Este método de riego es recomendable para cultivos de frutas, riegos en viveros y algunas hortalizas normalmente estos son los más comunes dentro de un invernadero a la hora de realizar el riego ya que es un sistema muy fácil de hacer y no tiene costos. (Cardozoperez Manuel Eduardo Diaz Martinez Mario Julian Trabajo De Grado Ing Jorge Luis Corredor Rivero, 2014)

**Riego por surcos.** En este método de riego el agua para las plantas se mueve simplemente por la fuerza de gravedad y utilizando las pendientes que contenga el suelo, el diseño adecuado de los surcos se debe realizar en función

de la inclinación del entorno para aprovechar de mejor manera el agua en las raíces de las plantas. (Cardozoperez Manuel Eduardo Diaz Martinez Mario Julian Trabajo De Grado Ing Jorge Luis Corredor Rivero, 2014)

**Riego por melgas.** Este método de riego es similar al de surcos ya que se aprovecha las ventajas que posee el suelo, el agua se mueve desde la cabecera hasta el pie de la franja de plantación, es muy utilizado para plantaciones de cereales, pasturas y algunos casos frutales. (Cardozoperez Manuel Eduardo Diaz Martinez Mario Julian Trabajo De Grado Ing Jorge Luis Corredor Rivero, 2014)

Equipos de medición de humedad

**Sensores mecánicos (Por deformación).** Este tipo de sensores tienen un funcionamiento muy particular ya que se utilizan materiales los cuales reaccionan ante la presencia de humedad del ambiente. Cuando existe un aumento de humedad dentro de las fibras del sensor estos cambian considerablemente su tamaño dicho en otras palabras se alargan, después de dicho proceso la deformación producida en los filamentos es necesario tomar los datos con una placa mecánica o circuitos electrónicos para ser calibrada con proporción a la humedad que existe dentro de los filamentos. (Sánchez et al., 2008)

**Sensor de humedad volumétrica y temperaturas de suelos.** Este dispositivo consiste en una parte electromecánica que se coloca generalmente en el suelo donde se desea realizar la medición de humedad y temperatura, consiste en un capacitor de placas metálicas en el cual su capacitancia varía conforme a la humedad del suelo, y su otra constitución es un circuito electrónico la cual le permite realizar conversiones de los valores de capacitancia en una señal eléctrica muy pequeña la cual deberá ser procesada y transmitida digitalmente. (Sánchez et al., 2008)

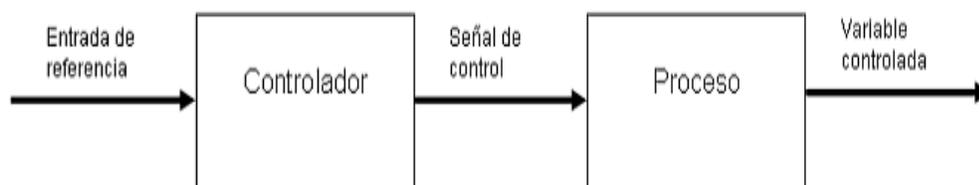
Adicional a esto posee un sensor de temperatura dicha señal será analógica/digital la cual será codificada y transmitida para su correcto manejo de datos (Alagria, 2016)

### **2.1.7. Formas de Control de Riego**

Cuando hablamos de un sistema de riego automatizado esta cobra una gran importancia debido a la programación de sus sistemas para que estos puedan ser los correctos al momento del funcionamiento. Debido a la importancia de un sistema de riego este juega un rol muy importante al llevarse a cabo dicha ejecución. El sistema de riego para un invernadero se lo puede manejar de manera automática o manuales estos pueden ser de un lazo abierto o cerrado. (Alagria, 2016)

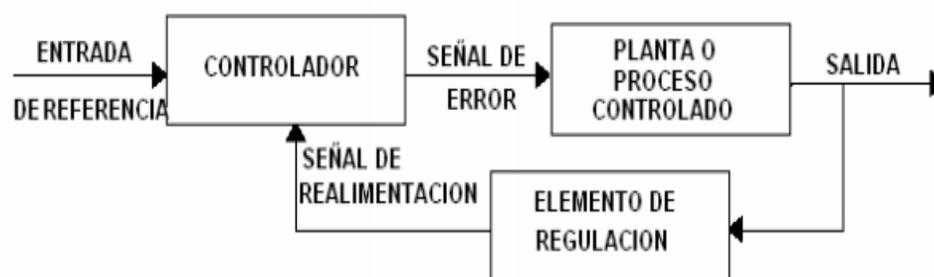
**Riego manual.** Cuando se emplea la operación de riego de manera manual el operario necesariamente debe efectuar la apertura y cierre de las válvulas, de esta manera el operario debe basarse en su experiencia y recomendaciones que ha adquirido referente a la humedad que debe mantener en el suelo.(Sánchez et al., 2008)

**Riego automático a lazo abierto.** El lazo abierto dentro del sector agrícola es el más común que podemos encontrar al aire libre ya que el bucle de abierto y cerrado de válvulas de riego es temporizado sin tener en cuenta la humedad o la temperatura, este tipo de control genera un gran consumo de agua y esto afecta directamente en el crecimiento de las plantas, esto se genera debido a que este sistema de control no consta de una retroalimentación para corregir estados de activación o desactivación. A pesar de esto es muy utilizado debido a su bajo costo de implementación y la dificultad de controlar y manipular el resto de variables. Figura 4.

**Figura 4.***Lazo abierto de control.*

Nota: Esquema básico de un lazo de control. (Hugo et al., n.d.).

**Riego automático a lazo cerrado** En este método de riego las acciones para controlar el accionamiento de bombas y de las diferentes válvulas para el riego, estas deben ser ejecutadas de tal manera que se alcance la referencia de humedad deseada en el suelo. Todas las referencias necesarias para el tratamiento de riego deben ser establecidas por el agricultor al igual que en el sistema de riego manual. (Hugo et al., n.d.). Figura 5.

**Figura 5.***Lazo cerrado de control.*

Nota: Esquema básico de un lazo de control, (Hugo et al., n.d.).

## 2.2. Iluminación

El sol es la principal fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de la planta ya que es el que le proporciona radiación la cual utiliza para realizar el proceso vital de las plantas que es la fotosíntesis, el espectro electromagnético

que oscila en un rango de 400 y 700 nanómetros la cual es denominada como Fotosintéticamente activa (PAR). Esta radiación influye directamente en la productividad del invernadero por lo cual es necesario analizar y modificar la cantidad y la calidad de radiación que llega a las plantas.(Hugo et al., n.d.)

### **2.2.1. Tipos de Iluminación**

Los tipos de lámparas más utilizadas son las incandescentes, los tubos fluorescentes (FT), las de sodio de alta presión (HPS), las de halogenuros metálicos (HID) y las LED, donde los tubos fluorescentes y HPS son actualmente los más usados en instalaciones dentro de invernaderos.(Hugo et al., n.d.)

**Iluminación LED.** Las lámparas Leds pertenecen a la llamada “iluminación de estado sólido” (SSL por sus siglas en inglés), esto se debe a que la luz es emitida por un semiconductor que es un objeto sólido, sin intervención de gases como las lámparas anteriores. Estos pequeños dispositivos están formados por un chip de un material semiconductor con impurezas y emiten en un estrecho espectro de emisión. Su funcionamiento se basa en un paso cruzado por una corriente unidireccional de electrones. Al saltar esta sinapsis, los electrones caen a un nivel energético inferior y emiten la diferencia de energía causada por las impurezas en forma de luz, ya que el color (la longitud de onda) está condicionada por la diferencia de energía (Yeh 2009). De esta manera, controlando la composición del material del diodo, los leds permiten la selección de una estrecha banda del espectro electromagnético, y mediante la combinación de varios leds se permite el control espectral (Van leperen 2012), pero esta no es su única ventaja. En comparación con las HPS y las FT los leds producen muy poco calor radiante, permitiendo la instalación de las lámparas mucho más cerca de la planta sin quemarla, unos tiempos de encendido y apagado inapreciable. Su vida útil es superior a los demás con un tiempo entre 25000-50000 horas.

**Incandescente.** Su instalación y mantenimiento es barato debido a que no utiliza demasiados dispositivos, sin embargo, el consumo de energía se transforma en luz infrarroja lo cual es un peligro para las plantas ya que las quema y solo el 12% de la energía se transforma en luz visible. Su vida útil es muy corta con aproximadamente 1000 horas.

**Fluorescentes.** Se utilizan principalmente para la germinación de semillas, tienen más del doble de la eficiencia que un incandescente, la superficie de emisión es bastante grande y además emite poco calor por lo cual se puede instalar cerca de las plantas sin embargo necesitan de varios complementos como el balasto, sin embargo, causa demasiada sombra. Su vida útil es muy corta con aproximadamente 7500 horas.

**Descarga de alta intensidad.** En general tienen alta eficiencia cerca del (30%), al igual que las fluorescentes necesitan de dispositivos adicionales para funcionar correctamente generan menos cantidad de sombra. Tienen una buena composición espectral lo cual las hace adecuadas para el uso en invernaderos. Su vida útil es muy corta con aproximadamente 15000-25000 horas (Alegría, 2016).

### **2.3. Sistemas de Control Automático.**

Un sistema automático se puede definir como la relación de entre un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos, de manera que inspeccione o controle una determinada acción por sí mismo (bajo ciertas condiciones conocidas), es decir que dentro del sistema no es necesario la intervención de recursos humanos para un correcto funcionamiento, si dentro del sistema se presenta algún posible error, el sistema mismo trata de corregirlo autónomamente.

En la actualidad todo sistema de control presenta una parte determinada actuadora, que se refiere a todo el sistema físico que realiza el control, y otra parte

de control que genera todas las órdenes a la parte actuadora para realizar las acciones de control.

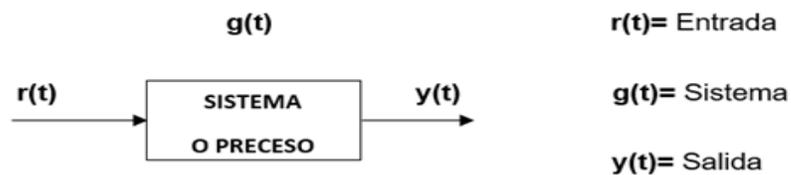
Un ejemplo de sistema de control automático se puede constituir al control de temperatura de una habitación por medio de un sensor llamado termostato, en la que se determina una temperatura de referencia. Si la temperatura de la habitación es inferior a la deseada el sistema introducirá calor a la habitación lo que incrementa la temperatura a la deseada.

Los sistemas de control se representan por medio de un diagrama de bloques, el cual es una expresión visual y simplificada del proceso de control relacionando la entrada y salida de un sistema físico.

El diagrama de control más simple es el que posee una sola entrada y una salida como se muestra en la siguiente figura. Figura 6.

