



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRONICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORES: GÓNGORA ALVAREZ, ALEXIS JAVIER
POZO HUMENHUK, RAYHRA

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
DE MICROCLIMA PARA PLANTAS IN VITRO EN GERMOPLANTA CIA.
LTDA.

DIRECTOR: ING. PROAÑO, VICTOR
CODIRECTOR: ING. LEÓN, RUBÉN

SANGOLQUI-ECUADOR

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Víctor Proaño

Ing. Rubén León.

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MICROCLIMAS PARA PLANTAS IN VITRO EN GERMOPLANTA CIA. LTDA.", realizado por Alexis Javier Góngora Álvarez y Rayhra Pozo Humenhuk, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE.

Sangolquí, 25 de Junio del 2015



Ing. Víctor Proaño

DIRECTOR



Ing. Rubén León.

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ALEXIS JAVIER GONGORA ALVAREZ

RAYHRA POZO HUMENHUK

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MICROCLIMAS PARA PLANTAS IN VITRO EN GERMOPLANTA CIA. LTDA.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

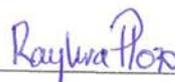
Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 25 de Junio de 2015



Alexis Javier Góngora Álvarez



Rayhra Pozo Humenhuk

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

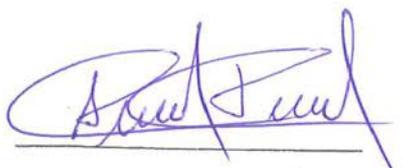
AUTORIZACIÓN

Yo, Alexis Javier Góngora Álvarez

Yo, Rayhra Pozo Humenhuk

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MICROCLIMAS PARA PLANTAS IN VITRO EN GERMOPLANTA CIA. LTDA.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 25 de Junio de 2015



Alexis Javier Góngora Álvarez



Rayhra Pozo Humenhuk

Alexis Javier Góngora Álvarez

DEDICATORIA

La presente Tesis de Grado la dedico a la memoria de mi madre y al esfuerzo y dedicación de mi Padre por su apoyo incondicional para la obtención de esta carrera, y a mis hermanos quienes hicieron posible la obtención de mis proyectos y metas.

Rayhra Pozo Humenhuk

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas: familia, amigos, compañeros y profesores, los cuales me han acompañado y apoyado durante esta etapa de mi vida. Recordemos siempre superarnos. Queda mucho por recorrer.

Alexis Javier Góngora Álvarez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que me apoyaron y me ayudaron en los momentos difíciles. En especial a mi padre y mis hermanos quienes han sido parte fundamental en mi formación personal y profesional.

Agradezco a mis profesores que me inculcaron en este camino que he transitado, en especial al Ing. Víctor Proaño y a mis amigos y compañeros con los que he compartido muchos momentos inolvidables de mi vida. A la Ing. Mónica Jadan quien me transmitió los conocimientos necesarios en el área de biotecnología.

Rayhra Pozo Humenhuk

AGRADECIMIENTO

Agradezco enormemente a mis padres, los cuales con su infinita sabiduría han sabido guiarme y apoyarme a lo largo de este proceso.

Agradezco además a mi hermano menor Felipe, por ser mi gran compañero, por toda la ayuda y cariño brindado. También a Rober, quien ha sido siempre una fuente de motivación y fortaleza increíble.

Finalmente agradezco a todos mis amigos, por su apoyo, compañía y por todos los gratos momentos experimentados en este trayecto universitario.

INDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| INDICE GENERAL..... | vii |
| INDICE DE FIGURAS..... | x |
| INDICE DE TABLAS..... | xiii |
| RESUMEN..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| 1. INTRODUCCIÓN 1 | |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.2. Justificación e Importancia..... | 2 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. Cultivos in vitro..... | 4 |
| 2.2. Aclimatación | 5 |
| 2.3. Humidificación | 7 |
| 2.4. Biotecnología vegetal | 7 |
| 3. INGENIERÍA BÁSICA | 12 |
| 3.1. Estudio del invernadero..... | 12 |
| 3.1.2. Listado de plantas y sus condiciones climáticas..... | 13 |
| 3.1.3. Ubicación Geográfica..... | 15 |
| 3.2. Diseño conceptual | 15 |
| 3.2.1. División de áreas..... | 15 |
| 3.2.2. Plantas en cada área..... | 16 |
| 3.3. Filosofía de operación | 19 |
| 3.4. Selección de instrumentación..... | 24 |
| 3.4.1. Sensores de Humedad y temperatura del ambiente..... | 24 |
| 3.4.2. Nebulizadores..... | 27 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.4.3. | Electroválvulas | 27 |
| 3.4.4. | Tarjeta de adquisición | 29 |
| 3.4.5. | Transmisores de radio frecuencia..... | 30 |
| 3.4.6. | Relés | 32 |
| 4. | DISEÑO DE HARDWARE..... | 33 |
| 4.1. | Diseño del Tablero | 33 |
| 4.1.1. | Controles | 33 |
| 4.1.2. | Protecciones | 34 |
| 4.1.3. | Fuentes | 36 |
| 4.1.4. | Controlador | 36 |
| 4.1.5. | Placa de Potencia..... | 36 |
| 4.1.6. | Terminales..... | 37 |
| 4.1.7. | Dimensionamiento de Conductores Eléctricos | 38 |
| 4.2. | Diseño de Montaje..... | 38 |
| 4.3. | Diseño Esquemático | 50 |
| 4.3.1. | Sistema de Protección y Botonera | 50 |
| 4.3.2. | Conexiones de Arduino Mega..... | 52 |
| 4.3.3. | Placa de Potencia..... | 53 |
| 4.3.4. | Conexión con Actuadores | 55 |
| 4.3.5. | Terminales Eléctricos del gabinete | 55 |
| 4.4. | Alambrado | 56 |
| 5. | DISEÑO DE SOFTWARE | 58 |
| 5.1. | Técnica de Control y lógica de Programación | 58 |
| 5.2. | Diseño del HMI | 60 |
| 5.2.1. | Selección de Herramienta de Desarrollo de HMI | 60 |
| 5.2.3. | Estructura de Navegación de la Interfaz | 61 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.2.4. | Distribución de los elementos en Pantalla | 62 |
| 5.2.5. | Uso del Color | 63 |
| 5.2.6. | Uso de Fuentes e Información textual..... | 64 |
| 5.2.7. | Niveles de Acceso | 65 |
| 5.3. | Enlace Java y Arduino..... | 66 |
| 5.3.1. | Librería Arduino para Java..... | 66 |
| 5.3.2. | Configuración del puerto serial..... | 67 |
| 5.3.3. | Clases de la librería | 67 |
| 5.3.4. | Métodos de la Librería | 69 |
| 6. | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 73 |
| 6.1. | Análisis de Funcionamiento | 73 |
| 6.2. | Condiciones Normales | 73 |
| 6.3. | Funcionamiento Modo Automático..... | 74 |
| 6.4. | Funcionamiento Sistema Hidráulico | 76 |
| 6.5. | Rendimiento Procesador..... | 77 |
| 6.6. | Análisis de Costos | 77 |
| 7. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 81 |
| 7.1. | Conclusiones | 81 |
| 7.2. | Recomendaciones | 82 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.-Medio de Cultivo..... | 4 |
| Figura 2.- Células in vitro. | 5 |
| Figura 3. Planta Completa..... | 6 |
| Figura 4.-Planta heterótrofa en medio de cultivo líquido. | 6 |
| Figura 5.- Etapa de Aclimatación. | 7 |
| Figura 6.- Medio para Diferenciación..... | 8 |
| Figura 7.- Medio de cultivo con hongos. | 9 |
| Figura 8.- Células madre con principios activos..... | 9 |
| Figura 9.- Diversidad en Invernadero | 12 |
| Figura 10.-Dimensiones del invernadero | 13 |
| Figura 11.- Ubicación de la empresa Germoplanta..... | 15 |
| Figura 12.- Divisiones del invernadero..... | 16 |
| Figura 13.- División de áreas del invernadero. | 16 |
| Figura 14.-Rangos de Operación en Cada Área..... | 19 |
| Figura 15.- Diagrama de Instrumentación y Proceso P&ID | 20 |
| Figura 16.- Sensor de humedad y temperatura..... | 24 |
| Figura 17.- Nebulizador | 27 |
| Figura 18.- Electroválvulas. | 28 |
| Figura 19.- Arduino Mega..... | 29 |
| Figura 20.- Adaptador USB para XBEE..... | 30 |
| Figura 21.- Relé seleccionado | 32 |
| Figura 22.- Diagrama de Bloques y Esquema del Tablero. | 33 |
| Figura 23.- Breaker a utilizar en el sistema..... | 35 |
| Figura 24.- Borneras de paso | 37 |
| Figura 25.- Diagrama de Montaje del Invernadero..... | 39 |
| Figura 26.- Montaje del sensor de humedad y temperatura. | 39 |
| Figura 27.- Protección del sensor de humedad y temperatura. | 40 |
| Figura 28 Diagrama de Montaje del Tablero. | 41 |
| Figura 29.- Dimensiones del Sensor DHT11..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Figura 30.- Parte Frontal de la estructura de protección del sensor DHT11..... | 42 |
| Figura 31.- Parte Posterior de la estructura de protección del sensor DHT11..... | 43 |
| Figura 32.- Ensamble de la protección del sensor DHT11. | 43 |
| Figura 33.- Parte Superior de la estructura de protección de los dispositivos XBEE. | 44 |
| Figura 34.- Parte Inferior de la estructura de protección de los dispositivos XBEE.. | 44 |
| Figura 35.- Ensamble de la estructura de protección de los dispositivos XBEE. | 45 |
| Figura 36.- Tarjeta para el control Arduino Mega. | 45 |
| Figura 37.-Soporte para riel DIN | 46 |
| Figura 38.-Estructura de protección Arduino parte inferior..... | 46 |
| Figura 39.- Estructura de protección Arduino parte Superior..... | 47 |
| Figura 40.- Estructura de protección de Arduino..... | 47 |
| Figura 41.- Estructura protectora de la placa de potencia..... | 48 |
| Figura 42.- Instalación de Mangueras | 49 |
| Figura 43.- Montaje de un Nebulizador. | 49 |
| Figura 44.- Esquemático del Sistema de Protección y Botonera | 51 |
| Figura 45.- Esquemático de Conexiones con Arduino..... | 52 |
| Figura 46.- Esquemático Etapa de Potencia..... | 54 |
| Figura 47.- Esquemático de la Conexión con los Actuadores del Sistema..... | 55 |
| Figura 48.- Esquemático Terminales Eléctricos del Gabinete | 56 |
| Figura 49.- Borneras del Tablero | 57 |
| Figura 50.- Conexiones en el invernadero. | 57 |
| Figura 51.- Condiciones en modo manual. | 59 |
| Figura 52.- Condiciones modo automático. | 60 |
| Figura 53.- Estructura de Navegación de la Interfaz..... | 61 |
| Figura 54.- Distribución de los elementos en Pantalla..... | 62 |
| Figura 55.- Librería para Arduino | 66 |
| Figura 56.- Selección de puerto serial..... | 67 |
| Figura 57.- Clases Instanciadas..... | 68 |
| Figura 58.- Transmisión serial desde Arduino..... | 68 |
| Figura 59.- Creación de un SerialPortEventListener | 69 |
| Figura 60.- Implementación del método ArduinoRXTX..... | 69 |
| Figura 61.- Implementación del método DataReceptionCompleted()..... | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 62.- Implementación del método getMessage()..... | 70 |
| Figura 63.- Implementación del método killArduinoConnection() | 71 |
| Figura 64.- Implementación del método sendData()..... | 71 |
| Figura 65.- Recepción de Datos en Arduino desde Java..... | 71 |
| Figura 66.- Prueba de activación de electroválvulas..... | 74 |
| Figura 67.- Control en modo automático. | 75 |
| Figura 68.- Sistema de Nebulización | 76 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Tipos de plantas en la empresa Germoplanta</i> | 10 |
| Tabla 2 <i>Condiciones Climáticas de las plantas del invernadero</i> | 13 |
| Tabla 3 <i>Plantas en Región Oriente</i> | 17 |
| Tabla 4 <i>Plantas en Región Costa</i> | 18 |
| Tabla 5 <i>Plantas en Región Sierra</i> | 18 |
| Tabla 6 <i>Elementos Diagrama P&ID</i> | 20 |
| Tabla 7 <i>Características técnicas del Computador</i> | 23 |
| Tabla 8 <i>Características Principales del sensor DHT11</i> | 25 |
| Tabla 9 <i>Características detalladas del sensor DHT11</i> | 26 |
| Tabla 10 <i>Características Operación del sensor DHT11</i> | 26 |
| Tabla 11 <i>Especificaciones del Módulo XBee</i> | 31 |
| Tabla 12 <i>Características del Relé seleccionado</i> | 32 |
| Tabla 13 <i>Controles Principales</i> | 34 |
| Tabla 14 <i>Dimensionamiento del fusible</i> | 35 |
| Tabla 15 <i>Fuentes del Tablero</i> | 36 |
| Tabla 16 <i>Mapa de conexiones de Arduino</i> | 53 |
| Tabla 17 <i>Colores de Fondo de Pantalla</i> | 63 |
| Tabla 18 <i>Colores de Estado de Equipos y Actuadores</i> | 63 |
| Tabla 19 <i>Colores del Texto</i> | 64 |
| Tabla 20 <i>Tabla de Interpretación para envío desde Java a Arduino</i> | 72 |
| Tabla 21 <i>Resultados Sistema Hidráulico</i> | 76 |
| Tabla 22 <i>Presupuesto</i> | 78 |

RESUMEN

El presente proyecto contempló el desarrollo de un sistema de control para microclimas en la empresa Germoplanta Cia. Ltda. a base de una tarjeta de adquisición y control para tres secciones distintas en un invernadero que posee diferentes tipos de plantas. Las tres secciones mantienen diferentes rangos de humedad y temperatura para que se asemejen a diferentes climas regionales: Oriente, Costa y Sierra. Esto permitió generar un invernadero para investigación donde será posible realizar estudios científicos sobre condiciones climáticas que favorecen al desarrollo de distintas especies.

En un principio el invernadero no poseía ningún tipo de sistema de automatización, por lo tanto en este trabajo se presenta el desarrollo de diseño e implementación del sistema hidráulico, el sistema físico de control a través de un tablero eléctrico y el software de supervisión y control, para manejar el proceso de manera remota desde las oficinas de la empresa.

PALABRAS CLAVE:

- **MICROCLIMAS**
- **ARDUINO**
- **INVERNADERO**
- **HUMIDIFICACIÓN**
- **XBEE**

ABSTRACT

This project involved developing a control system of microclimates for the biotechnology company Germoplanta Cia Ltda , based on a data acquisition and control card, for three different sections in a greenhouse that possesses different types of plants. The three sections require different ranges of humidity and temperature to resemble distinct regional climates: Amazon Rainforest, Coast and Mountain range. This generated a research greenhouse in where it will be possible to make scientific studies on climatic conditions that favor the development of different species.

At first the greenhouse did not have any automation system, so in this document the development to be presented is the design and implementation of the hydraulic system, the physical control system via an electrical panel, and the monitoring and control software, to manage the process remotely from the offices of the company.

KEY WORDS:

- **MICROCLIMATES**
- **ARDUINO**
- **GREENHOUSE**
- **HUMIDIFICATION**
- **XBEE**

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Germoplanta – Biotecnología en el Ecuador, es una empresa creada para impulsar el desarrollo y la aplicación de tecnología de punta en organismos vivos, con finalidad de mejorar la cantidad y calidad de los productos.

Germoplanta se dedica a la micro propagación de plantas, desarrollo de semilla artificial o sintética, plantas in vitro, plantas aclimatadas, asesoría y equipamiento de laboratorios de biotecnología.

En la empresa Germoplanta se encuentra instalado un invernadero el cual en un inicio no constaba con ningún tipo de sistema de instrumentación o automatización. Su propósito es mantener condiciones climáticas diversas para la investigación y desarrollo de diferentes tipos de plantas, por lo cual es de gran importancia proveer un sistema de control que maximice la calidad de las plantas y su producción.

En la fase de plantación es indispensable mantener una estabilidad climática para facilitar el crecimiento sano de los diferentes tipos de plantas. Durante este periodo se debe asegurar que el medio de crecimiento sea lo suficientemente húmedo. Debido a las diferentes necesidades climáticas de las plantas desarrolladas en la empresa es importante proveer una diversificación de ambientes climatizados.

Para la implementación del sistema de aclimatación por secciones dentro del invernadero fue indispensable analizar las variables que influyen sobre el desarrollo de las plantas como: Temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo, etc.

1.2. Justificación e Importancia

Un invernadero para la investigación que se encuentre adecuadamente controlado y automatizado, permitirá el desarrollo de diferentes tipos de plantas, además con la separación en 3 secciones con distinta aclimatación será posible para la empresa Germoplanta realizar estudios científicos sobre condiciones climáticas que favorecen al desarrollo de distintas especies.

Actualmente en el invernadero de la empresa se están desarrollando una cantidad aproximada de 10.000 plantas de diferentes especies creadas mediante técnicas de cultivo in vitro en un área de 310 m², al implementar nuestro sistema de control para generar distintos microclimas por secciones se pretende impulsar un desarrollo de gran magnitud en la empresa, incrementando niveles de productividad además de optimizar recursos y obtener varios beneficios inminentes en el proceso.

Proveer un sistema de control adecuado permite mantener los parámetros descritos en niveles estables para corregir el periodo de cultivo y reducir el riesgo de infección bacteriológica en las plantas del invernadero. Además permite la adecuación de nuevas variedades de plantas las cuales tenían un mayor nivel de mortandad en las condiciones previas del invernadero.

Un sistema de humidificación exitoso permite mantener un nivel de humedad alto en el aire lo cual contribuye directamente para la retención de un microclima. Esto a su vez asegura una mejora en los niveles de calidad de la producción de las plantas y su crecimiento debido a que se mantienen adecuadamente hidratadas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de control de microclimas para plantas in vitro en Germoplanta Cia. Ltda.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las condiciones climáticas que necesitan los diferentes tipos de plantas en el invernadero.
- Evaluar los sensores y actuadores a utilizar tomando en cuenta las características necesarias a través de criterios de ingeniería.
- Diseñar el sistema hidráulico de recolección y riego del invernadero.
- Diseñar el sistema eléctrico y electrónico de adquisición y transmisión.
- Diseñar un sistema de control para mantener condiciones climáticas estables dentro del rango requerido.
- Diseñar una interfaz HMI amigable con el usuario, basado en la guía GEDIS para el fácil monitoreo y supervisión del proceso.
- Implementar el sistema de recolección y distribución de agua del invernadero y controlar el sistema de nebulización.
- Implementar el sistema de control y la interfaz HMI para controlar y supervisar los parámetros de temperatura y humedad en el invernadero.
- Evaluar los resultados obtenidos con la implementación del sistema de control y monitoreo.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cultivos in vitro

El cultivo in vitro refleja su significado a cultivos en vidrio. En un cultivo in vitro lo que se intenta es obtener un medio que asemeje todos los componentes de la tierra, en el caso de hacer un análisis de suelo se observarán: Nitrógeno, calcio, magnesio, fosforo, boro, que son los nutrientes para la planta, se asemeja todo lo que hay en ella; en este medio y mediante este proceso de cultivo se da la alimentación necesaria dependiendo de cada tipo de planta.



Figura 1.-Medio de Cultivo.

Al medio de cultivo se le agregan unas vitaminas y reguladores de crecimiento naturales, que permiten controlar el desarrollo ya sea de: Hojas, una planta completa, o simplemente células.



Figura 2.- Células in vitro.

Las células se pueden mantener en este estado por un tiempo indefinido, y al introducir una hormona específica a las células se pueden obtener raíces, brotes (nuevas plantas), etc.

El medio se vuelve sólido mediante un gelificante. Generalmente se pueden encontrar medios líquidos, no obstante el medio de cultivo recomendable es el sólido.

2.2. Aclimatación

En este proceso la planta pasa por varias etapas.

Al hacer cultivos con semilla se pueden generar problemas de enfermedades y bacterias; las semillas tienen genes heredados, por lo que no son idénticos a la planta que los produce y pueden ser más débiles. Un clon tiene las características de la muestra y se puede producir de manera más uniforme.

La semilla tiene baja germinación, por ejemplo: De 100 semillas que se plantaron 70 produjeron nuevas plantas y 30 murieron, eso significa un 30% de pérdida. En el laboratorio de biotecnología de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) se pueden producir más de un millón de plantas por mes. La Empresa Germoplanta tiene la capacidad de producir 400,000 plantas por mes.

La condición de una planta para salir a invernadero es que sea completa, es decir que tenga raíz, brotes y pueda vivir sola, como se visualiza en la imagen siguiente.



Figura 3. Planta Completa

La etapa para pasar a invernadero es la más difícil porque la planta en el medio in vitro es heterótrofa, ya que necesita que se le provean de nutrientes, temperaturas, etc. El objetivo a lograr es que la planta tiene que vivir. Cuando la planta llega a invernadero se vuelve Autótrofa, significa que ella sola tiene que absorber sus alimentos, procesarlos, absorber la luz, etc.



Figura 4.-Planta heterótrofa en medio de cultivo líquido.

La planta sale a tierra pero todavía debe mantener las condiciones de control de luz, temperatura, humedad adecuada y tener los nutrientes necesarios. En este medio puede pasar aproximadamente un mes para sobrevivir en condiciones normales.



Figura 5.- Etapa de Aclimatación.

2.3. Humidificación

Todas las plantas in vitro que salen deben tener una humedad alta en el ambiente, asemejándose a su condición in vitro, y para obtener humedad en el ambiente se debe hacer nebulización llevar las partículas de agua al ambiente. No hacerlo por medio de goteo por que la planta es muy sensible y al caerle una gota puede llegar a romperla.

2.4. Biotecnología vegetal

Todo trabajo realizado en laboratorio se lo realiza en condiciones asépticas, libre de microorganismos, sin virus, sin bacterias, sin hongos, mediante un proceso, a una presión y temperaturas adecuadas para que la materia orgánica no se degrade.

Con un medio estéril se toma las muestras desinfectadas, llevándolas a cámaras de flujo laminar, que toma el aire del ambiente y lo hace pasar por un filtro que tiene el poro más pequeño que el tamaño de las esporas de hongos y bacterias y no permite el paso de los microorganismos.

En la diferenciación de un medio de cultivo con varios brotes se pueden obtener más plantas, como se observa en el ejemplo mostrado en la figura 6. Se pueden obtener 500 plantas, lo que se llama Génesis Directa. Es decir se pueden formar nuevos órganos directamente.



Figura 6.- Medio para Diferenciación.

Es recomendable cada mes cambiar de cultivo por que se encuentra la base de gel pero con menos nutrientes.

El crecimiento de cultivos se realiza de manera exponencial. De un medio de cultivo se puede obtener exponencialmente muchos medios. Existen casos en los cuales no se realiza la desinfección de manera adecuada, la tasa de crecimiento del contaminante es mayor que la tasa de crecimiento de la planta y el hongo gana los nutrientes del medio del cultivo.

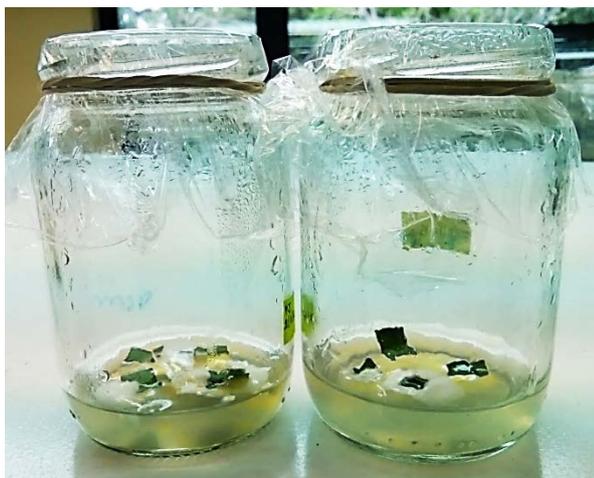


Figura 7.- Medio de cultivo con hongos.

Las células tienen como única función dividirse, pero mediante hormonas se pueden obtener tallos, yemas, hojas, etc. De cada frasco de cultivo in vitro de células se pueden obtener 200 plantas. El problema de tener en forma de células las plantas, es que generan mutaciones con el paso del tiempo. Los cambios de luz y temperatura generan cambios en el ADN y producen mutaciones.

De las células se pueden obtener principios activos. En las plantas medicinales como la manzanilla se encuentra un antiinflamatorio, este es el principio activo de esa planta. Los principios activos se usan en industrias farmacéuticas para alimentos, como el babaco que produce papaína para ablandar las carnes.



Figura 8.- Células madre con principios activos.

En la siguiente tabla se muestra la variedad de plantas que existen en la empresa Germoplanta.

Tabla 1

Tipos de plantas en la empresa Germoplanta

| Nombre | Nombre científico |
|----------------------|--------------------------|
| AGERATO | Ageratumhoustonianum |
| CLAVELINA | Dianthus |
| AZULINA | Plumbago auriculata |
| OJOS DE POETA | Thunbergiaalata |
| VIEJITOS | Cephalocereussenilis |
| GERANIOS | Geranium |
| GERBERAS | Gerberajamesonii |
| MARIGOLD | Tagetes Erecta |
| PERROS ALTOS Y BAJOS | Antirrhinum |
| BELLAS | Atropa belladona |
| GERANIO MINI REY | |
| CICLAMEN | Cyclamenpersicum |
| MARIGOL POMPON | |
| GIRASOL | Helianthusannuus |
| ZAPATITOS | Paphiopedilum |
| PETUNIAS | Petunia hybrida |
| PRIMAVERAS | tabebuiadonnell-smithii |
| UNCUS | |
| AQUILEGIA | |
| BEGONIA AZUCAR | Begonia semperflorens |
| BEGONIA BIG | |
| PENSAMIENTOS | Viola x wittrockiana |
| DALIAS | Dahlia |
| ANTURIO | Anthuriumandreanum |

| | |
|--------------------|----------------------|
| VIOLETAS | Viola odorata |
| ORQUIDEA ONCIDUM | |
| ORQUIDEA SILVESTRE | Ophrys bombyliflora |
| MALA MADRE | Chlorophytum comosum |
| TERCIOPELINA | Coleus blumei |
| ROSA ROSADA | |
| MARIPOSA | |
| ALCE MORADO | |
| OREJA DE CONEJO | |
| ESCANCEL | |

CAPITULO 3

3. INGENIERÍA BÁSICA

3.1. Estudio del invernadero

El invernadero en Germoplanta posee una variedad de plantas de climas diferentes como se muestra en la Figura 9.