### Figura 6.

*Diagrama de bloques.*

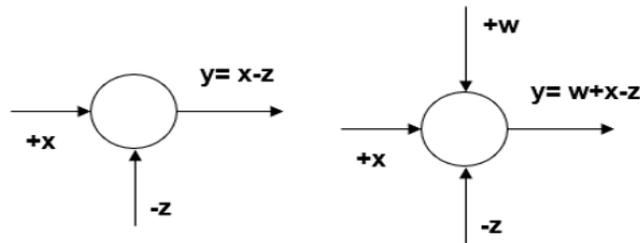


Nota: Esquema general de un diagrama de bloques, (*Cultivo En Invernadero - ALPI, A., TOGNONI, F. - Google Libros, n.d.*).

La interacción y el sentido del proceso se indican por medio de flechas, en los diagramas de bloques es posible realizar operaciones matemáticas, ya sea suma, resta, estas operaciones se representan con un círculo, como se muestra en la Figura 7.

**Figura 7.**

*Operaciones de los diagramas de bloques.*



Nota: Esquema general del operador de un diagrama de bloques, (Alagria, 2016).

Otras operaciones también son posibles como la multiplicación, división, integrales y derivadas, estas operaciones se representan por medio de un cuadrado como se muestra en la siguiente figura. Figura 8.

**Figura 8.**

*Operaciones aritméticas.*



Nota: Esquema general de un producto, (Alegría, 2016).

El vínculo entre la salida y la entrada es una relación de causa y efecto con el sistema, por lo que el proceso por controlar relaciona la salida con la entrada.

Las entradas típicas aplicadas de control son: escalón, rampa e impulso.

La entrada escalón nos indica un comportamiento o una referencia constante introducido al sistema, la entrada rampa supone una referencia con variación continua en el tiempo, la entrada impulso se caracteriza por ser una señal de prueba con magnitud muy grande y duración muy corta.

## 2.4. Autómata Programable

El PLC es un Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), es un elemento electrónico, que es programable, diseñado para un control a nivel industria, existen PLC's que son específicos para estudiantes con diferentes características.

Es una computadora industrial la que procesa todos los datos de entrada, estos datos interactúan con el programa interno, para posteriormente controlar los actuadores como, por ejemplo, motores, bombas, válvulas, entre otros. (Alagria, 2016).

En la década de 1960, cuando la industria buscaba nuevas tecnologías electrónicas como soluciones para reemplazar los sistemas de control basado en la lógica de contactores, y de otros componentes antes utilizados para el control de los sistemas de esa época (Alagria, 2016)

En el año de 1968 Hydramatic (la división de transmisión automática de General Motors) realizó una solicitud de propuestas para el reemplazo de los sistemas de los cables de los contactores. La respuesta que generó mayor aceptación fue de Bedford Associates, fue el primer PLC, comenzó una nueva empresa dedicada al desarrollo, fabricación y ventas de este nuevo producto "Modicon (Modular Digital Controller)".

Para que un PLC pueda controlar y procesar un sistema se necesita que esté programado para las acciones de control que el dispositivo realizará, Para realizar la programación es necesario de un software específico, esto depende de la marca, cada programa posee su propio lenguaje de programación, en los que se van a escribir las instrucciones las cuales se procesarán y se ejecutarán.

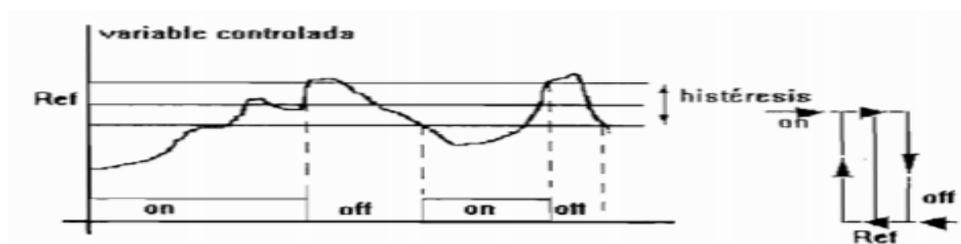
Los PLC's se pueden dividir en diferentes partes, mismas que están internas en el dispositivo, estas partes son:

## 2.5. Control ON-OFF

Es la manera más simple de control y sencilla de implementar, ya que la señal de salida está encendida o apagada sin punto intermedio es decir es un todo o nada, en esta forma de control se activa o desactiva el actuador cuando se cruza por la referencia establecida. Para preservar los contactores y la vida útil de los actuadores se opta por un control On-Off con histéresis, el cual plantea un rango de valores delimitando un máximo y un mínimo, donde se efectuará el cambio de estado de encendido a apagado y viceversa, evitando de esta manera los cambios bruscos y oscilaciones en la salida. Figura 9.

**Figura 9.**

*Esquema de control On-Off.*



*Nota: controlador On-Off con Histéresis, (Alagria, 2016).*

## 2.6. Begonia

Se hace mención de la Begonia debido a que es uno de los productos que nos va a servir como muestra y prueba del proyecto mencionado, en la cual se determinara la calidad del producto, tamaño, frondosidad y tiempo de producción. Así también nos brinda los parámetros para la calibración de cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos.

Son plantas que tienen el aspecto de la hierba, aunque en algunas ocasiones llegan a ser epífitas, algunas son de tamaño pequeño tamaño que desarrollan tallos desde el suelo como los arbustos, y algunas trepadoras, son

plantas muy duraderas excepto en climas fríos, es en la condición donde la begonia sucumbe. Figura 10.

La variedad en las flores de la begonia no sólo es en tamaño también es en forma y en colores, estas plantas tienen órganos reproductivos sólo masculinos o solo femeninos, la masculina contiene numerosos estambres, en cambio la femenina posee un ovario inferior con 2 o 4 estigmas.

La familia Begoniaceae se constituye por tres géneros, Begonia, Hillebrandia y Symbegonia, los dos últimos representados por pocas especies, ya que la mayoría se encuentran incluidas en el género Begonia. (Elizabeth Chávez-García & Sonia Vázquez-Santana, n.d.)

La familia Begoniaceae se constituye por tres géneros, Begonia, Hillebrandia y Symbegonia, los dos últimos representados por pocas especies, ya que la mayoría se encuentran incluidas en el género Begonia. (Elizabeth Chávez-García & Sonia Vázquez-Santana, n.d.)

Las flores masculinas de *Begonia gracilis* producen polen como recompensa para los visitantes que incluyen abejas moscas y mariposas. Esta especie puede alterar sus patrones de asignación sexual, en respuesta a las variaciones en los niveles de polinización, lo cual puede ocurrir por:

La diferenciación de un mayor número de meristemas florales de uno de los dos sexos.

Por medio de la absorción en el meristemo floral de los primordios de los estambres o de los carpelos.

**Figura 10.**

*Flor de begonia.*



Nota: **A**, inflorescencia con flor masculina (fm) y femenina (ff). **B**, vista frontal de flor femenina. **C**, flor femenina mostrando el ovario ínfero (flecha), (Elizabeth Chávez-García & Sonia Vázquez-Santana, n.d.)

### 2.6.1. *Características*

- Nombre científico o latino: *Begonia semperflorens*
- Familia: Begoniaceae.
- Planta herbácea perenne o anual o de temporada.
- Altura: 20-40 cm.
- Tallos carnosos y ramificados.
- Flores reunidas en cimas axilares de color rosa, rojo, blanco.
- Se obtienen diversas variedades de esta especie, diferenciadas por su tamaño o bien por el color de las hojas, que pueden asumir coloraciones rojizas en múltiples tonalidades.

La *Begonia semperflorens* es utilizada para arriates, rocallas y bordes o para el cultivo en maceta en interior y terraza.

Clima cálido y húmedo.

Temperaturas: no tolera bien el frío y debe resguardarse de los vientos y las heladas. En invierno debe protegerse de las heladas con alguna cobertura.

El riego debe ser frecuente y moderado, evitando los encharcamientos porque se pudre la base de los tallos.

Abono: 2-3 gramos de fertilizante granulado por planta en primavera.

Abono líquido cada semana durante la floración.

Deben retirarse las flores marchitas y el follaje dañado.

## CAPÍTULO III

### 3. Desarrollo del Tema

#### 3.1. Análisis de las Alternativas del Sistema Mecánico

Existen varios diseños y formas, pero sobre todo este invernadero va a estar dedicado a la producción de flores –begonias por lo cual priman 3 aspectos principales en el diseño:

**Seguridad.** - El invernadero debe garantizar la seguridad de las plantas frente a contaminaciones, plagas y enfermedades y sobre todo fallos de control además de incluir la seguridad personal y el confort de los trabajadores del invernadero durante su jornada laboral.

**Versatilidad.** – El invernadero debe ser dinámico y capaz de modificar los parámetros de control para poder colocar otras especies de plantas a futuro.

Eficiencia productiva y energética. – El invernadero debe asegurar la integridad con un bajo consumo energético y alta producción.

Además, el sistema hidráulico debe ser el óptimo, sin fugas ni pérdidas de presión, con las adecuadas protecciones y cumpliendo las recomendaciones dichas por el fabricante.

##### 3.1.1. Requerimientos

**Identificación de necesidades.** Las necesidades y requerimientos de que debe cumplir el diseño estructural del invernadero y el sistema hídrico se basan en la facilidad de la obtención de materiales, manufactura, ensamblaje y bajo costo.

Por lo cual se aplica un sistema de calificación donde 1 es el menor rango y 5 el mayor. Tabla 1.

**Tabla 1***Prioridades.*

	Requerimiento	Prioridad
1	Fácil de fabricar	3
2	Fácil de ensamblar	2
3	Diseño flexible y robusto	4
4	Materiales de fácil acceso	3

Nota: se resalta la importancia de la implementación

**Selección y dimensionamiento.** Teniendo en cuenta los requerimientos establecidos para el subsistema mecánico, se presentan varios criterios para seleccionar cada uno de los elementos requeridos. Tabla 2.

### 3.1.2. Invernadero

**Tabla 2.***Tipos de invernaderos.*

	Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1		Túnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alta resistencia a los vientos.</li> <li>– Fácil instalación.</li> <li>– Alta transmisión de la luz solar.</li> <li>– Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
2	Capilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>Construcción de mediana complejidad.</b></li> <li>– <b>Alta transmisión de luz solar</b></li> <li>– <b>Media resistencia al viento</b></li> <li>– <b>Apto tanto para materiales de cobertura. Flexibles como rígidos.</b></li> </ul>	
3	Diente de sierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Construcción de mediana complejidad.</li> <li>– Bajo costo.</li> <li>– Dinámico para acople de más invernaderos.</li> <li>– Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.</li> </ul>	
4	Capilla Modificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Es un diseño chileno.</li> <li>– Complejidad media.</li> <li>– Excelente ventilación.</li> <li>– Se puede hacer con materiales de bajo costo.</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
5	Techumbre curva	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alta transmitancia de luz</li> <li>– Solar</li> <li>– Alta inercia térmica</li> <li>– Buena resistencia a vientos</li> <li>– Construcción de media complejidad.</li> </ul>	
6	Parral	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gran volumen de aire encerrado.</li> <li>– Gran inercia térmica.</li> <li>– Ofrece alta resistencia de vientos.</li> <li>– Construcción de baja complejidad.</li> </ul>	
7	Holandés	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alto costo.</li> <li>– Muy poco pazo de luz.</li> <li>– Alta duración al paso de los años.</li> </ul>	

Nota: Luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias del invernadero, se concluye que el tipo de invernadero que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 3.