Figura 9.- Diversidad en Invernadero

3.1.1. Planos Estructurales.

En el siguiente plano se puede visualizar el estado actual del invernadero, con sus respectivas dimensiones en milímetros. El invernadero tiene 32 metros de largo y 15 metros de ancho, con una división de 7,4 metros en la mitad como se puede visualizar en el anexo dimensiones del invernadero.

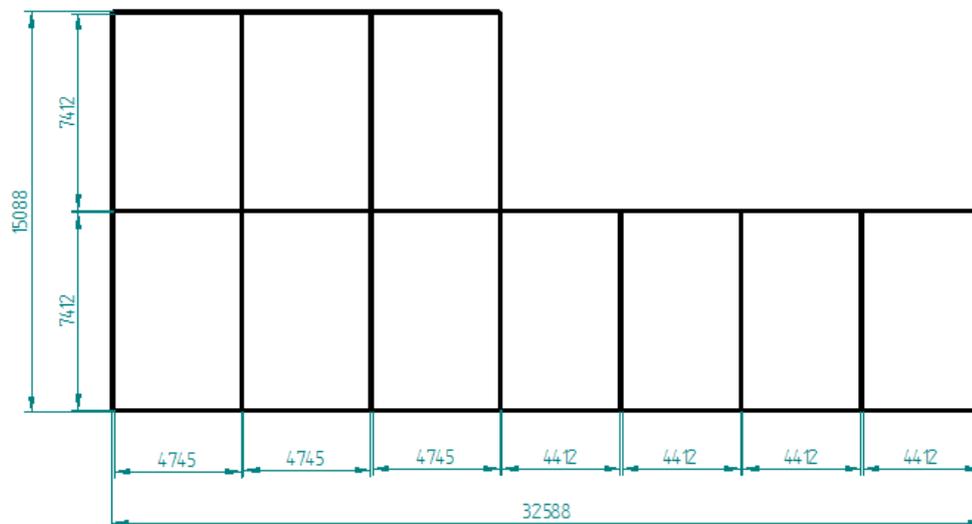


Figura 10.-Dimensiones del invernadero

3.1.2. Listado de plantas y sus condiciones climáticas.

Tabla 2

Condiciones Climáticas de las plantas del invernadero

| Nombre | Temperatura día | Temperatura noche | Humedad |
|----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| AGERATO | 21-24° | 15-18° | 40-70% |
| CLAVELINA | 17-18° | 19-20° | 40-70% |
| AZULINA | 21-22° | | 95% |
| OJOS DE POETA | Aprox. 18° | | |
| VIEJITOS | 10-15° (Invierno) | | Evitar exceso de agua |
| GERANIOS | 21-24° | 16-18° | 40-70% |
| GERBERAS | 20-21° | 20-21° | 40-50% |
| MARIGOLD | 18-23° | 13-18° | 40-70% |
| PERROS ALTOS Y BAJOS | 17,5-19,5° | | 40% |
| BELLAS | | | |
| GERANIO MINI REY | 21-24° | 16-18° | 40-70% |

| | | | |
|-----------------------|--------|--------|---------------------------|
| CICLAMEN | 15-22° | 10-18° | >50% |
| MARIGOL POMPON | 18-23° | 13-18° | 40-70% |
| GIRASOL | 17-20° | | 40-70% |
| ZAPATITOS | 23-27° | 10-15° | 60-70% |
| PETUNIAS | 22-24° | 22-24° | 40% |
| PRIMAVERAS | 23-28° | | |
| UNCUS | | | |
| AQUILEGIA | 16-18° | | 70% |
| BEGONIA AZUCAR | 20-21° | 18-19° | 40-70% |
| BEGONIA BIG | 20-21° | 18-19° | 40-70% |
| PENSAMIENTOS | 19° | | 40-70% |
| DALIAS | 19° | | <50% |
| ANTURIO | 25-32° | 21-24° | 70-80% (70-75% Sombra) |
| VIOLETAS | 21° | | 50-80% |
| ORQUIDEA ONCIDUM | 23-29° | 15-18° | 55-75% |
| ORQUIDEA SILVESTRE | 23-29° | 15-18° | 55-75% |
| MALA MADRE | 18-24° | | 30-50% |
| TERCIOPELINA | 18-24° | | Moderada |
| ROSA ROSADA | 17-25° | | |

3.1.3. Ubicación Geográfica

Germoplanta se encuentra ubicado en Sangolqui en la calle de los Almendros y los Viñedos, lugar donde se realizan pruebas de biotecnología.



Figura 11.- Ubicación de la empresa Germoplanta.

3.2. Diseño conceptual

3.2.1. División de áreas.

En el siguiente plano se muestra la división de las áreas del invernadero. Se tiene una división en la parte posterior de 7,5 metros de ancho y 8,8 metros de largo, en esta se encuentran las plantas del tipo oriente. En la parte posterior tenemos la segunda división de iguales dimensiones donde se encuentran plantas del tipo costa; y en la división mayor de 15 metros de ancho por 17 metros de largo se encontraran plantas del tipo sierra, como se muestra en la figura 12.

Es importante identificar que en una mesa del invernadero pueden encontrarse de 10,000 a 50,000 plantas. En una pequeña zona territorial pueden encontrarse 200,000 plantas, como se puede ver en Oriente en la planta de Anturio, una especie muy cotizada; esta se produce con una variedad de 7 colores en Germoplanta.

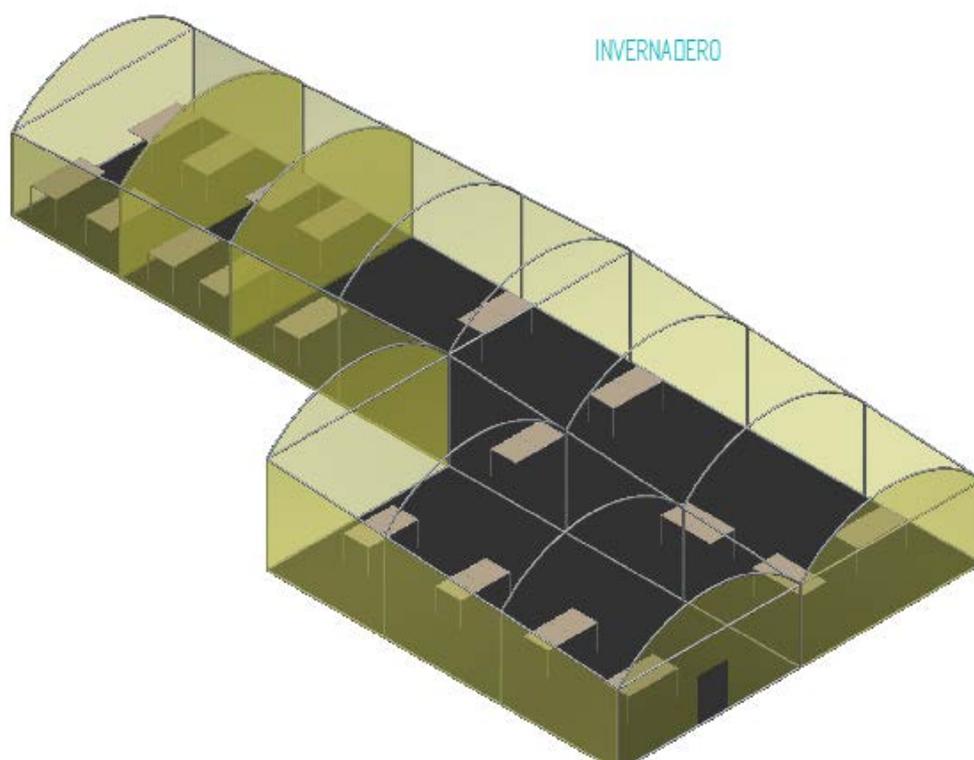


Figura 12.- Divisiones del invernadero.

3.2.2. Plantas en cada área.

Es importante identificar que las tablas a continuación representan una recomendación que se da tomando en cuenta los datos de temperatura y humedad encontradas, pero para casos de estudio pueden variar las especies de plantas en cada zona.

| | | | | | | |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ORIENTE | COSTA | SIERRA | SIERRA | SIERRA | SIERRA | SIERRA |
| | | | | SIERRA | SIERRA | SIERRA |

Figura 13.- División de áreas del invernadero.

- *Oriente*

Tabla 3

Plantas en Región Oriente

| Nombre | Temperatura día | Temperatura noche | Humedad |
|------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| AGERATO | 21-24° | 15-18° | 40-70% |
| CLAVELINA | 17-18° | 19-20° | 40-70% |
| AZULINA | 21-22° | | 95% |
| OJOS DE POETA | Aprox. 18° | | |
| GERANIOS | 21-24° | 16-18° | 40-70% |
| MARIGOLD | 18-23° | 13-18° | 40-70% |
| BELLAS | | | |
| GERANIO MINI REY | 21-24° | 16-18° | 40-70% |
| CICLAMEN | 15-22° | 10-18° | >50% |
| GIRASOL | 17-20° | | 40-70% |
| ZAPATITOS | 23-27° | 10-15° | 60-70% |
| UNCUS | | | |
| AQUILEGIA | 16-18° | | 70% |
| BEGONIA AZUCAR | 20-21° | 18-19° | 40-70% |
| BEGONIA BIG | 20-21° | 18-19° | 40-70% |
| PENSAMIENTOS | 19° | | 40-70% |
| ANTURIO | 25-32° | 21-24° | 70-80% (70-75% Sombra) |
| VIOLETAS | 21° | | 50-80% |
| ROSA ROSADA | 17-25° | | |

- *Costa*

Tabla 4

Plantas en Región Costa

| Nombre | Temperatura día | Temperatura noche | Humedad |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| MARIGOL POMPON | 18-23° | 13-18° | 40-70% |
| PETUNIAS | 22-24° | 22-24° | 40% |
| PRIMAVERAS | 23-28° | | |
| ORQUIDEA ONCIDUM | 23-29° | 15-18° | 55-75% |
| ORQUIDEA SILVESTRE | 23-29° | 15-18° | 55-75% |
| MALA MADRE | 18-24° | | 30-50% |
| TERCIOPELINA | 18-24° | | Moderada |
| ROSA ROSADA | 17-25° | | |

- *Sierra*

Tabla 5

Plantas en Región Sierra

| Nombre | Temperatura día | Temperatura noche | Humedad |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| VIEJITOS | 10-15° (Invierno) | | Evitar exceso de agua |
| GERBERAS | 20-21° | 20-21° | 40-50% |
| PERROS ALTOS Y BAJOS | 17,5-19,5° | | 40% |
| CICLAMEN | 15-22° | 10-18° | >50% |
| AQUILEGIA | 16-18° | | 70% |
| DALIAS | 19° | | <50% |

En la siguiente figura se muestran los parámetros deseados de humedad y temperatura en cada área

| | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| HUMEDAD RELATIVA: 70%-90% | HUMEDAD RELATIVA: 60%-80% | HUMEDAD RELATIVA: 40%-70% |
| TEMP: 25-30°C | TEMP: 20-28°C | TEMP: 15-25°C | TEMP: 15-25°C | TEMP: 15-25°C | TEMP: 15-25°C | TEMP: 15-25°C |
| | | | | HUMEDAD RELATIVA: 40%-70% | HUMEDAD RELATIVA: 40%-70% | HUMEDAD RELATIVA: 40%-70% |
| | | | | TEMP: 15-25°C | TEMP: 15-25°C | TEMP: 15-25°C |

Figura 14.-Rangos de Operación en Cada Área.

3.3. Filosofía de operación

Para el sistema de control de microclimas quedan definidas tres secciones las cuales mantienen diferentes rangos de humedad y temperatura. Cada sección posee sensores tanto de humedad relativa como de temperatura los cuales transmiten constantemente la información a un controlador montado localmente en el invernadero en la región Sierra. Para permitir el paso de agua y activar la nebulización se trabaja con tres electroválvulas, las cuales son activadas mediante el controlador y sirven como actuadores individuales para cada una de las regiones a controlar.

Dentro de las oficinas de la empresa se encuentra un computador el cual contiene la interfaz de control y supervisión del proceso, este se comunica con el controlador central del invernadero mediante el uso de módulos transmisores los cuales están conectados de forma inalámbrica.

Por lo tanto el sistema puede ser representado mediante un diagrama de Instrumentación y Proceso P&ID, tal como se observa en la Figura 15.

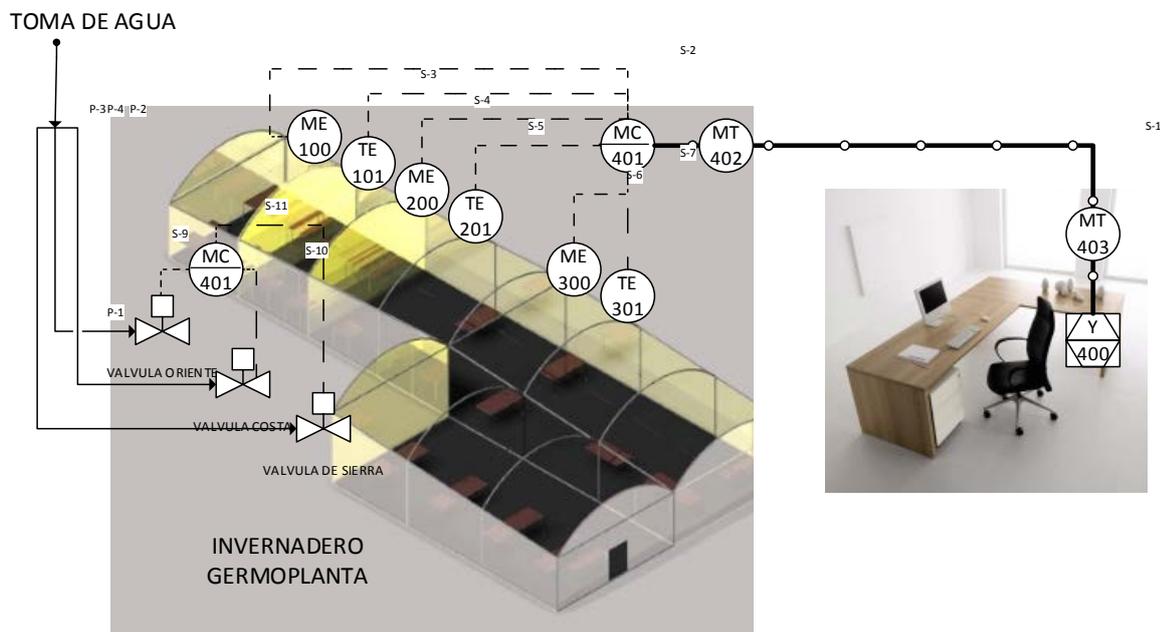
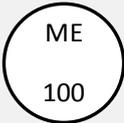
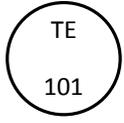
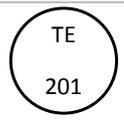


Figura 15.- Diagrama de Instrumentación y Proceso P&ID

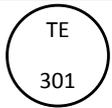
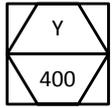
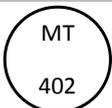
Los elementos que lo constituyen están definidos en la siguiente tabla:

Tabla 6

Elementos Diagrama P&ID

| Símbolo | Significado |
|---|----------------------------------|
|  | Sensor de humedad de Oriente |
|  | Sensor de Temperatura de Oriente |
|  | Sensor de humedad de Costa |
|  | Sensor de Temperatura de Costa |
|  | Sensor de humedad de Sierra |

→ Continúa

| | |
|---|---------------------------------|
|  | Sensor de Temperatura de Sierra |
|  | Controlador de Humedad |
|  | Computador |
|  | Electroválvula |
|  | Transmisor de Humedad |

Para comprender de manera más profunda el funcionamiento de nuestro proyecto, se explicará detalladamente la funcionalidad de cada elemento de manera individual:

- ***Controlador de Humedad***

Denominado con las siglas “MC” en el diagrama, se trata del controlador físico del sistema, el cual se trata de una tarjeta de adquisición y control Arduino Mega. Esta nos permitirá medir las señales de las variables controladas (temperatura y humedad relativa) en cada región y actuar sobre la variable manipulada (caudal) del sistema a través de activaciones individuales.

Dentro del controlador se encuentran establecidos los parámetros de humedad y temperatura exigidos por el cliente para cada sección del invernadero, los cuales representan el Set Point de nuestro sistema.

Quedan definidos de la siguiente manera:

Región Oriente: Humedad Relativa 70% a 90% - Temperatura 25°C-30°C.

Región Costa: Humedad Relativa 60% a 80% - Temperatura 20°C-28°C.

Región Sierra: Humedad Relativa 40% a 70% - Temperatura 15°C-25°C.

Dado a que la salida del sistema corresponde a rangos amplios de funcionamiento, el proceso no necesita un nivel de precisión muy alto, y por lo tanto hemos optado por una técnica de control del tipo ON – OFF.

- ***Medición***

La medición para la retroalimentación del sistema se realizará a través de sensores de humedad relativa y temperatura, denominados “ME” y “TE” correspondientemente, los cuales estarán ubicados estratégicamente en cada una de las regiones y transmitirán la información de forma constante al controlador.

- ***Actuadores***

Se actuará sobre la variable manipulada del sistema, la cual es el caudal de agua que circulará en el sistema hidráulico instalado en cada sección para el proceso de humidificación por regiones. Para permitir el paso de agua se trabajará con 3 electroválvulas, una para cada región a controlar.

Los actuadores del sistema constan de una activación eléctrica y una activación mecánica, por lo consiguiente se podrán activar de manera remota mediante la interfaz y también de manera local a través de la activación mecánica en cada región.

- ***Transmisión***

Existirán dos transmisores/receptores, denominados “MT”, uno ubicado en el invernadero, con conexión física directa al controlador del sistema, y otro ubicado en las oficinas de la empresa, conectado directamente al computador. Estos elementos son transmisores de Radio Frecuencia XBEE, los cuales permitirán una conexión inalámbrica para la comunicación de datos entre la interfaz HMI y el controlador del sistema.

- *Computador*

Dentro de las oficinas de la empresa está ubicado un computador, denominado con la letra “Y”, que contiene un archivo ejecutable de la interfaz HMI desarrollada en JAVA. Mediante este se puede controlar y supervisar el sistema de manera remota.

Consta de dos modos de funcionamiento:

- **Modo Manual:** Dentro de este modo se puede manipular manualmente cada actuador del sistema de forma individual, mediante controles gráficos incluidos en la interfaz.
- **Modo Automático:** En este modo las variables controladas las cuales corresponden a los valores numéricos y porcentuales de temperatura y humedad correspondientemente se establecerán dentro de los rangos asignados en el controlador.

Dentro de la información básica del equipo podemos ver que el computador posee las siguientes características:

Tabla 7

Características técnicas del Computador

| Característica | Información |
|----------------------------|------------------------------|
| Procesador | Intel Atom CPU D2500 |
| Velocidad de Procesamiento | 1.86 GHz |
| Memoria RAM | 2GBytes |
| Tipo de sistema | Sistema Operativo de 32 bits |
| Edición de Windows | Windows 7 |

3.4. Selección de instrumentación

3.4.1. Sensores de Humedad y temperatura del ambiente.

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad de bajo costo. Usa un sensor capacitivo de humedad y un termistor para la temperatura del ambiente, su tiempo de adquisición de datos es de 2seg.



Figura 16.- Sensor de humedad y temperatura.

En el invernadero es necesario tomar en cuenta la temperatura y humedad del ambiente simultáneamente de cada sección y mantener las condiciones ideales para las plantas de oriente, de costa y sierra. Estas condiciones dependen de mantener humedades altas, pero al mismo tiempo de evitar las temperaturas críticas de cada región.

El sensor DHT11 es un sensor que trabaja con las dos señales, la humedad y la temperatura. Posee la instrumentación necesaria para transformar humedad y temperatura en una sola salida digital. La salida digital tiene una sincronización con el tiempo, envía un 1 y un 0. Dependiendo de este tiempo, se identifican las señales de humedad y temperatura.

Es un sensor con un manejo sencillo y eficiente en la plataforma de Arduino. Manejar un software libre como lo es Arduino permite que mediante librerías

diseñadas se obtenga las señales de temperatura y humedad con pocas líneas de código.

Al trabajar el sensor de humedad con Arduino agregaremos la librería DHT-sensor-library-master que nos permite configurar la recepción y sincronización de humedad y temperatura. Este sensor tiene un consumo de corriente de 0,5mA en funcionamiento y de 0,1mA en reposo.

- ***Características***

Las características del sensor DHT11 permiten que se maneje un sistema con bajo consumo de potencia. El consumo de un sensor DHT11 es de 1mA que lo hace ideal para trabajar en sistemas con microcontroladores. Arduino posee una salida máxima por un pin digital, de 40mA. La alimentación de Arduino a los sensores se realiza sin problema por su bajo consumo.

DHT11 es un sensor de bajo costo con una precisión de $\pm 5\%$ RH en humedad relativa y de $\pm 2\%$ C en temperatura. Para el invernadero se maneja un control a nivel de rangos en oriente de 70%HR - 90%HR, 25°C-30°C. En costa de 60%HR - 80%HR y 20°C-28°C. En sierra 40%HR - 70%HR y 15°C-25°C; estos rangos permiten trabajar con este nivel de precisión.

Tabla 8

Características Principales del sensor DHT11

| Artículo | Rango de Medición | Precisión de Humedad | Precisión de Temperatura | Resolución |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|
| DHT11 | 20-90%RH 0-50°C | $\pm 5\%$ RH | $\pm 2\%$ C | 1% HR 1°C |

Tabla 9*Características detalladas del sensor DHT11*

| Parámetros | Condiciones | Mínimo | Típico | Máximo |
|-------------------|-------------|--------|---------|--------|
| Humedad | | | | |
| Resolución | | 1%RH | 1%RH | 1%RH |
| Repetitividad | | | ± 1% RH | |
| Precisión | 25°C | | ± 4% RH | |
| | 0-50°C | | | ± 5%RH |
| Rango de Medición | 0°C | 30%RH | | 90%RH |
| | 25°C | 20%RH | | 90%RH |
| | 50°C | 20%RH | | 80%RH |
| Histéresis | | | ±1RH | |
| Temperatura | | | | |
| Resolución | | 1°C | 1°C | 1°C |
| Repetitividad | | | ±1°C | |
| Precisión | | ±1°C | | ±2°C |
| Rango de Medición | | 0°C | | 50°C |

Tabla 10*Características Operación del sensor DHT11*

| Artículo | Condiciones | Min | Típico | Max | Unidades |
|------------------------|-------------|-----|--------|-----|----------|
| Fuente de alimentación | | 3 | 5 | 5.5 | V |
| Fuente de corriente | Medición | 0.5 | | 2.5 | mA |
| | Stand-by | 100 | Nulo | 150 | uA |
| | Promedio | 0.2 | Nulo | 1 | mA |

Ver más sobre los sensores DHT11 en el anexo de sincronización de sensores XBEE.

3.4.2. Nebulizadores

Para controlar el fenómeno de humedad se utilizan nebulizadores y no aspersores. Se desea obtener las partículas más pequeñas de agua para humedecer el ambiente. Cuando se hace el traslado de plantas in vitro al invernadero, se debe tener en cuenta que las plantas in vitro son muy sensibles, ya que una gota de agua podría romper una de sus hojas. Un nebulizador permitirá humedecer sin daños a las plantas in vitro.

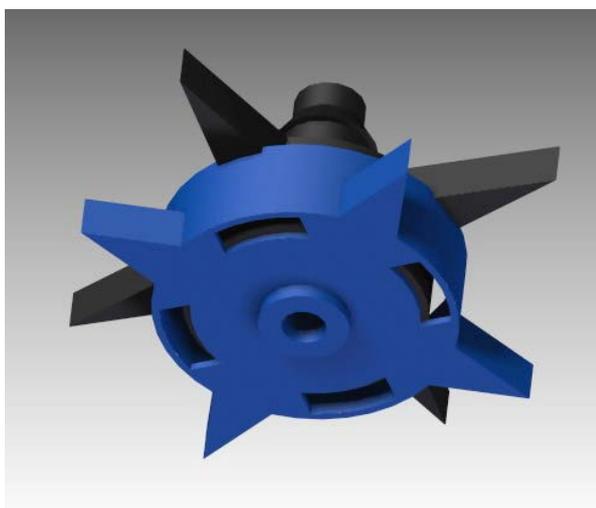


Figura 17.- Nebulizador

- **Características:**

- Caudal modelo vertical – 6.8 a 23.4 gph (25.7 a 88.6 L/hr)
- Caudal modelo invertido – 7.5 a 23.4 gph (28.4 a 88.6 L/hr)
- Rango de Presiones: 30 a 50 psi (2.1 a 3.45 bar)
- Boquilla y válvula de retención fáciles de limpiar, con desenroscado y desarmado rápido sin herramientas.

(Senniger, 1963)

3.4.3. Electroválvulas

Las electroválvulas RainPro están diseñadas en PVC, que es un material adecuado para integrarlo a un invernadero y evitar el deterioro de la electroválvula con el tiempo. Estas electroválvulas sirven para dar un paso grande de caudal ideal para el manejo de nebulizadores. Su alimentación es de 24VAC y tiene un consumo de

300mA. Para el presente proyecto se usaran tres electroválvulas que controlarán tres secciones diferentes, con un adaptador de voltaje de 1A y 24VAC. Con estos elementos se realizará el control total del invernadero.

Se pueden realizar pruebas manuales de las electroválvulas mediante una palanca de activación que poseen en su solenoide de activación. El funcionamiento de las electroválvulas es con presiones bajas de 0.7 a 10 bares. Los nebulizadores funcionan generalmente con presiones de 2.5 a 3.45 bares, permitiendo determinar que estas electroválvulas son las adecuadas para el sistema.

Electroválvulas RainPro 210-050



Figura 18.- Electroválvulas.

✓ Características.

- Disponible en 3/4", 1", 1 1/2" y 2" con roscas NPT o BSP.
- Fabricadas 100% en PVC (material aprobado por la NSF).
- Palanca de apertura manual con desagüe interno en todas las válvulas.
- Diafragma resistente.
- Rango de caudal desde 1136 hasta 27252 l/h.
- Solenoide 24 VAC 60 Hz (cable negro). Diseño de pistón hexagonal para su uso en aguas sucias.