**Tabla 3.***Criterio de diseño del invernadero.*

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
Túnel	5	2	4	11
Capilla	4	4	3	11
Diente de sierra	4	4	2	10
Capilla Modificado	3	5	4	12
<b>Techumbre curva</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>14</b>
Parral	5	3	3	11
Holandés	1	2	2	5

Nota: Se selecciona el concepto 5 por las prestaciones en el diseño que se requiere. Puesto que cumple con las condiciones necesarias de temperatura e iluminación, que son necesarias para el crecimiento óptimo del producto.

### 3.1.3. Bombas Hidrostáticas

**Tabla 4.***Tipos de Bombas.*

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1	Centrífuga	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flujo continuo.</li> <li>– Fácil instalación y operación.</li> <li>– Aplicaciones domésticas y de jardinería.</li> <li>– Muy silenciosa.</li> <li>– Bajo costo.</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
2	Émbolo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bombea líquidos con altos contenidos de sólidos.</li> <li>– Usadas para generar vacío</li> <li>– Consumo de aceite bajo</li> </ul>	
3	Pistón	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alta presión.</li> <li>– Líquidos con alta densidad.</li> <li>– Resistencia a ácidos.</li> <li>– Bomba para riego.</li> </ul>	
4	Tornillo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flujo continuo</li> <li>– Fluidos viscosos</li> <li>– Fluidos con alto contenido de sólidos o espumosos.</li> <li>– No genera movimiento brusco</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
5	Periférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flujo continuo</li> <li>– Fácil instalación y operación.</li> <li>– Aplicaciones domésticas y de jardinería.</li> </ul>	

Nota: Luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias de la bomba, se concluye que el tipo de bomba que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 5.

**Tabla 5.**

Criterio de selección de la bomba.

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
Centrífuga	1	2	4	7
Émbolo	4	3	3	10
Pistón	1	4	4	9
Tornillo	5	5	5	15
<b>Periférica</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>

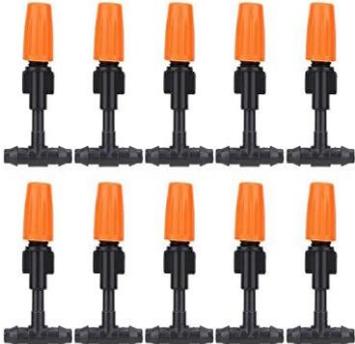
Nota: Se selecciona el Concepto 5 porque cumple con los requerimientos establecidos por el proyecto, que permiten la apertura de los aspersores sin generar excesos de presión dentro del sistema.

### 3.1.4. Aspersores

Tabla 6.

*Tipos de aspersores.*

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1	Rotores de medio alcance.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Lanzan un chorro completo en una distancia entre 6-28 m.</li> <li>– Aplicación residencial, comercial y deportiva.</li> <li>– Rango entre 0°-360°.</li> </ul>	
2	Rotores de largo alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recomendado para pasto sintético.</li> <li>– Lanzan un chorro completo en una distancia entre 30-48m.</li> <li>– Rango entre 0°-360°</li> </ul>	
3	Rociadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Recomendados para pequeñas áreas con jardín.</li> <li>– Alcance máximo de 5.10m.</li> <li>– Aplicaciones para arbustos y árboles.</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
4	Burbujeadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aplicaciones residencial y comercial.</li> <li>– Aplicación para árboles y arbustos.</li> <li>– Alto volumen de agua.</li> </ul>	
5	Microaspersores (nebulizadores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aplicación para invernaderos.</li> <li>– Plantas pequeñas.</li> <li>– El costo de instalación es bajo.</li> </ul>	

Nota: Luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias de aspersores, se concluye que el tipo de aspersor que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 7.

**Tabla 7.**

*Criterio de selección de aspersores.*

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
Rotores de medio alcance.	1	2	3	6
Rotores de largo alcance	2	2	1	5
Rociadores	1	4	2	7
Burbujeadores	5	4	4	13
<b>Microaspersores (nebulizadores)</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>

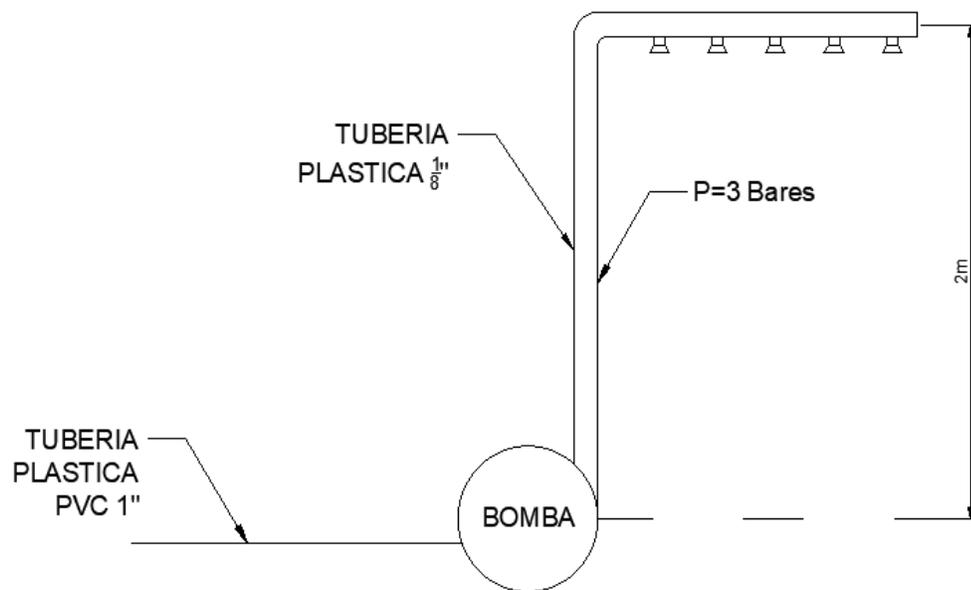
Nota: Se selecciona el Concepto 5 porque cumple con los requerimientos establecidos por el proyecto, permite un flujo constante de agua en el área de la planta mejorando así su absorción y sin desperdiciar agua.

### **3.1.5. Dimensionamiento de la Bomba**

**Energía que adquiere la bomba.** La rapidez de flujo que pasa por la bomba es de 35 l/min (0.000583 m<sup>3</sup>/s), el fluido que se está bombeando es agua cuya gravedad específica es la energía transmitida por la bomba al agua por unidad de peso de agua que fluye en el sistema. Desprecie cualquier pérdida de energía en el sistema. Figura 11.

**Figura 11.**

Diagrama hidráulico.



Nota: diseño para la implementación del sistema de riego.

**Ecuación 1.***Bernoulli.*

$$\frac{\rho_A}{\gamma} + z_A + \frac{v_A^2}{2g} + h_A = \frac{\rho_B}{\gamma} + z_B + \frac{v_B^2}{2g}$$

Donde  $h_A$  = energía agregada al agua por parte de la bomba**Ecuación 2.***Método de igualación.*

$$h_A = \frac{\rho_B - \rho_A}{\gamma} + (z_B - z_A) + \frac{v_B^2 - v_A^2}{2g}$$

**Ecuación 3.***Energía del sistema.*

$$v = \frac{Q}{a}$$

Donde

$$Q = \text{caudal} = 0.000583 \frac{m^3}{s}$$

$a = \text{área}$

$$a_A = 0.00202 m^2$$

$$v_A = \frac{0.000583}{0.0000506} = 1.15 \frac{m}{s}$$

$$v_B = \frac{0.000583}{0.00000791} = 73.67 \frac{m}{s}$$

$$z_B = 2m$$

$$z_A = 0m$$

$$\gamma = 1 \frac{KN}{m^3}$$

$$\rho_A = 0 KPa$$

$$\rho_B = 3 \text{ bares} = 300 KPa$$

$$h_A = \frac{300 - 0}{1} + 2 + \frac{73.67^2 - 1.15^2}{2 * 9.8} = 578.896 \frac{m * N}{m}$$

#### **Ecuación 4.**

*Ecuación Potencia.*

$$P = h_A \gamma Q * 1.34 = 0.452 [Hp]$$

Por lo cual se adquiere la bomba periférica de:

#### **Tabla 8.**

*Características de la bomba periférica.*

Descripción	Valor
Potencia	0.5 HP
Voltaje	110 V
Frecuencia	60 Hz
Capacidad	33 L/min

Nota: de acuerdo a los cálculos realizados se requiere una bomba de 0.5 HP

### **3.1.6. Dimensionamiento de Aspersores**

El sistema de aspersión debe constar de 20 rociadores tipo nebulizador los cuales no deben generar goteo indeseable por lo cual se adiciona un sistema de activación por presión las cuales se activa cuando alcancen una presión superior o igual a 3 bares con una entrada de 1/8 las cuales se colocan en la línea directa de la bomba.

### **3.1.7. Análisis de las Alternativas del Sistema Eléctrico.**

Existen varios dispositivos y elementos que cumplen con los requerimientos el principal factor para la selección del dispositivo electrónico es:

**Seguridad.** – El sistema debe ser muy confiable y robusto, además debe ser resistente a la humedad pues es el factor que deteriora al sistema y a los elementos eléctricos.

**Versatilidad.** – El invernadero debe ser dinámico y capaz de modificar los parámetros de control para poder colocar otras especies de plantas a futuro.

Eficiencia productiva y energética. – El invernadero debe asegurar la integridad y producción de las plantas y flores manteniendo la calidad de cada ejemplar.

## **3.2. Requerimientos Eléctricos**

**Identificación de necesidades.** Las necesidades y requerimientos que debe cumplir los elementos y partes eléctricas se basan en la disponibilidad, modular, bajo costo e independiente.

Al igual que en el sistema anterior cada requerimiento adquiere un valor entre 1 y 5 donde 1 es el valor mínimo y 5 es el valor con más relevancia al sistema. Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Requerimiento de la parte electrónica.*

Concepto	Requerimiento	Prioridad
1	Modular	5
2	Fácil de instalar	3
3	Diseño flexible y robusto	4
4	Simple mantenimiento	2
5	Tipo de comunicación	5

Nota: el requerimiento señala el grado de dificultad para la implementación

### **3.2.1. Sensores Térmicos.**

**Tabla 10.**

Tipos de sensores térmicos.