- Modelos de 1 1/2" y 2" con regulador de caudal incorporado de serie.
- Presión de funcionamiento: 0.7 - 10.5 bares.
- Adecuado en aplicaciones residenciales y públicas.

(RainPro, 2013)

3.4.4. Tarjeta de adquisición

Arduino Mega es una tarjeta diseñada con un microcontrolador que permite el desarrollo de proyectos de control, mediante sensores y actuadores. La plataforma de Arduino es de software libre que permite obtener programas y librerías sin licencia, ideal para proyectos de bajo costo que tengan la intención de reproducirse,

La tarjeta Arduino Mega posee 54 pines digitales configurables, como salidas o entradas, lo que permite implementar sistemas con varios sensores y actuadores. En los casos de: Sensores DHT11 que necesitan una entrada digital, y en los de salidas a relés para la etapa de potencia; estos permiten usar electroválvulas, motores, luces, etc. como podemos ver en la figura 19.

La tarjeta de adquisición Arduino se puede alimentar con un adaptador de 7 a 12 VDC lo que permite su encendido. El sistema de control en el invernadero posee un adaptador de 110VAC a 7,5VDC para el suministro de energía de la tarjeta Arduino mega.

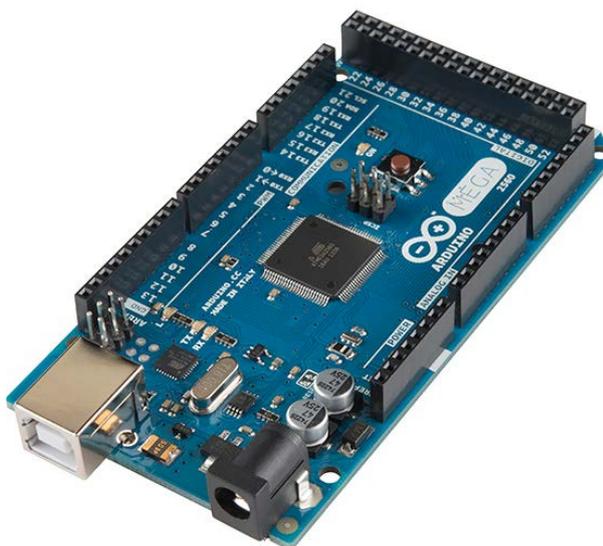


Figura 19.- Arduino Mega.

Características:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Tensión de alimentación: 5V
- Tensión de entrada recomendada: 7-12V
- Pines digitales: 54 (14 con PWM)
- Entradas analógicas: 16
- Corriente máxima por pin: 40 mA
- Corriente máxima para el pin 3.3V: 50 mA
- Memoria flash: 256 KB
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

(Servers, 2014)

3.4.5. Transmisores de radio frecuencia

El Transmisor XBEE, es un dispositivo para comunicación mediante radio frecuencia, fue diseñado por varias empresas buscando introducir un sistema eficiente de bajo consumo de energía al mercado, es ideal para el trabajo con sensores, y se unifica de manera sencilla a proyectos con Arduino.

Se usan los transmisores XBEE mediante una placa USB que tiene las conexiones de 5VDC, GND, TX, RX lo que permite conectarlos dispositivos de comunicación XBEE con Arduino, la placa USB permite conectar los dispositivos USB al computador mediante el cable mini USB a USB ver en la siguiente figura.

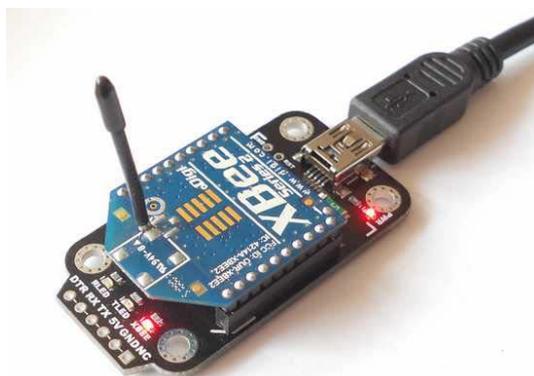


Figura 20.- Adaptador USB para XBEE.

Los transmisores XBEE Series 2 se alimentan con un voltaje de 2,1 a 3,6 VDC, su corriente de transmisión es de 35 mA; corriente de recepción de 38 mA. Se suministrará energía a un transmisor XBEE serie 2, mediante la tarjeta Arduino, con un pin de salida de 3,3VDC que posee 50mA en la salida.

Los dispositivos XBEE se manejan bajo el protocolo ZigBee que tienen como objetivo manejar sistemas de comunicación seguros, con una baja tasa de transmisión y una larga vida útil.

Las velocidades de comunicación están comprendidas entre 20kb/s y 250Kb/s y su alcance de transmisión es de 30m sin línea de vista y 100m con línea de vista. Esta tecnología opera en la banda libre ISM 2.4Ghz para conexiones inalámbricas.

➤ Especificaciones del Módulo XBEE

Tabla 11

Especificaciones del Módulo XBee

| Interfaz de datos seriales | 3.3 V CMOS UART |
|-----------------------------------|--|
| Método de Configuración | Comandos AT ó API, localmente o por aire |
| Banda de Frecuencia | 2.4 GHz. |
| Inmunidad a Interferencia | Canales DSSS (Direct Sequence Spreads Spectrum) |
| Velocidad de Transmisión | 1200-250000 bps, 6 entradas ADC de 10 bits, 8 entradas/salidas digitales |
| Potencia de transmisión de salida | 1 mW (0 dBm) |
| Sensibilidad de recepción | -92 dBm |
| Antena | WireWhip Antena |

- Requerimientos de Energía:
 - Voltaje de Alimentación: 2.8 – 3.4 VDC
 - Corriente de transmisión: 45 mA - 3.3V
 - Corriente de recepción: 50 mA -3.3V
 - Corriente Power-Down: < 10 uA

Ver más sobre la configuración de los dispositivos en el anexo de configuración de los dispositivos XBEE.

3.4.6. Relés

En este proyecto, es necesario controlar tres cargas de potencia en corriente alterna, a partir de señales digitales de 5V enviadas desde nuestra tarjeta Arduino.

Se trabajará utilizando Relés para su respectiva activación: Por su eficaz adquisición, porque permite aislar la zona de control y la de alta tensión.

Dado que los actuadores para nuestro sistema son las electroválvulas RainPro 210-050, con un voltaje de funcionamiento de 24VAC y una corriente de consumo que oscila entre los 250 mA y 350 mA, debemos elegir un relé que satisfaga estos rangos de salida y posean un voltaje de activación de la bobina de 5VDC, para la salida digital de Arduino.



Figura 21.- Relé seleccionado

Características Relé seleccionado:

Tabla 12

Características del Relé seleccionado

| Marca | Modelo | Voltaje de activación de la bobina | Voltaje de salida, o de conexión | Corriente de Conexión |
|--------|------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| SONGLE | SRD-05 VDC | Hasta 30 VDC | Hasta 250VAC | Hasta 10 A |

CAPITULO 4

4. DISEÑO DE HARDWARE

4.1. Diseño del Tablero

El tablero de control es la parte principal del sistema, este está constituido internamente por varios bloques interconectados físicamente mediante conductores eléctricos.

El siguiente diagrama indica los elementos que constituyen al Tablero de control así como sus respectivas interconexiones.

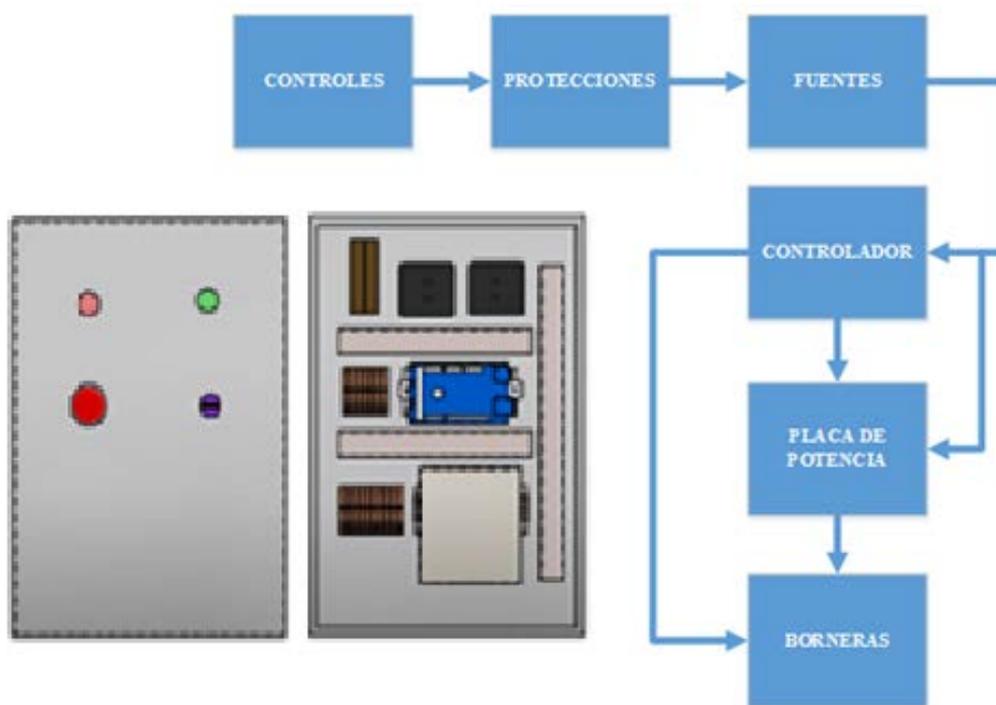


Figura 22.- Diagrama de Bloques y Esquema del Tablero.

4.1.1. Controles

En el tablero de control se ubicarán en primer lugar los controles principales para el encendido y apagado del sistema, los cuales constan de los siguientes elementos con su respectiva descripción:

Tabla 13*Controles Principales*

| Elemento | Cantidad | Descripción |
|--------------------------------------|-----------------|---|
| Selector interruptor de 2 posiciones | 1 | Switch de Encendido y Apagado del Sistema |
| Luz piloto color Rojo | 1 | Indicador de Paro del Sistema |
| Luz piloto color Verde | 1 | Indicador de Puesta en Marcha del Sistema |
| Botón paro de emergencia | 1 | Botón de paro de Emergencia del Sistema |

4.1.2. Protecciones

Dentro de los elementos a ser protegidos en la elaboración de nuestro Tablero de control encontramos:

- Tarjeta de Adquisición y Control Arduino
- Fuente de Alimentación Arduino
- Fuente de Alimentación Electroválvulas
- Placa de potencia

Por lo tanto se ha decidido contar con un sistema de protección redundante, contando con una protección de tipo Breaker como protección principal, y una protección de Fusible como protección complementaria al sistema.

El objetivo del sistema de protección es limitar el daño causado por cualquier falla eléctrica, además de salvaguardar la integridad y estabilidad de todos los elementos que componen el tablero eléctrico del sistema. Por tanto el sistema de protección debe retirar de servicio de manera inmediata cualquier operación anormal.

Como protección principal conectada a las líneas de alimentación de 110 VAC, se colocará un Breaker de marca Schneider de dos polos, uno para la fase de 110 VAC y el otro para el neutro del sistema.

El Breaker instalado, tendrá la funcionalidad de proteger los elementos del tablero de un posible cortocircuito, con el objetivo principal de evitar daños a los equipos eléctricos conectados.

Este Breaker tiene la facilidad de adaptación a rieles DIN, cumple con estándares internacionales eléctricos, y además soporta una corriente nominal de alimentación de hasta 16A y un voltaje de operación de hasta 440 VAC. Por tanto puede satisfacer la operatividad del tablero de control, aun si se desea a futuro incluir nuevas cargas de potencia, como por ejemplo una bomba de succión para el riego.



Figura 23.- Breaker a utilizar en el sistema

Para dimensionar la protección de fusible, tomamos en cuenta todas las cargas a ser conectadas a la alimentación principal:

Tabla 14

Dimensionamiento del fusible

| Cantidad | Carga | Potencia | Intensidad |
|-----------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | Fuente Tarjeta Arduino | 7 VA | 1A |
| 1 | Electroválvula sección Oriente | 7,5 VA | 300 mA |
| 1 | Electroválvula sección Costa | 7,5 VA | 300 mA |
| 1 | Electroválvula sección Sierra | 7,5 VA | 300 mA |
| | | Intensidad Total | 1,9 A |

Por lo tanto por valores comerciales la intensidad nominal del fusible elegido para la protección de estos elementos es de $I=2A$. El cual debe ser incluido en el diseño de los planos eléctricos internos del tablero.

4.1.3. Fuentes

Dentro del tablero se incluyen dos fuentes de voltaje, los cuales están descritas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 15

Fuentes del Tablero

| Elemento | Cantidad | Voltaje de Entrada | Voltaje de Salida | Corriente |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Fuente de corriente continua | 1 | 110VAC | 7.5VDC | 1A |
| Fuente de corriente alterna | 1 | 110VAC | 25VAC | 1A |

La fuente de corriente continua estará destinada a la alimentación de la tarjeta de adquisición y control Arduino Mega, por otro lado, la fuente de corriente alterna estará conectada a la placa de potencia para la activación respectiva de las electroválvulas del sistema.