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1	Termocupla	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tiempo de respuesta rápida.</li> <li>– Muy poco lineal.</li> <li>– Genera FEM y necesita acondicionamiento</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
2	RTD	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dispositivos termoresistentes.</li> <li>– Alta linealidad.</li> <li>– Efectivo para realizar control.</li> </ul>	
3	Bimetálico	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Efectivo para un control on-off.</li> <li>– Se usa como protección para sobrecorrientes.</li> </ul>	
4	Dilatación de Fluido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Es un indicador.</li> <li>– No se puede realizar control con este tipo de sensor.</li> </ul>	

Nota: luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias del invernadero, se concluye que el tipo de invernadero que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 11.

**Tabla 11.**

*Requerimiento de los sensores térmicos.*

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
Termocupla	5	2	4	11
RTD	4	4	3	11
Bimetálico	4	4	2	10
<b>Dilatación de Fluido.</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>12</b>

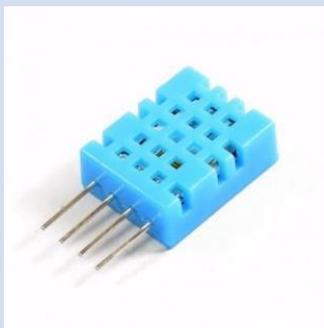
Nota: Se selecciona el concepto 4 por las prestaciones en el diseño que requerimos, posee gran facilidad en la adquisición de datos sin requerir algún dispositivo extra.

### **3.2.2. Sensor de humedad**

**Tabla 12.**

*Tipos de sensores de humedad.*

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1	Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de respuesta</li> <li>- Rápida</li> <li>- Muy poco lineal</li> <li>- Modula</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
2	Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de respuesta rápido.</li> <li>- Si se puede realizar control.</li> <li>- Soporta varios tipos de ambientes.</li> <li>- Excesivamente costoso.</li> </ul>	
3	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Este puede ser para ambiente o para suelo</li> <li>- Alta</li> <li>- Repetitividad</li> <li>- No tiene</li> <li>- Histéresis</li> </ul>	
4	Electrónica y semiconductor:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se puede</li> <li>- Hacer control</li> <li>- Respuesta rápida</li> <li>- Robusto</li> </ul>	

Nota: luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias del invernadero, se concluye que el tipo de invernadero que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 13.

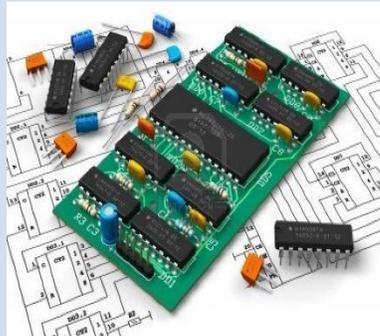
**Tabla 13.***Requerimiento de sensor de humedad.*

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
Doméstico	1	2	5	8
Industrial	1	3	3	7
Agricultura	4	4	2	10
<b>Electrónica y semiconductor</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>13</b>

Nota: Se selecciona el concepto 4 por las prestaciones en el diseño que requerimos facilita la toma de datos y posee dos de los sistemas de medición que se requiere para el proyecto haciendo de ellos los más buscados en el mercado.

### 3.2.3. Controlador

**Tabla 14.***Tipos de controladores.*

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1	PIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para el uso de este tipo de dispositivos el técnico debe tener alto conocimiento electrónico</li> <li>– No es dinámico.</li> <li>– No tiene protecciones</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
2	PLC	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robusto y confiable</li> <li>– Amplias aplicaciones</li> <li>– Netamente industrial</li> <li>– Alto costo</li> </ul>	
3	Arduino	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dinámico y confiable</li> <li>– Robusto</li> <li>– No es industrial, pero sirve para realizar prototipos</li> <li>– Bajo costo</li> </ul>	
4	DAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para el uso de este tipo de dispositivos el técnico debe tener alto conocimiento electrónico.</li> <li>– Sensible.</li> <li>– No tiene protecciones.</li> </ul>	

Nota: luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias del invernadero, se concluye que el tipo de controlador que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 15.

**Tabla 15.**

*Requerimiento para el controlador.*

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
PIC	1	2	5	8
<b>PLC</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>
<b>Arduino</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>12</b>
DAC	2	5	2	9

Nota: Se selecciona el concepto 2 y el concepto 3 ya que es necesario usar como tarjeta de adquisición de datos y/o cálculos, se adiciona un PLC como el controlador de todos los procesos automáticos.

### 3.2.4. HMI

**Tabla 16.**

*Tipos de HMI.*

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
1	TFT	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sensible</li> <li>– Muy dinámica y confiable</li> <li>– Necesita de una estructura adicional para ambientes nocivos</li> </ul>	

Concepto	Descripción	Características	Ilustración
2	LCD	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Solo se puede visualizar datos no imágenes.</li> <li>– Consumo de energía muy bajo</li> <li>– Bajo costo</li> <li>– Monocromática</li> </ul>	
3	HMI PLC	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robusto</li> <li>– Dinámico y confiable</li> <li>– Alto costo</li> </ul>	
4	Oled	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tamaño limitado</li> <li>– Monocromático</li> <li>– Alto costo</li> </ul>	

Nota: luego del análisis de cada uno de los conceptos y con respecto a las especificaciones necesarias del invernadero, se concluye que el tipo de controlador que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto es: Tabla 17.

**Tabla 17.**

Requerimiento para el HMI.

Criterios de diseño				
Concepto	Costo	Disponibilidad	Ensamblaje	Total
TFT	4	1	5	10
LCD	4	2	5	11
<b>HMI PLC</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>
Oled	2	5	2	9

Nota: Se selecciona el concepto 3 ya que es económico y cumple con las expectativas y requerimientos del proyecto tanto como para comunicación y actuador de cada uno de los procesos para los que va a ser utilizado.

### 3.3. Conceptos seleccionados

Los conceptos elegidos para la implementación del invernadero inteligente se han seleccionado mediante al análisis de la tabla de criterios estos son:

**Tabla 18.**

*Conceptos de selección.*

Tipo	Elemento	Ventajas	Desventajas
<b>Invernadero</b>	Techumbre curva	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alta transmisión de luz solar</li> <li>– Alta inercia térmica</li> <li>– Buena resistencia a vientos</li> </ul>	Dificultad de construcción media.
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facilidad de instalación.</li> </ul>	
<b>Tubería</b>	PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Liviano y resistente a altas presiones.</li> <li>– Resistente a corrosiones y ambientes húmedos</li> </ul>	Baja su resistencia en altas temperaturas

<b>Tipo</b>	<b>Elemento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Bomba</b>	Periférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flujo continuo</li> <li>– Fácil instalación y operación.</li> <li>– Bajo Costo</li> </ul>	Aplicaciones domésticas y de jardinería.
<b>Aspersores</b>	Microaspersores (nebulizadores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aplicación para invernaderos.</li> <li>– El costo de instalación es bajo.</li> </ul>	Su aplicación se limita a plantas Pequeñas
<b>Sensores de humedad</b>	Electrónica y Semiconductor:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bajo costo.</li> <li>– Facilidad de instalación.</li> <li>– Fácil adquisición de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No es robusto.</li> <li>– No soporta ambientes nocivos y húmedos.</li> </ul>
<b>Controlador</b>	PLC/Arduino	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Son controladores muy potentes.</li> <li>– Robustos.</li> <li>– Capaces de controlar cualquier tipo de actuador.</li> </ul>	Requiere personal capacitado para programar estos controladores.
<b>Pantalla</b>	HMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robusto.</li> <li>– Confiable.</li> </ul>	Personal capacitado para configurar y programar.

Nota: se determinó mediante la tabla de criterios los componentes más adecuados, económicos y accesibles para su instalación de ahí la importancia de su implementación.

## CAPÍTULO IV

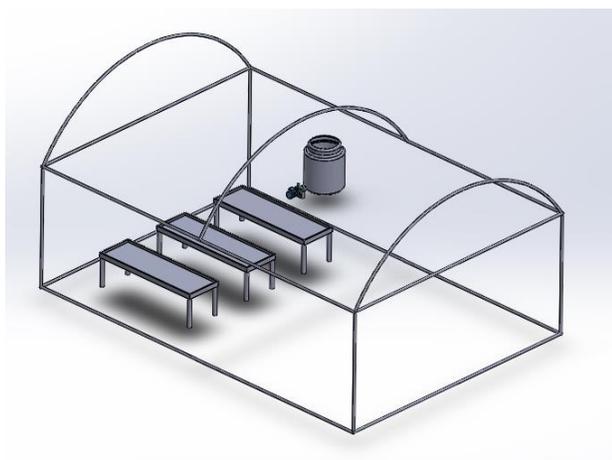
### 4. Implementación

#### 4.1. Estructura

La norma MEXICANA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INVERNADEROS (NMX-E-255-CNCP-2008) indica que, "Es una especificación técnica, basada en resultados conjuntos de la ciencia, la tecnología y la experiencia para regular las especificaciones, atributos, directrices, características que refieren a su cumplimiento o aplicación." Por lo cual el "Vivero Girasol" se rige a las normas y reglas que propone dicho modelo para su correcta implementación, funcionamiento y desarrollo. Esta norma se utilizó como referencia debido a que los parámetros ambientales son muy semejantes a la de nuestra región. Ver Anexo A.

#### Figura 12.

*Estructura del invernadero.*

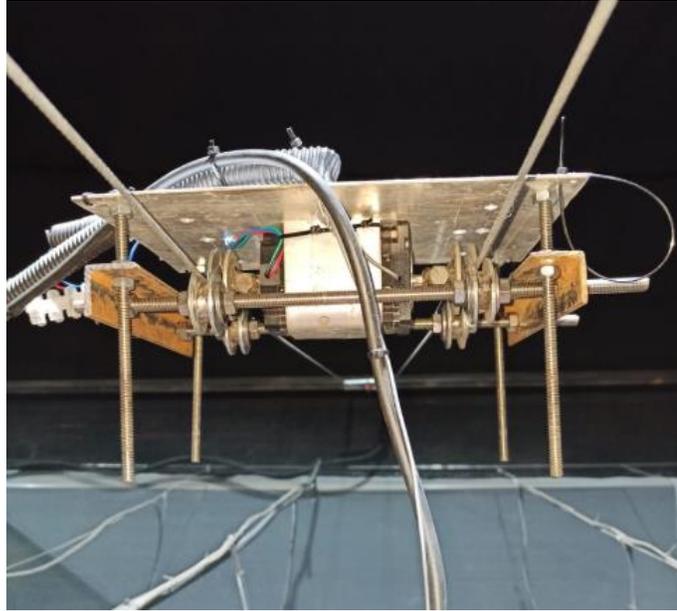


Nota: diseño de la estructura del invernadero inteligente

Además, la implementación de un sistema mecánico conformado por poleas las cuales dan movimiento a un carro móvil de riego, que se traslada sobre cables de acero en la parte superior llevando a un aspersor. Ver Anexo E.