4.1.4. Controlador

El controlador es una tarjeta Arduino Mega, la cual será la encargada de la lectura constante de datos desde los sensores, la correspondiente activación de los actuadores, así como de la transmisión de información hacia el módulo XBEE.

4.1.5. Placa de Potencia

Para el control de los actuadores del sistema, en este caso las Electroválvulas RainPro, es necesario implementar una etapa de potencia al tablero para la activación independiente de cada electroválvula.

Como elementos principales para la placa de potencia se utilizarán los relés descritos en el capítulo 3. Estos se encargarán de la activación y el paso de voltaje alterno para la alimentación de los actuadores del sistema.

Para revisar a profundidad el diseño de esta sección, se puede observar el Anexo: Diseño de la Placa de Potencia.

4.1.6. Terminales

Los terminales son salidas físicas del tablero, aquí se encuentran los puntos de conexión entre los elementos internos del tablero y todos los elementos de medición, transmisión y actuadores del sistema.

Los terminales corresponden a borneras físicas de paso modelo JXB-2.5/35 par riel DIN, marca LEIPOLE, como se observa en la Figura 24.- Borneras de paso.

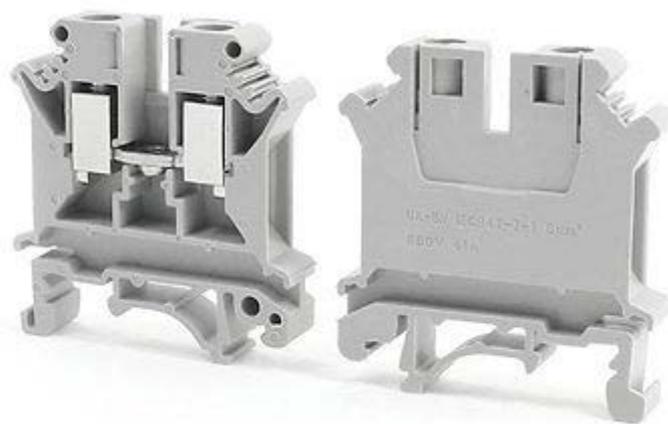


Figura 24.- Borneras de paso

Estas borneras soportan hasta 750V, y cables desde 0.2 a 2.5mm², lo cual cubre nuestros requisitos.

4.1.7. Dimensionamiento de Conductores Eléctricos

Dado a que nuestras instalaciones no cuentan con cargas pesadas ni caídas de tensión significativas, hemos utilizado una tabla con los valores normalizados de cables AWG o American Wire Gauge Standar para la selección del tipo de conductor eléctrico a ocupar.

Para esto tomamos la intensidad calculada dentro del dimensionamiento de protecciones en el índice 4.5.1., la cual es de aproximadamente 2A y verificamos la recomendación de la Tabla de Valores Normalizados para la selección del conductor. Como recomendación en nuestro sistema deberemos ocupar un cable de diámetro igual o mayor a 0.912 mm. Por seguridad incluimos un porcentaje de error y hemos decidido ocupar un cable AWG 16 de 1.29mm de diámetro para el cableado de nuestro tablero de control.

4.2. Diseño de Montaje

4.2.1. Montaje del Invernadero

En el invernadero se montó nebulizadores para el control de humedad, electroválvulas para permitir el paso de agua a los nebulizadores, sensores de humedad y temperatura que envían sus señales a Arduino, dispositivos XBEE para la comunicación inalámbrica y el tablero de control la parte principal del sistema.

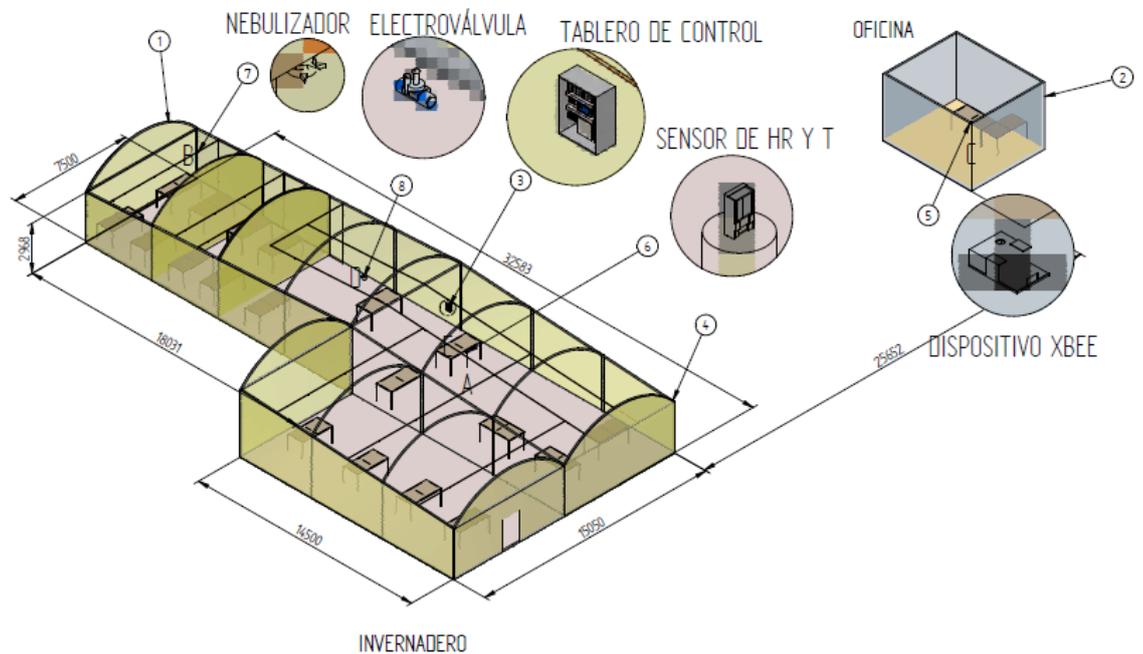


Figura 25.- Diagrama de Montaje del Invernadero

El montaje de los sensores de humedad y temperatura está a 80cm del nivel del suelo, se los coloco en puntos donde reciban la nebulización, permiten obtener la humedad y temperatura en las diferentes zonas del invernadero, se encuentran cerca de las mesas con plantas como se muestra en la figura 26.

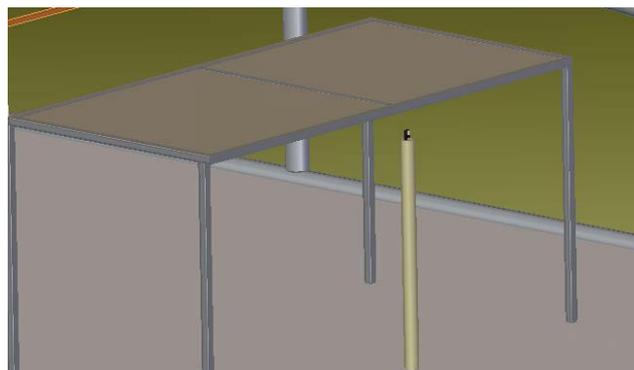


Figura 26.- Montaje del sensor de humedad y temperatura.

El sensor tiene una estructura plástica para su protección como se muestra en la figura 27.

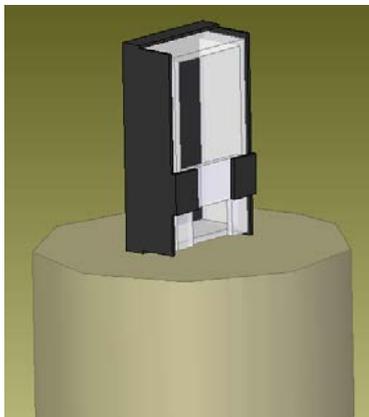


Figura 27.- Protección del sensor de humedad y temperatura.

Ver más sobre la instalación del sistema de control en el invernadero en el anexo de diagramas de montaje.

4.2.2. Montaje del Tablero

El tablero de control tiene un breaker para la protección, dos fuentes una de 7.5VDC para Arduino, una fuente de 24 VAC para las electroválvulas, una placa Arduino para la adquisición de datos y control del sistema, y una placa con relés para la activación de las electroválvulas, indicadores de encendido y apagado, un interruptor para encender el sistema y un pulsador de emergencia como se muestra en la figura 28.

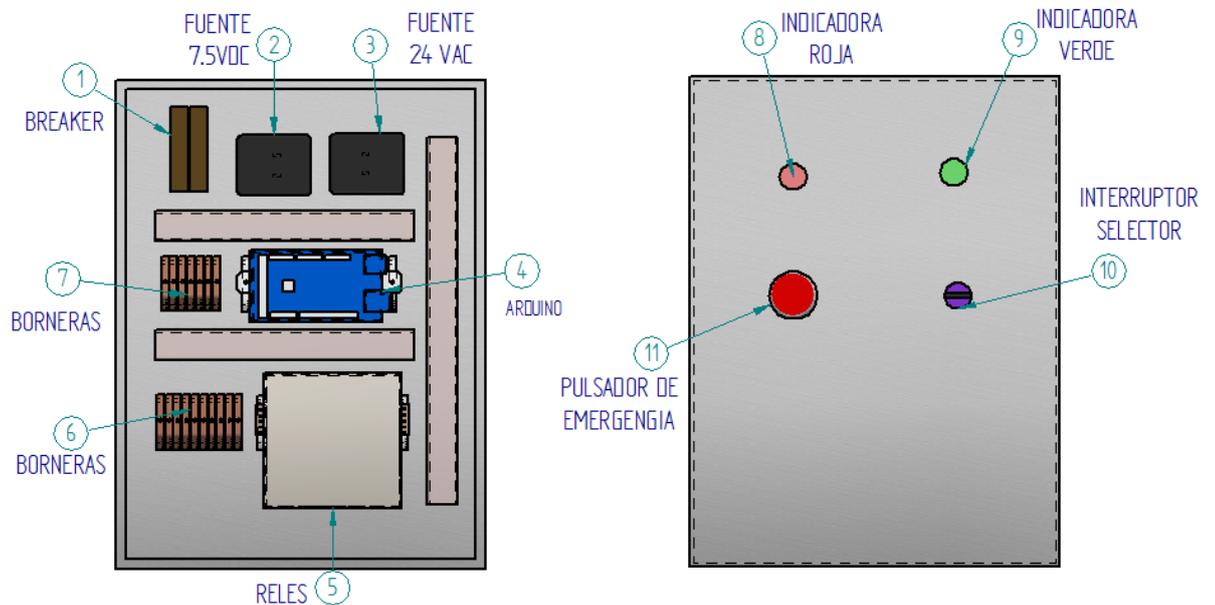


Figura 28 Diagrama de Montaje del Tablero.

- Diseño de Estructuras de Protección 3D

Para la instalación del proyecto se realizarán estructuras protectoras de los dispositivos como sensores de humedad, tarjeta de adquisición Arduino, Placa de Potencia, Transmisores XBEE.

Los diseños se realizarán en el software SolidEdge ST6 de Siemens para posteriormente la impresora 3D, PRUSA I3 los elabore en material plástico.

- Estructura de Protección del sensor DHT11.

El sensor DHT11 posee una placa de instrumentación que no se puede dejar expuesta, el tamaño y disposición de componentes del sensor como se puede ver en la figura 29, se debe cubrir la parte posterior donde se encuentran las pistas de la placa de instrumentación.

Dimensions (mm)

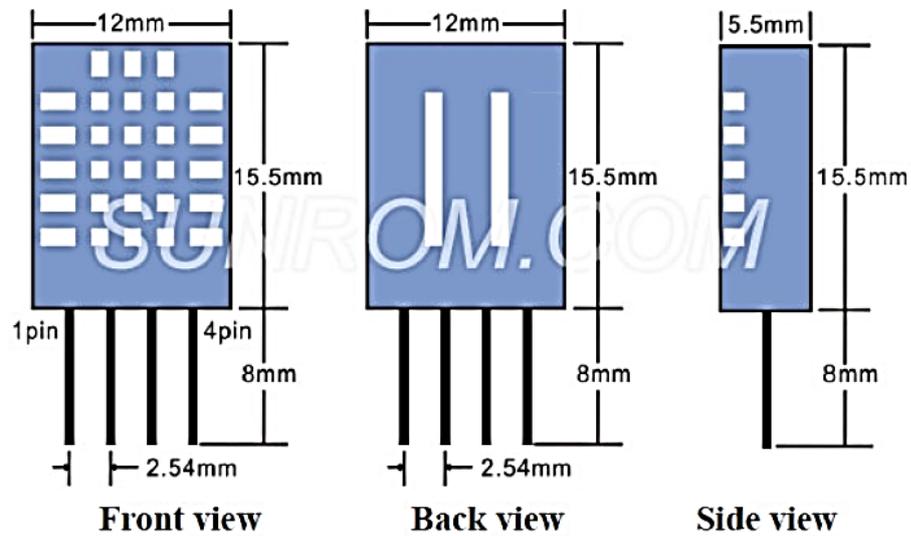


Figura 29.- Dimensiones del Sensor DHT11.

El diseño de la parte frontal posee un agujero para el dispositivo medida de humedad y salida de los pines de conexión del sensor como se puede observar en la figura 30.

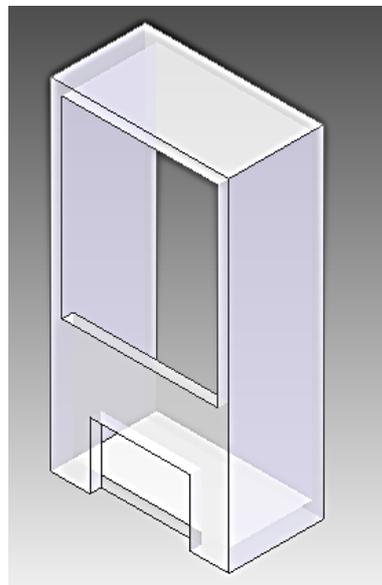


Figura 30.- Parte Frontal de la estructura de protección del sensor DHT11.

El diseño de la parte posterior posee brazos para sujetarse a la parte frontal cubriendo la parte posterior del sensor DHT11 en su totalidad para evitar filtraciones como se puede observar en la figura 31.



Figura 31.- Parte Posterior de la estructura de protección del sensor DHT11.

La estructura protectora del sensor permite trabajar al sensor de manera eficiente, y brinda protección para las pistas y componentes de la placa de instrumentación del dispositivo como se puede observar en la figura 32.

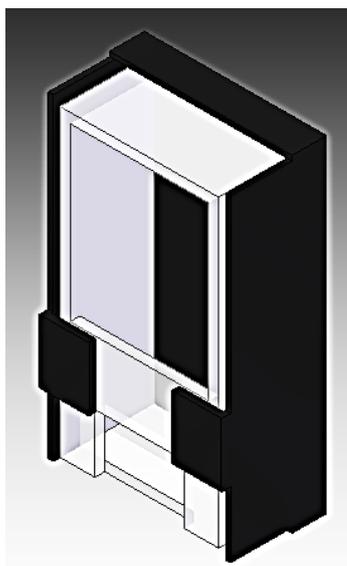


Figura 32.- Ensamble de la protección del sensor DHT11.

- Diseño de la estructura de protección de los Dispositivos XBEE.

El diseño de la estructura de protección del transmisor XBEE y el adaptador USB, consta de una parte superior que permite la salida de la antena, y la salida de los pines de conexión y la entrada mini USB como se puede observar en la figura 33.

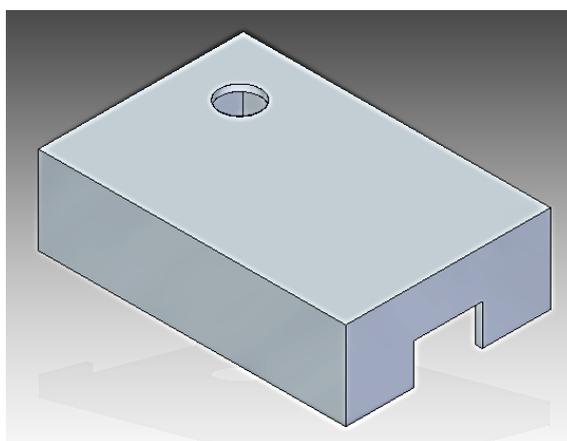


Figura 33.- Parte Superior de la estructura de protección de los dispositivos XBEE.

La parte inferior contiene brazos para ensamblarse a la parte superior, para cubrir la placa, pista y componentes del adaptador USB, permitiendo trabajar al transmisor XBEE y brindando protección como se puede observar en la figura 34.

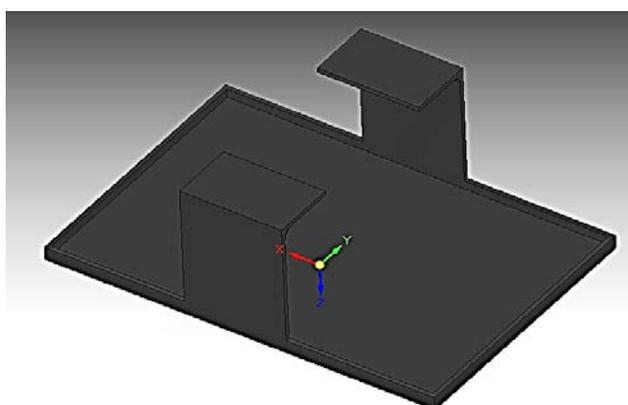


Figura 34.- Parte Inferior de la estructura de protección de los dispositivos XBEE..

Se encontraran dos transmisores XBEE uno en el interior del invernadero y uno en la gerencia conectada a un computador, al manejar humedades altas dentro del invernadero se debe proteger los equipos como son los transmisores XBEE de comunicación inalámbrica como se puede observar en la figura 35.

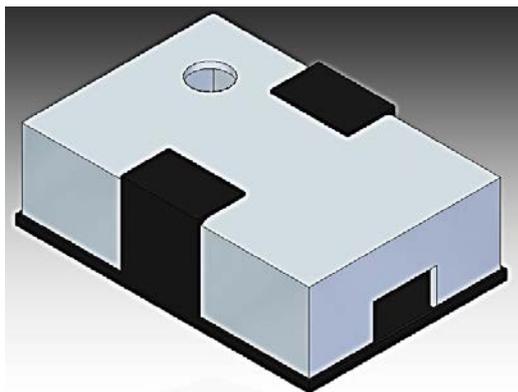


Figura 35.- Ensamble de la estructura de protección de los dispositivos XBEE.

- Estructura de Protección de la tarjeta de adquisición de datos Arduino.

La tarjeta de adquisición Arduino mega se encuentra integrada con un microcontrolador en una placa es indispensable proteger el equipo principal del sistema mediante una estructura como se puede observar en la figura 36.

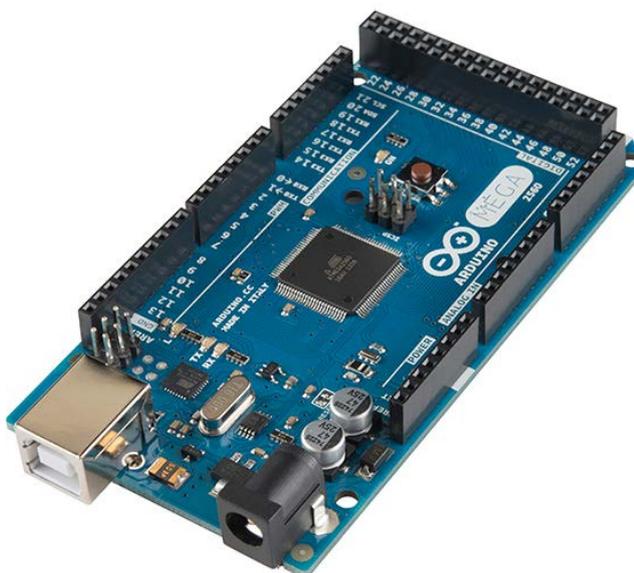


Figura 36.- Tarjeta para el control Arduino Mega.

La implementación en el invernadero cuenta con un tablero de eléctrico, el tablero brinda protección de los equipos, para acoplar la tarjeta de adquisición Arduino se diseñó soportes para riel DIN que se acoplen a la estructura de protección de Arduino como se puede observar en la figura 37.

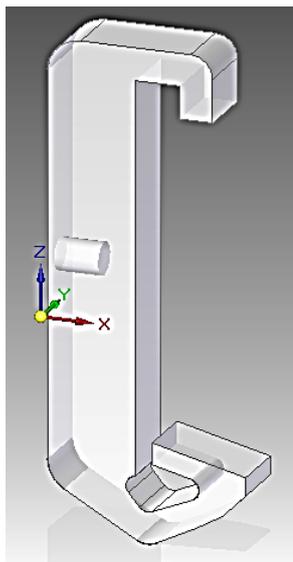


Figura 37.-Soporte para riel DIN

La estructura de protección inferior se acopla a los soportes de riel DIN mediante tornillos y permite la instalación de la tarjeta de adquisición de datos Arduino al tablero eléctrico como se puede observar en la figura 38.

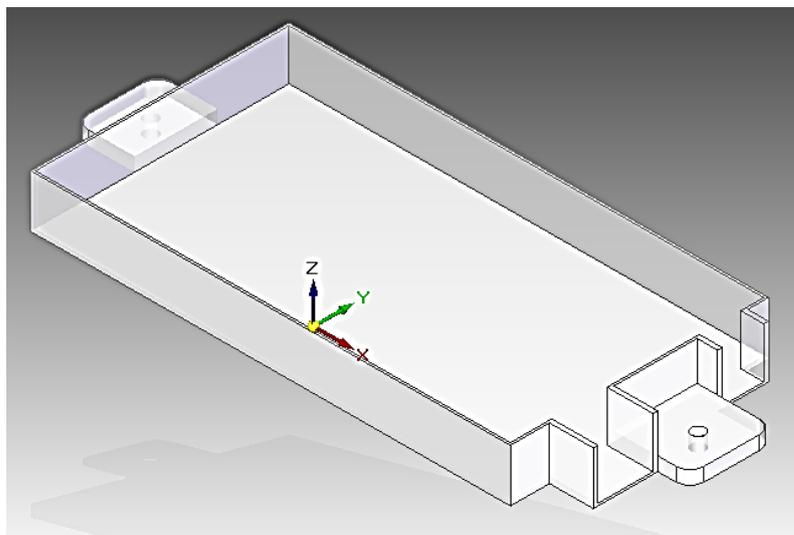


Figura 38.-Estructura de protección Arduino parte inferior.

La estructura de protección superior de la tarjeta de adquisición Arduino se construirá con agujeros para los pines de conexión de la tarjeta, permitirá la conexión de los sensores, actuadores para el control como se puede observar en la figura 39.

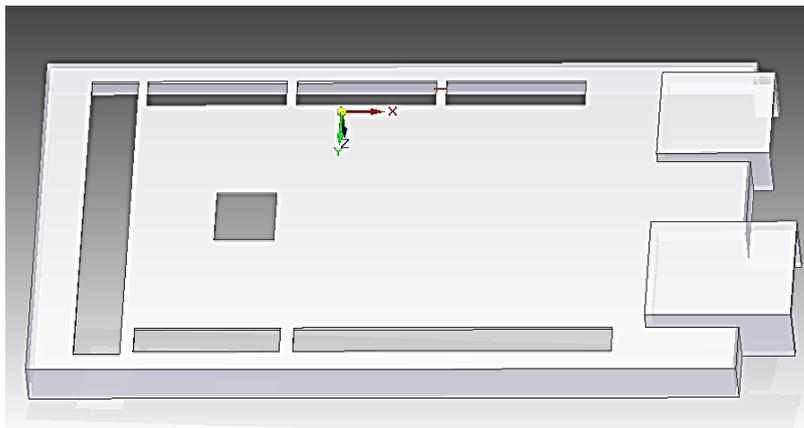


Figura 39.- Estructura de protección Arduino parte Superior.

La estructura de protección de Arduino protege, facilita la conexión del equipo a los diferentes dispositivos y componentes como se puede observar en la figura 40.

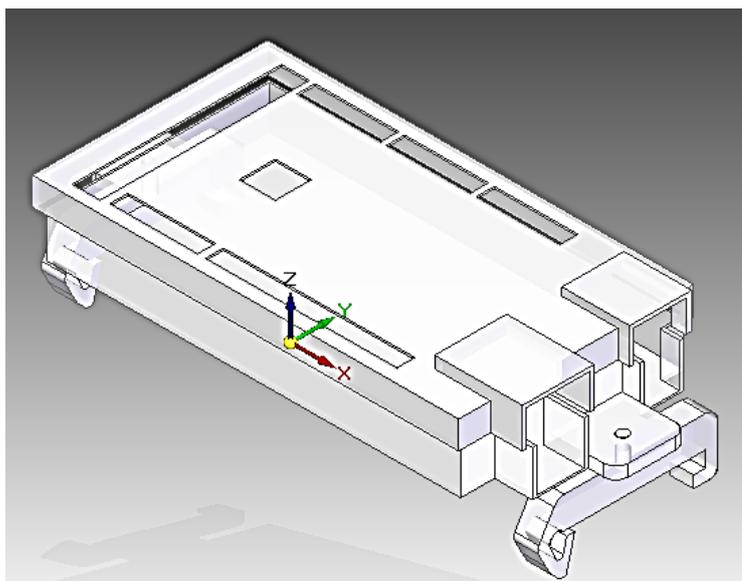


Figura 40.- Estructura de protección de Arduino

- Estructura para la placa de potencia.

La placa de potencia posee elementos para el manejo de las electroválvulas de activación de 24VAC, contiene componentes como relés, transistores, etc. La protección de las pistas y los elementos se la realiza mediante una estructura que cubre los elementos y las pistas, la estructura permite la conexión de la placa a Arduino, se usa los soportes de riel DIN para instalar la placa de potencia a tablero eléctrico como se puede observar en la figura 41.