**Figura 13.**

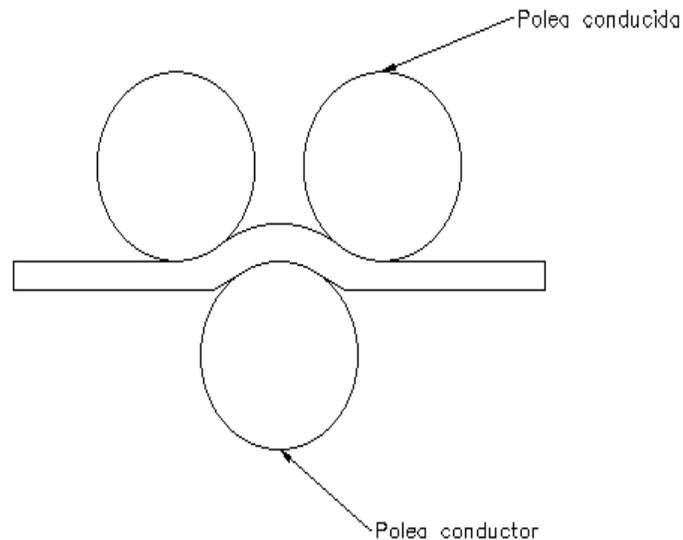
*Carro móvil de riego.*



Nota: diseños, mecanizado y pruebas del funcionamiento del carro móvil de riego.

El mecanismo está constituido por 3 juegos de poleas dos conducidas y una conductora, estas poleas han sido rediseñadas por generarse descarrilamientos al momento del funcionamiento, la principal característica es que usa su movimiento rotativo para desplazarse longitudinalmente sin necesidad de generarse tensión alguna sobre las poleas ya que por su propio peso genera la tracción necesaria, las poleas conducidas son un método de guía para el cable de acero de 5mm. Ver Anexo E.

Todo el mecanismo antes mencionado tiene una relación de transmisión de 1:1 el desgaste y el rozamiento que se genera entre la polea y el cable es mínimo debido a que todos los materiales utilizados son de acero.

**Figura 14.***Posicionamiento de poleas.*

Nota: la presión ejercida por la polea conducida es mínima.

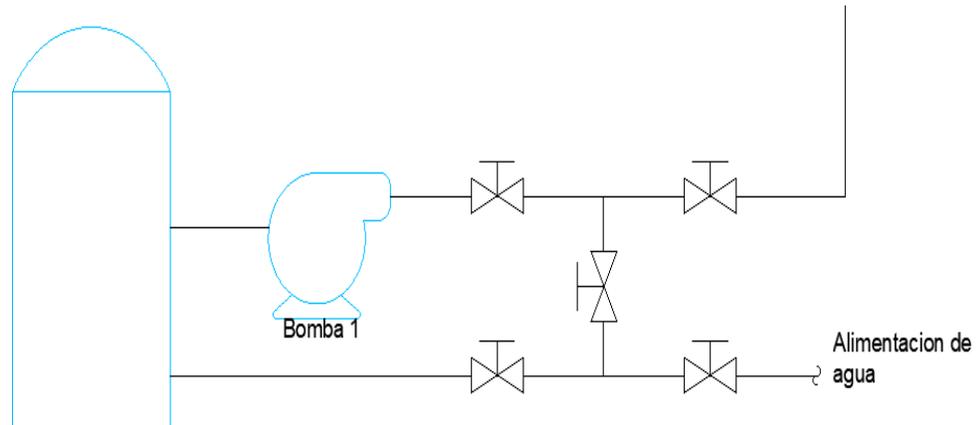
#### **4.2. Hidráulica**

Para el transporte del líquido se utilizó una bomba periférica marca Century la cual genera la presión suficiente para activar 20 aspersores y uno central el cual se encuentra conectado a un carro móvil de riego el cual viaja de forma longitudinal. Ver Anexo C.

La tubería es una combinación entre PVC y manguera en la cual están conectados los aspersores con el respectivo sistema anti goteo, el sistema no necesita una electroválvula sin embargo sí consta de un sistema de juego de válvulas las cuales son para la activación del sistema en caso de que la automatización tenga un error. Ver anexo C.

**Figura 15.**

Esquema de conexión Hidráulica.



Nota: implementación de válvulas en el sistema de para realizar pruebas y para riego manual.

### 4.3. Eléctrica

Para la iluminación del invernadero se utilizó dos reflectores de 75 Watts que operan a 1.5 Amperios, los cuales se encuentran ubicados de manera estratégica y brindan iluminación de aproximadamente dos metros de distancia, para de esta manera cubrir toda el área del invernadero para una mejor visualización del lugar.

Se implementó un tanque de almacenamiento que albergará cualquier tipo de nutriente que sea necesario para la planta como puede ser: agua, fertilizantes, vitaminas entre otras opciones que sirven para mejorar la salud y el desarrollo de la planta (begonia), para este sistema se utilizó una bomba centrífuga de 4 Amperios que por medio de aspersores distribuirá el líquido propiamente albergado en dicho tanque.

Para el funcionamiento de la puerta de ingreso al invernadero “Vivero Girasol” se instaló un motor a pasos de 4 Amperios el cual abre y cierra dicha puerta, otro motor de las mismas características se instaló en la parte superior el cual funciona como un sistema de enfriamiento al dejar caer gotas de agua, y de esa manera reducir la temperatura del ambiente que se ejerce dentro del vivero. Ver figura 22.

#### 4.4. Calibre del cable

**Tabla 19.**

*Análisis de cargas.*

	Cantidad (m)	Potencia nominal	Potencia(W)	Voltaje(V)	Corriente(A)
<b>Luz</b>	2	75	150	110	1.36
<b>Bombas</b>	1	372	372	110	3.38
<b>Motores</b>	2	90	180	24	7.50
<b>Total</b>					12.25

Nota: el consumo total de la carga es de 12.25 (A) tomando en cuenta márgenes de funcionamiento a toda capacidad

Por lo cual necesitamos un cable capaz de soportar 12.25[A] Según el catálogo de ELECTROCABLES, Figura 16, indica que el más ADECUADO para este trabajo es el multifilar calibre 14AWG . Sin embargo, al utilizar un factor de seguridad  $F_s = 2$  el valor de la corriente total es:

#### **Ecuación 5.**

*Ecuación ley de Ohm.*

$$I = F_s * I_t = 2 * 12.25 = 24.5[A]$$

Figura 16.

Catalogo para selección de cable.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	No. Hilos				
<b>FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO</b>						
14	2,08	1	0,76	3,15	26,30	20
12	3,31	1	0,76	3,57	38,62	25
10	5,261	1	0,76	4,11	57,72	35
8	8,37	1	1,14	5,54	95,99	50
8	8,37	7	1,14	5,98	102,04	50
6	13,3	7	1,52	7,70	164,86	65
4	21,15	7	1,52	8,92	246,27	85

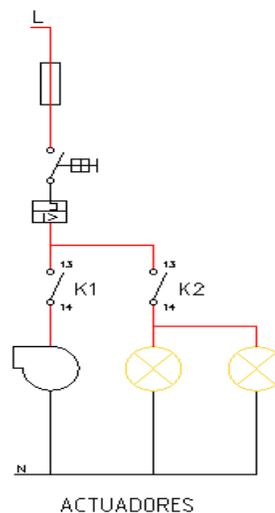
Nota: se toma en cuenta los cálculos realizados para la selección de cable de acuerdo a la normativa de ELECTROCABLES (Electrocables, 2018).

Por lo cual el cableado de todo el sistema después de ser minuciosamente analizado, para evitar fallas en el proceso se seleccionó Cable 12 AWG ya que es resistente a las humedades, químicos, grasa, calor y puede operar a una temperatura de 90°C

El sistema de seguridad contra los dispositivos eléctricos, electrónicos y del personal están resguardados por un disyuntor de 10 Amperios, este dispositivo corta el paso de corriente eléctrica al no cumplirse determinadas condiciones de trabajo, y por un Fusible de 12 Amperios el cual cumple una función similar al interrumpir el flujo de voltaje al circuito o proceso en ejecución. Figura 17.

**Figura 17.**

*Esquema de conexión de los actuadores.*



Nota: todas las conexiones de los equipos se las realizó en paralelo para evitar cualquier tipo de error.

#### **4.5. Electrónica**

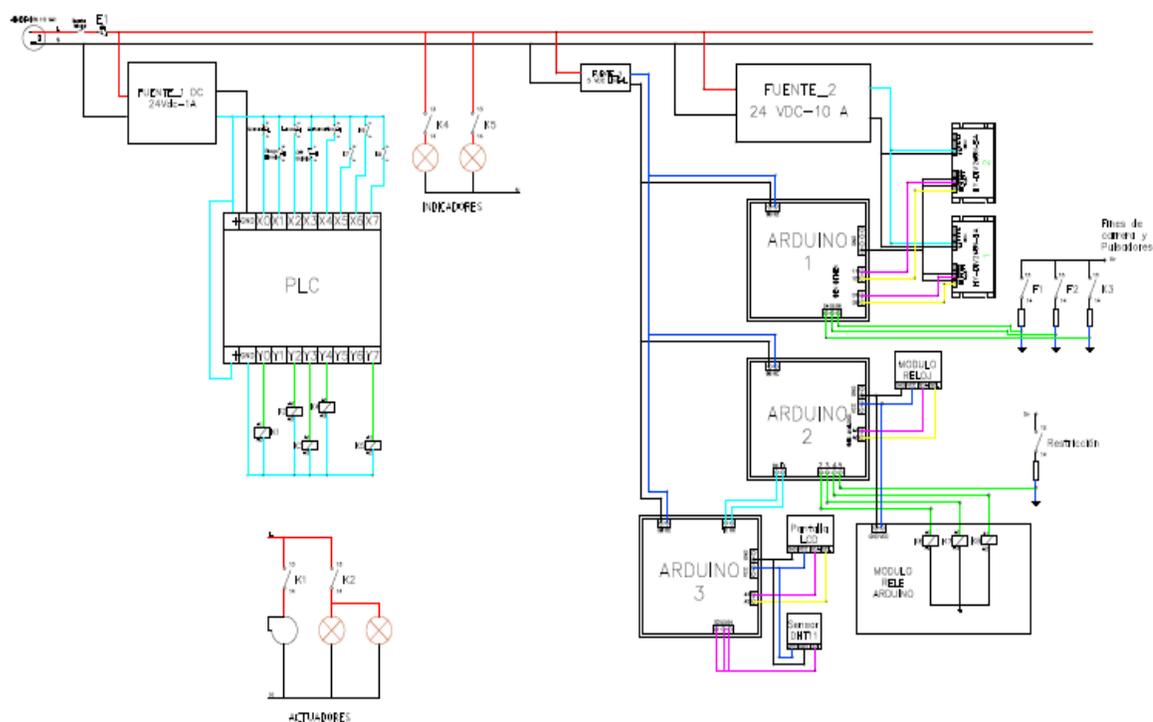
El circuito de control es fundamental y el complemento especial para el circuito de fuerza y para ello se empleó un PLC Panasonic (C16P) el cual es computadora automática y cumple funciones previamente establecidas por el operador.

Adicional se instaló 3 dispositivos Arduino (UNO) para complementar el funcionamiento y desarrollo del proceso. Para llevar una supervisión exacta y minuciosa se instaló un módulo reloj que proporciona información de segundos, minutos, días, semanas, meses y años, el número de días de cada mes se puede ajustar de forma automática dependiendo la función que determine el operador.

A continuación, se presenta el lenguaje de programación utilizado en el proceso del invernadero "Girasol" figura 18.

**Figura 18.**

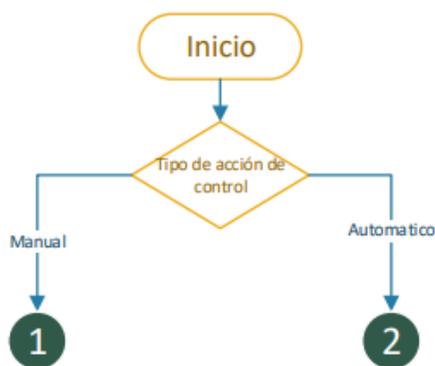
*Esquema de conexión de control.*



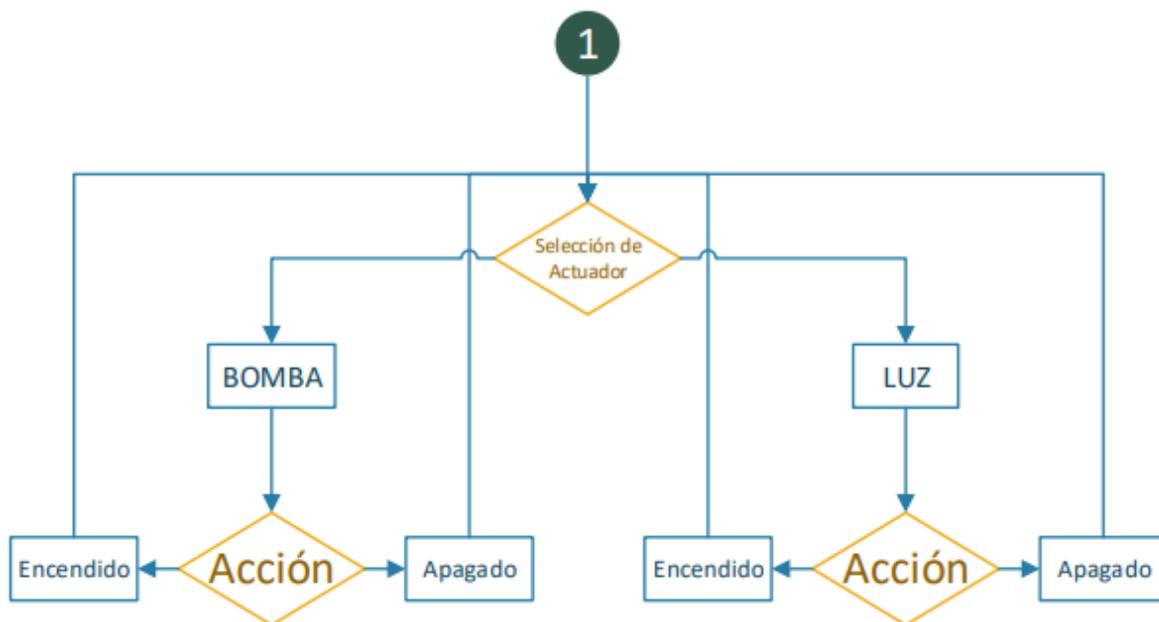
Nota: Funcionamientos controladores lógicos.

**Figura 19.**

*Funcionamiento controladores lógicos.*



Nota: Para el inicio del ciclo se debe seleccionar la operación que se requiere sea esta manual o automática.

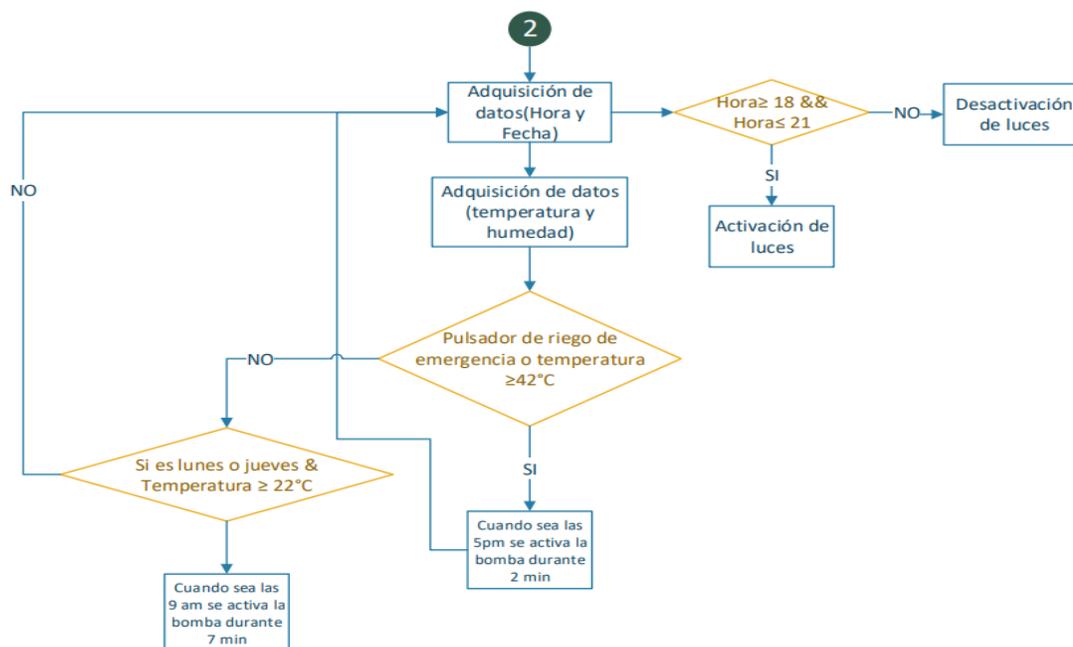
**Figura 20.***Proceso manual.*

Nota: Se determina el funcionamiento de la bomba o el encendido de las luces de modo manual mediante el uso de pulsadores y selectores de posición. El tiempo de riego será determinado por el operador según crea necesario.

La programación del ciclo manual pasa directamente por el PLC, teniendo como actuadores; pulsadores y un selector de dos posiciones que se encuentran conectadas las entradas lógicas de nuestro PLC, todos los actuadores de este ciclo se encuentran alimentados con 24v provenientes de nuestra fuente de alimentación.

**Figura 21.**

*Proceso automático.*



Nota: los Arduinos son los encargados de emitir, analizar y almacenar los parámetros que han sido ingresados con opción a cambios.

Para el control automático se implementó de varios dispositivos programables las cual consta de los siguientes dispositivos los cuales se mencionan dependiendo el trabajo que cada uno de ellos ejecutan:

**Arduino-reloj:** Es el encargado de determinar las horas y los días a los que se van a encender nuestros equipos eléctricos. Esta señal sale del Arduino pasando por el módulo de relés y así a nuestro PLC, dando como tal el inicio de nuestro ciclo y posteriormente envía la señal como actuador a otro relé en las salidas del PLC

**Arduino-sensor:** Es el encargado de determinar la temperatura a la que se encuentra el ambiente dicha información es almacenada y procesada para la activación de nuestro sistema de riego, de no poseer esta señal nuestro Arduino-

reloj no emitirá su activación al PLC ya que depende del valor de temperatura para activarse.

**Arduino-motor:** Depende mucho del funcionamiento de la bomba ya que al activarse el proceso en el PLC posteriormente envía señal para que actúen nuestros motores de paso para el cierre de la cortina y para el riego robotizado.

Para determinar el posicionamiento de nuestros motores de paso se han implementado finales de carrera los cuales se resetean cuando se apaga el sistema por completo dando como resultado un auto home al momento de volverlo a encender.

El funcionamiento de nuestro HMI viene dado directamente por nuestro PLC ya que se utilizan las mismas terminales como actuadores evitando así el uso de pulsadores y selectores en un tablero eléctrico

Los indicadores de temperatura y humedad son activados por nuestro Arduino-sensor por estar conectado directamente a los medidores de variable.

## CAPÍTULO V

### 5. Puesta en Marcha

Después de la implementación al ponerla en marcha varios parámetros cambiaron su valor como por ejemplo el tiempo de producción de las plantas, así como el tamaño de su hoja y tallo.

Nota: todos los parámetros y valores mencionados a continuación están establecidos acorde a las características de la Begonia. Todas las acciones se las puede relacionar con la Figura 23.

#### 5.1. Iluminación.

Se procede a realizar la prueba de la puesta en marcha con los componentes ya instalados tanto para la modalidad automática como la manual, se obtienen resultados favorables puesto que el sistema funciona acorde a lo programado y a lo establecido por las características, para ello se deben cumplir los siguientes parámetros:

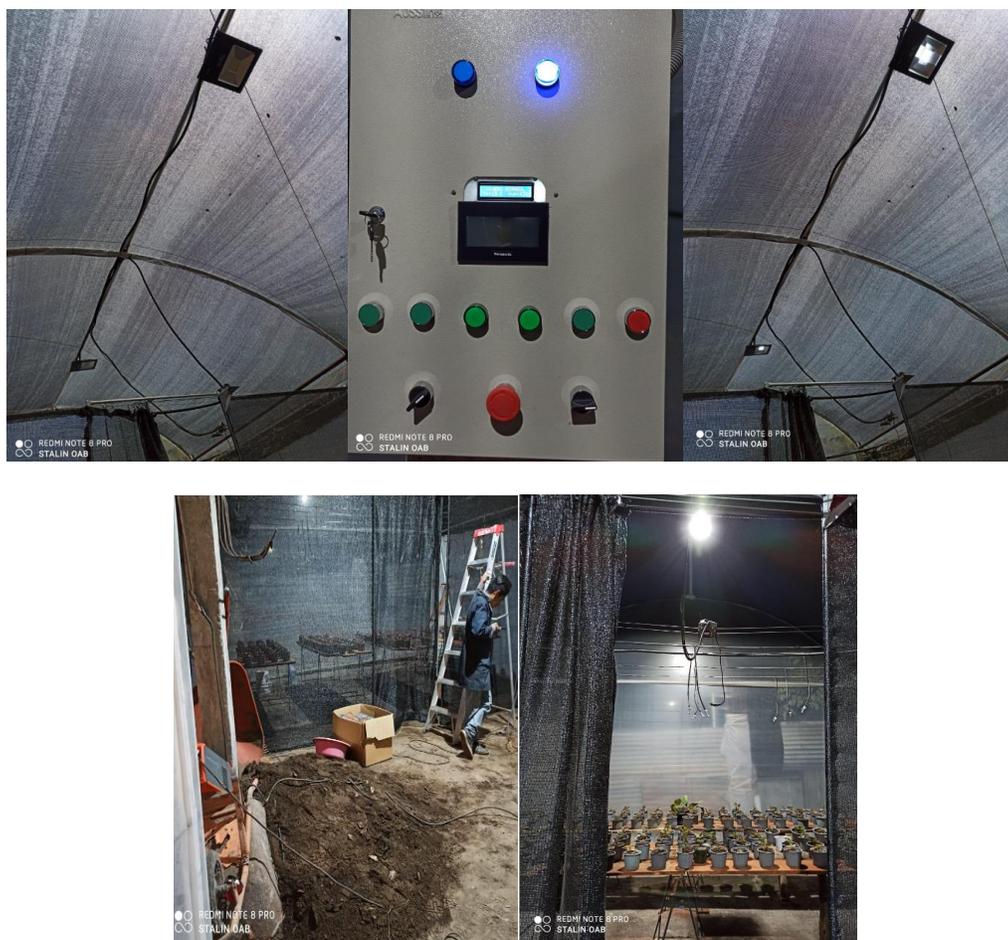
**Modo manual.** Cambiar el estado del selector de Apagado a Encendido, el tiempo de encendido está determinado por el operador.

**Modo automático.** Se debe cumplir el tiempo programado por nuestro Arduino-reloj para que emita una señal al sistema de iluminación (18:00 h).

El PLC recepta la señal dando así comienzo al temporizador el cual permanecerá encendido por 3h. Figura 22.

**Figura 22.**

*Puesta en marcha del sistema de iluminación.*



Nota: A: se puede observar en el tablero de control que el selector de iluminación se ha cambiado a la posición de encendido dando como tal el correcto funcionamiento en modo manual y en modo automático, B: estado de la iluminación desactivado, C: esta de la iluminación encendido, D: iluminación óptima para la producción de begonia.

## 5.2. Riego

El sistema de riego cuenta con dos funciones; automática y manual, se procede a la puesta en marcha del sistema de riego para lo cual se deben cumplir los siguientes parámetros:

**Modo manual:** Se emite la señal de activación por medio de un pulsador, la cantidad de agua suministrada depende del operador.

Para su desactivación requiere una señal de corte que es emitida por otro pulsador

**Modo automático:** El Arduino-reloj es el encargado de emitir esta una señal de activación hacia el PLC, una vez ingresada la señal los temporizadores ponen en funcionamiento el sistema por un tiempo de 7min, para que ésta se emita debe receptor las siguientes variables:

- Temperatura ambiental de 22°C.
- Humedad al 20%.
- Día lunes y jueves.
- Cuando estas condiciones se cumplen nuestro Arduino-reloj emite la señal hacia el PLC.

Para controlar la temperatura del invernadero y por cuidado del producto se determinó que el sistema de riego se encienda cuando el invernadero ha superado una temperatura de 42°C, con el fin de mantener la temperatura requerida.

Posee un sistema de encendido de emergencia que se inicia cuando el operador detecta falta de agua en las plantas, por lo cual se necesita emitir una señal de nuestro pulsador, el PLC emite la señal de activación por un tiempo de 2 min. Figura 23.

**Figura 23.**

*Puesta en marcha del sistema de riego.*



Nota: A: sistema de riego apagado, B: indicador del funcionamiento del sistema de riego, C: sistema de riego en funcionamiento.

### 5.3. Cortina y carro móvil de riego

Estos dos dispositivos dependen estrictamente del funcionamiento del sistema de riego, su activación se da cuando el PLC emita la señal de salida del sistema de riego, esta señal es aprovechada en paralelo y dirigida hacia el Arduino-motor que es el encargado controlar los drivers de los motores, para ello cuenta con una secuencia de funcionamiento.

Cierre de cortina; la cortina permanecerá cerrada mientras se realiza el riego, para evitar que las partículas de agua salgan de tal manera que la planta aprovecha el agua en su totalidad.

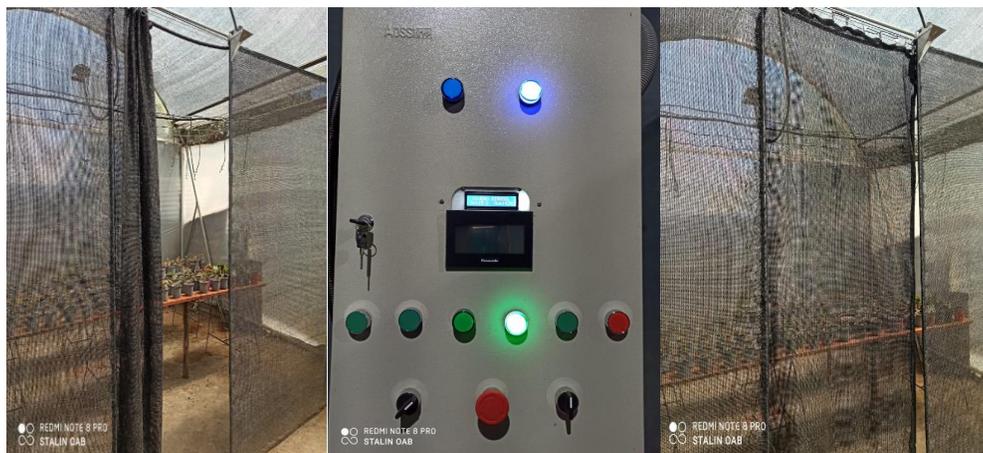
Una vez que la cortina se ha cerrado se inicia el ciclo del carro móvil de riego este se traslada longitudinalmente a través de los cables de acero, con la finalidad de mejorar el riego en todos y cada uno de los productos que se encuentran en los tableros, cuando el riego concluye su funcionamiento el carro de

riego se detiene dando inicio al ciclo de apertura de la cortina esto sucederá 7 segundos después que se ha desactivado el riego.

Nota: el proceso de activación y desactivación es el mismo en el modo manual y automático, cuenta con una luz de piloto para identificar la activación de la bomba. Figura 24.

### Figura 24.

*Cortina y carro de riego.*



Nota: A: cortina en estado normal, B: indicador del funcionamiento del sistema de riego, C: cierre de cortina previo al funcionamiento del riego, D: carro de riego en funcionamiento. Se concluye que la puesta en marcha se realizó con éxito ya que

todos los componentes en la actualidad se encuentran funcionando en óptimas condiciones.

#### 5.4. Optimización

Tanto en el crecimiento como en el costo de producción existe una clara variación ya que bajo completamente su valor. Tabla 22.

**Tabla 20.**

*Costo energía mensual.*

(W)	Potencia	Funcionamiento (h)	Total consumo (kwh)
<b>Bomba</b>	370	2	0,74
<b>Luz</b>	150	100	15
<b>Fuentes</b>	150	720	108
<b>TOTAL</b>			123,74
<b>Precio energía</b>			0,08 \$
<b>Precio total</b>			9,8992\$

Nota: datos y precios actuales correspondientes a EEQ.

**Tabla 21.**

*Costo agua mensual.*

Cantidad (m3)	Precio (\$)
1	0,72
<b>Total</b>	0,72

Nota: datos y precios actuales correspondientes a EMAPS. El costo que refleja por consumo de agua potable es mensual, basados en lo requerido por el invernadero el reservorio dura dos meses.

**Tabla 22.**

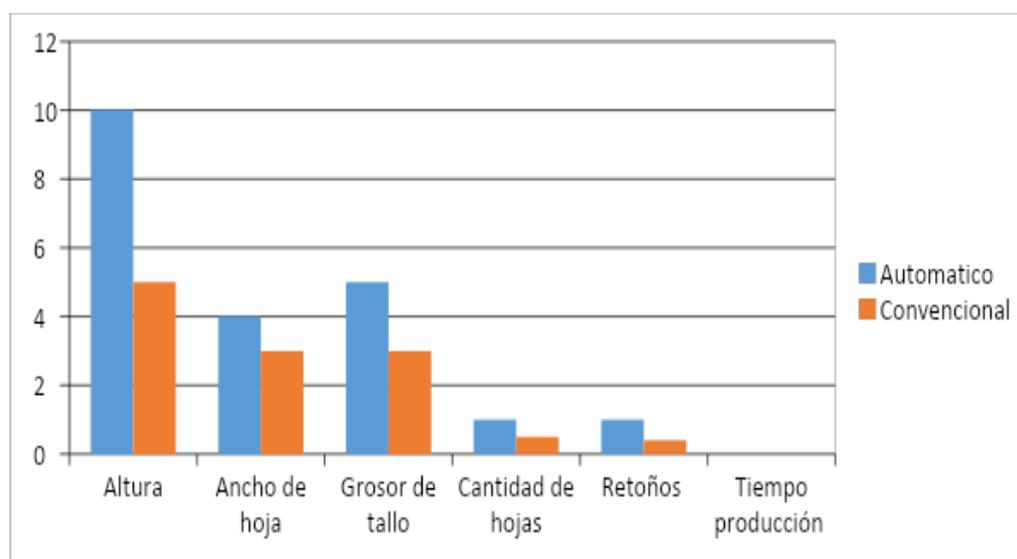
*Análisis de producción de Begonia.*

<b>Begonia</b>		
<b>Parámetros de criterio</b>	<b>Invernadero inteligente</b>	<b>Invernadero convencional</b>
	10-12 cm	5-7 cm
<b>Ancho de hoja</b>	4-5 cm	3-3,5 cm
<b>Grosor de tallo</b>	5-6 mm	3mm
<b>Cantidad de hojas</b>	100%	50%
<b>Retoños</b>	100%	30-40 %
<b>Tiempo producción</b>	1 mes	1 mes

Nota: Mediante el análisis de la producción en un mes los resultados obtenidos son muy favorables para su distribución.

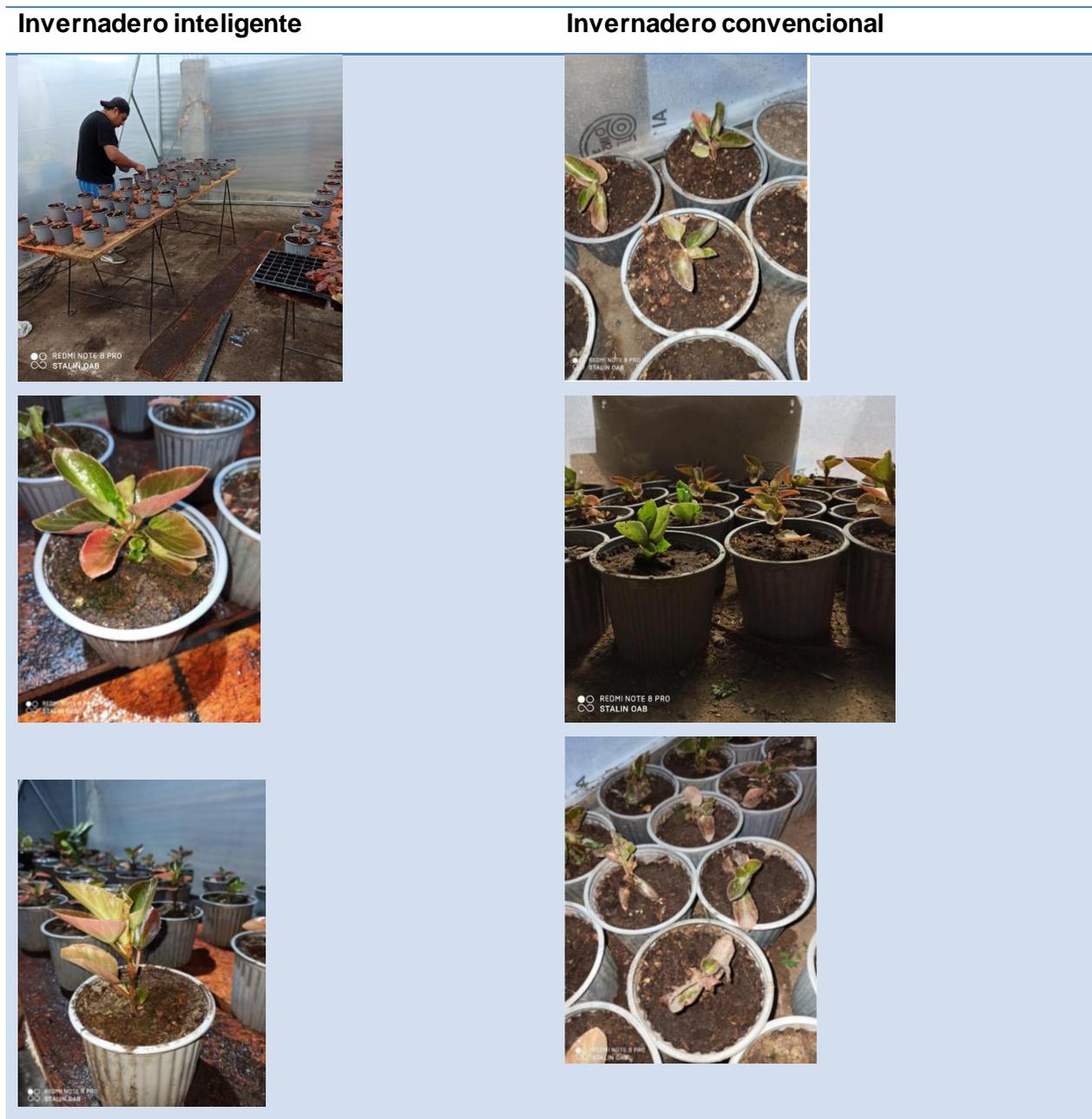
**Tabla 23.**

*Gráfico tabla 22.*



Nota: los valores reflejados en color azul son los favorables.

Tabla 24.

*Resultados de producción.*

Nota: a lo largo de los 30 días desde su plantación se observa gran diferencia en el resultado de su desarrollo y crecimiento.

Se concluye que el crecimiento y desarrollo de Begonia está dentro de los resultados esperados debido a la automatización realizada en el invernadero “Vivero Girasol”

### **5.5. Mantenimiento**

Para evitar que el invernadero inteligente falle es recomendable seguir los siguientes parámetros:

- Revisar los indicadores en el tablero eléctrico.
- Verificar el estado de la compuerta automática.
- Verificar el posicionamiento del riego aéreo.
- Verificar que los sensores de temperatura y humedad están enviando señales a los programadores por medio de la pantalla LCD.
- Revisar el nivel de fluido en el reservorio.
- Revisar la posición de los selectores.
- Verificar el estado de las protecciones eléctricas.
- Verificar que los nebulizadores estén completamente limpios y en su posición correcta.
- Verificar el estado de la banda-correa de la cortina automática.
- Realizar el debido mantenimiento preventivo y correctivo de la bomba de agua según la especificación de su fabricante.

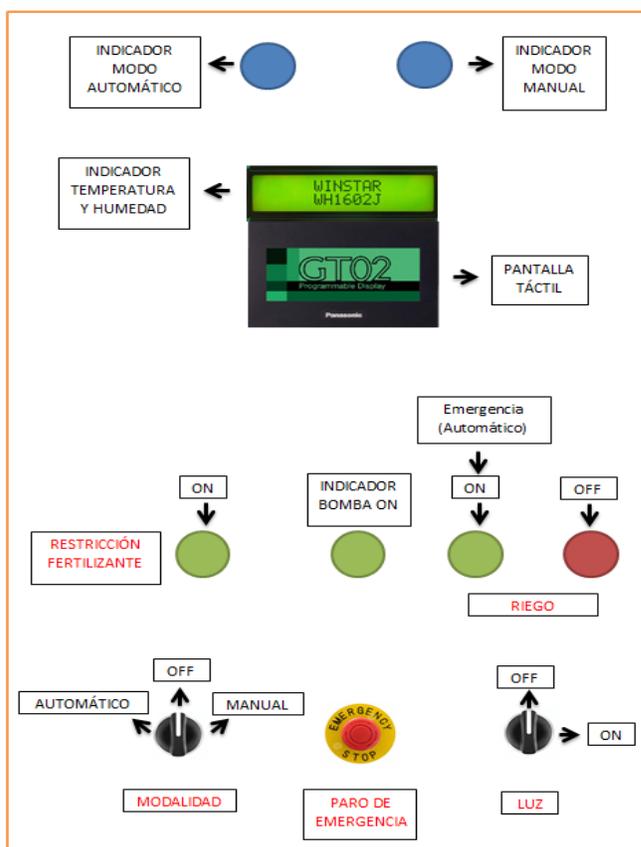
### **5.6. Características del tablero eléctrico.**

- El invernadero inteligente cuenta con dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos los cuales que están instalados con sus respectivas protecciones.
- Consta de fuentes de alimentación para regular el voltaje de cada uno de los equipos electrónicos estos son de 24v y 5v.

- Posee un sistema de riego manual que permite mantener siempre a las plantas con su respectiva humedad.
- Posee un paro de emergencia para la protección de todos los equipos.
- Dispone de pantalla LCD en la cual podemos observar la temperatura y la humedad a la que se encuentra el invernadero.
- Dispone de una pantalla touch para una mejor manipulación.
- Normativa de manipulación
- El tablero eléctrico fue diseñado con la finalidad de ser muy didáctico siendo este activado por medio de los pulsadores y/o selectores o por el método de pantalla touch.
- Se prohíbe la manipulación del tablero eléctrico con presencia de humedad en las manos.
- Cuando se selecciona el método automático todas las operaciones son realizadas por el controlador lógico programable, se recomienda no utilizar los pulsadores y/o selectores.
- De producirse una falla en el modo automático se recomienda utilizar el modo manual hasta que un técnico revise los equipos.
- Al ocurrir un fallo grave o que atente contra los equipos presionar el paro de emergencia inmediatamente y esperar hasta que un técnico le notifique su funcionamiento.
- No manipular los dispositivos internos del tablero eléctrico.

Tabla 25.

Tablero eléctrico “Vivero girasol”.



Nota: el tablero eléctrico cuenta con todas sus protecciones en el cableado para un fácil acceso y manipulación de los equipos por parte del técnico.

## CAPÍTULO VI

### 6. Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

- Mediante el análisis e investigación bibliográfica referente al invernadero, permite determinar parámetros estrictos para el diseño de la estructura conforme a la normativa establecida.
- Para la construcción del invernadero y todo su funcionamiento se analizaron los equipos con los que se cuenta en el mercado, las cuales se determinaron según su facilidad de uso, costo y disponibilidad, tomando en cuenta las operaciones a las que va a ser sometido dichos equipos.
- El tablero eléctrico facilita la manipulación de los equipos, sus dispositivos lógicos programables poseen una programación de fácil acceso para calibrar la cantidad de agua e iluminación requerida.
- Todo sistema automatizado debe contar con un accionamiento manual

#### 6.2. Recomendaciones

- Verificar visualmente la cantidad de agua suministrada hacia las plantas ya que, debido a su crecimiento y desarrollo, a mayor tamaño mayor es la cantidad de agua a suministrar, para lo cual cuenta con un sistema de emergencia.
- Utilizar un sistema de filtrado de agua en el caso de no poseer un reservorio que esté limpio en su totalidad, puesto que los nebulizadores están constituidos por conductos muy pequeños y pueden llegar a obstruirse con cualquier partícula.
- Verificar el funcionamiento y tensión de trabajo que se establece para cada dispositivo lógico programable.

## 7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Alagria, D. E. (2016). *SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO TIPO SONDA CON SISTEMA DE MONITOREO PARA APLICACIONES EN AGRICULTURA.*

Baptista, A. :, Mormeneo, M., & Cruz Perez, J. (n.d.). *Automatización de un invernadero TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial en Electricidad.*

Cardozoperez Manuel Eduardo Diaz Martinez Mario Julian Trabajo De Grado Ing Jorge Luis Corredor Rivero, S. S. (2014). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION LA FINCA EL CEDRO UBICADA EN EL MUNICIPIO DE AQUITANIA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL.*

Carlos López Hernández, J., & Pérez-Parra, J. (n.d.). *EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE INVERNADERO.*

Nelson Wladimir Romero Samaniego, E. Y., & Sebastián Yáñez Morillo, V. (2016). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE INVERNADERO HIDROPÓNICO PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN.* Quito, 2016.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16900>, Recuperado el 01 de agosto de 2020.

*Cultivo en invernadero - ALPI, A., TOGNONI, F.* - Google Libros. (n.d.). Retrieved

August 19, 2020, from,

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rXsJAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=tipos+de+invernaderos&ots=YLgoi8uRID&sig=PzpRwqZAxQ8c14daSTbmyPtkVNQ#v=onepage&q=tipos de invernaderos&f=false>, Recuperado el 05

de junio de 2020.

Elizabeth Chávez-García, & Sonia Vázquez-Santana. (n.d.). *Morfología floral y embriología de Begonia gracilis (Begoniaceae): su relevancia en la monoecia.*

Retrieved August 19, 2020, from

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-)

42982012000400001 Recuperado el 15 de julio de 2020.

Fernández, G., & Johnston, M. (n.d.). *Capítulo XX Crecimiento y Temperatura.*

Hugo, I., Cano, B., & Andres, H. (n.d.). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED ELÉCTRICA Y DE TELECOMUNICACIONES DE LA INSTITUCION EDUCATIVA BOYACÁ DE PEREIRA Por: MICHEL ANDRES HOYOS CASTAÑO MIGUEL ARMANDO PATERNINA RIVERA.*

Sánchez, J. M., Tomás, R., Lopez-Sanchez, J. M., Delgado, J., Mallorquí, J. J., & Herrera, G. (2008). *DINSAR MONITORING OF AQUIFER COMPACTION DUE TO WATER WITHDRAWAL: VEGAS BAJA AND MEDIA OF THE SEGURA RIVER (SE, SPAIN) CASE STUDY.*

## 8. ANEXOS