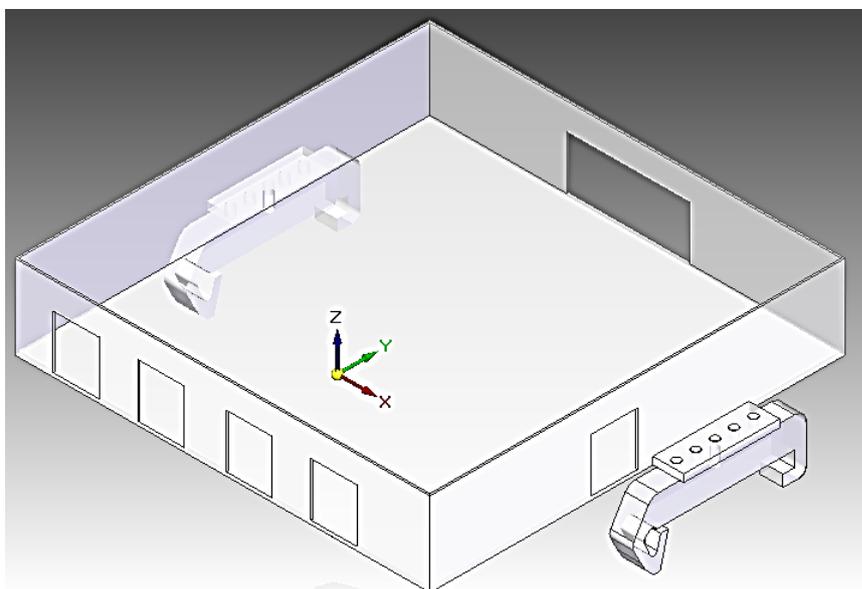


Figura 41.- Estructura protectora de la placa de potencia.

4.2.3. Montaje del sistema hidráulico

Mediante un diseño en 3D del invernadero se analizó la instalación de mangueras, se lo realizo en SolidEdge para verificar el dimensionamiento e identificar la distribución en el invernadero, mediante el color negro se identifican las mangueras en cada sección, en el diseño en 3D se obtuvo la cantidad necesaria de manguera, como podemos ver en la siguiente figura 42.

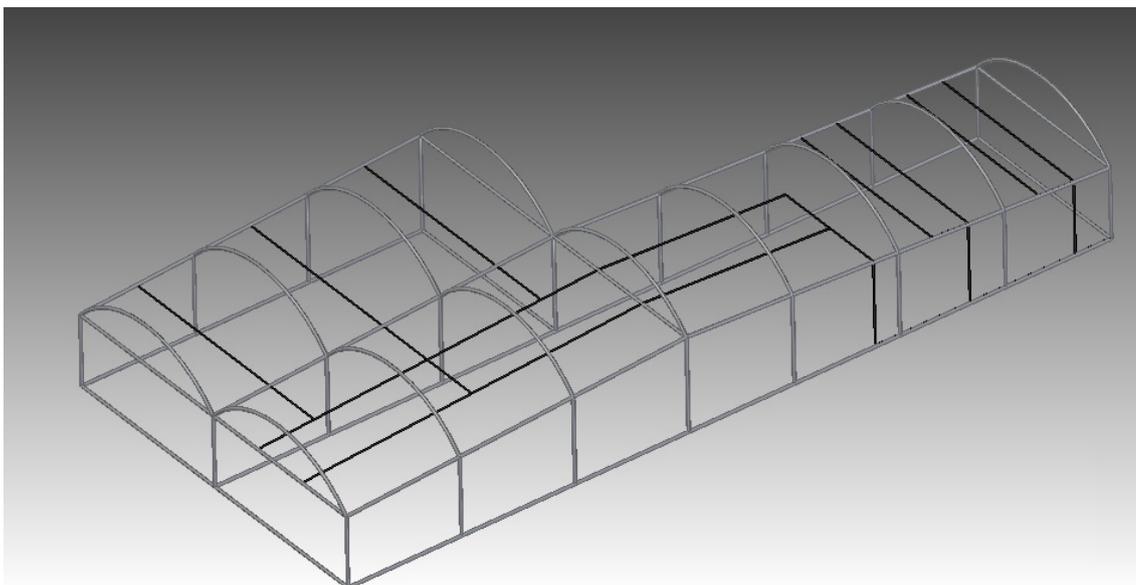


Figura 42.- Instalación de Mangueras

Se instaló 40 Nebulizadores, 16 en la sección de oriente, 8 en la sección de costa y 16 en la sección de sierra distribuidos como se muestra en el Anexo de distribución de nebulizadores.

Los nebulizadores son de fácil instalación, se realiza un agujero pequeño en la manguera y los nebulizadores ingresan a presión.



Figura 43.- Montaje de un Nebulizador.

Ver más sobre la recomendación de una bomba para mejorar el funcionamiento en el anexo cálculo de la bomba, y obra civil para las recomendaciones de instalación.

4.3. Diseño Esquemático

Se procederá al diseño esquemático, para la correspondiente implementación y cableado del tablero. El diseño se realizará mediante el software Autocad Electrical 2014, dado a su facilidad de implementar componentes con esquemáticos definidos bajo estándares internacionales de dimensionamiento, además de su funcionalidad de etiquetado de cables para el correcto cableado.

El diseño final consta de tres plantillas de una misma sección, la cual se especifica en el Anexo 1: Diagramas Esquemáticos.

Todas las plantillas constan de un diagrama de tipo escalera, en los cuales sus escalones están numerados secuencialmente para el fácil reconocimiento de la ubicación de cada elemento.

Los cables de conexión externa hacia los sensores, transmisores y electroválvulas, poseen etiquetas clave para una comprensión inmediata por parte del usuario. Por otro lado el cableado para conexión interna posee una numeración correspondiente a su escalón en el diagrama de tipo “Ladder”, para una ubicación más sencilla en los planos eléctricos.

A continuación se describirá a detalle los componentes del diseño esquemático:

4.3.1. Sistema de Protección y Botonera

En la Figura 44.- Esquemático del Sistema de Protección y Botonera podemos encontrar el diseño esquemático de la protección del Tablero de control, así como de la botonera o controles principales ubicados en la puerta del gabinete de control.

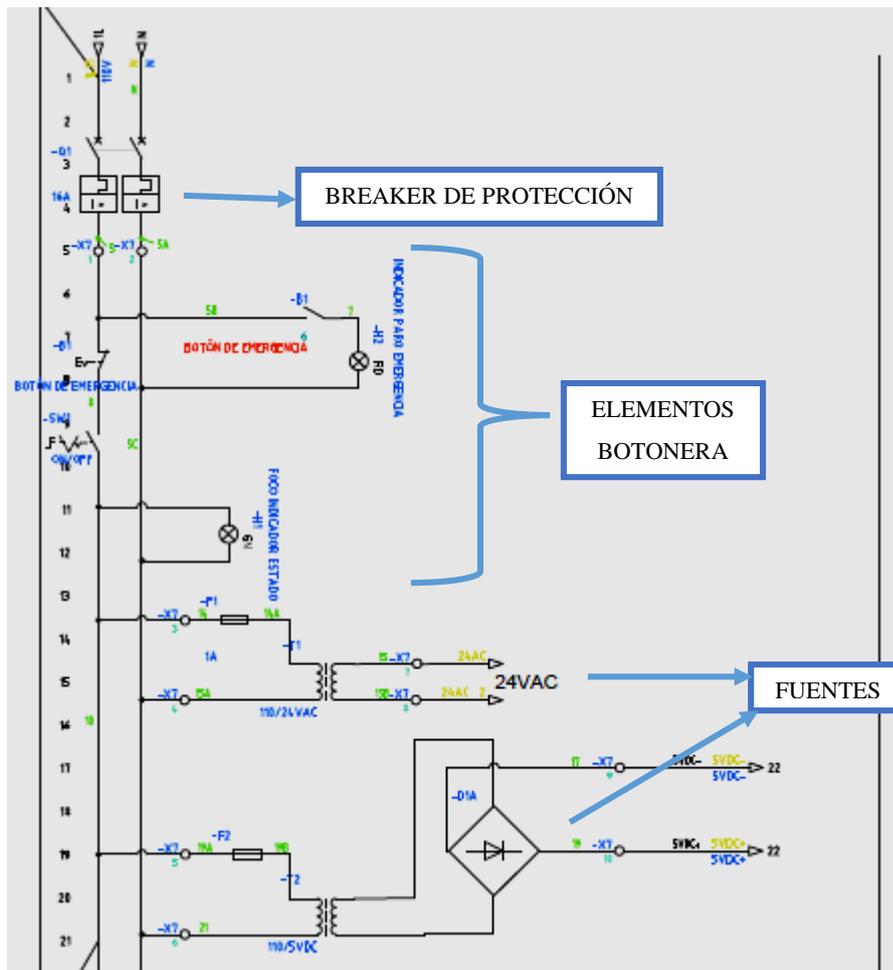


Figura 44.- Esquemático del Sistema de Protección y Botonera

En la parte superior de la figura observamos la ubicación del breaker de protección del sistema, seguido de un circuito para el panel de operación local del sistema.

Este circuito estará ubicado en la puerta del gabinete eléctrico y consta de:

- 2 Luces pilotos (Verde, Rojo) para representación del estado del sistema.
- 1 Switch de 2 posiciones para el Encendido y Apagado del sistema.
- 1 Botón de Paro de Emergencia para la detención instantánea del sistema.

En este mismo cuadrante encontramos en la parte inferior la alimentación de las fuentes de voltaje con protección de fusible, incluidas en nuestro gabinete las cuales son:

- 1 Fuente reductora AC-AC de 110V entrada a 24VAC de salida para el circuito de activación de las electroválvulas.
- 1 Fuente con puente rectificador de voltaje AC-DC, de 110V de entrada a 5VDC de salida para la alimentación de la tarjeta Arduino Mega.

4.3.2. Conexiones de Arduino Mega

Dentro de esta plantilla, encontramos la planificación de todas las conexiones físicas a realizar en la tarjeta de adquisición y control Arduino Mega, así como se puede observar en la Figura 45.- Esquemático de Conexiones con Arduino.

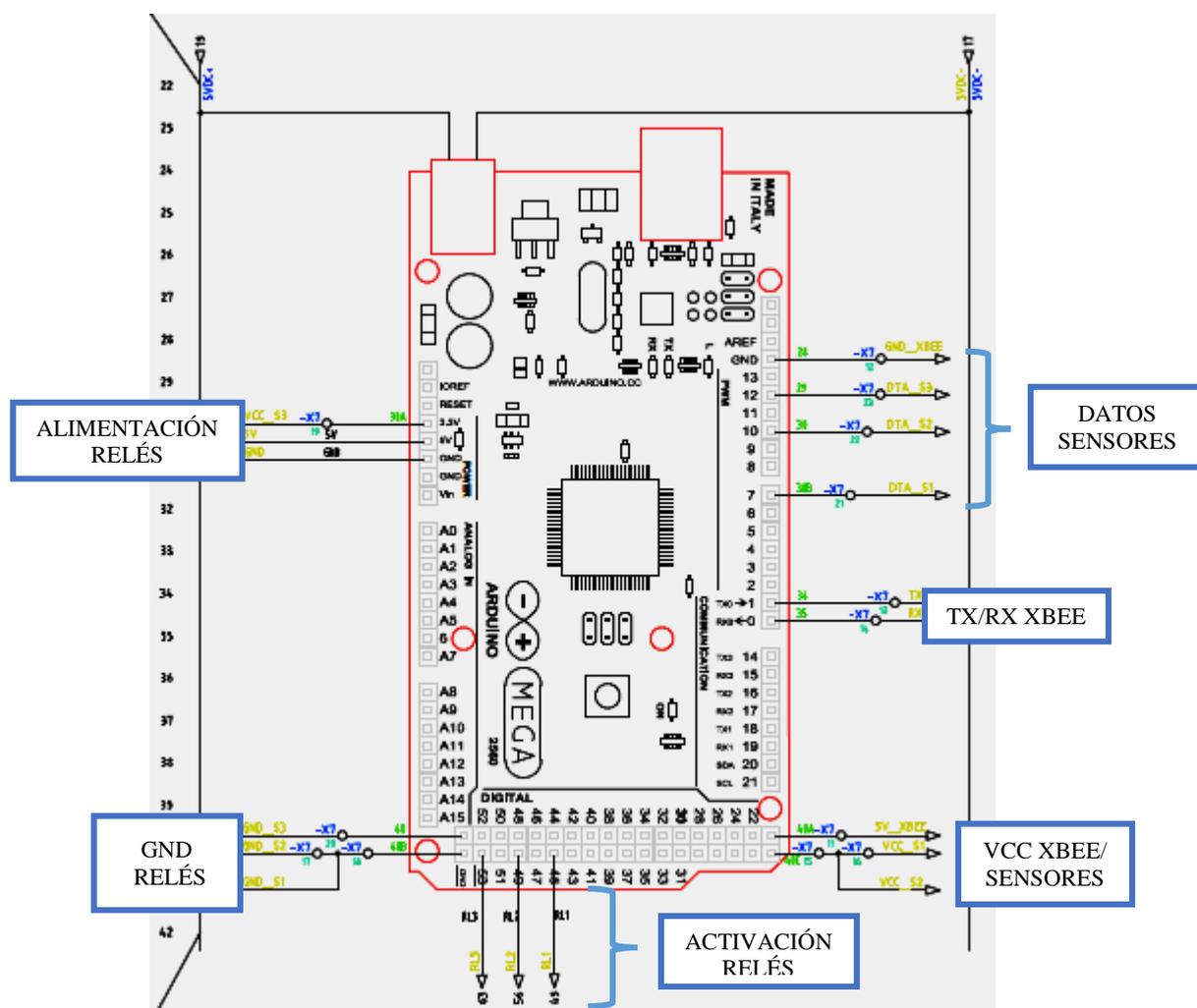


Figura 45.- Esquemático de Conexiones con Arduino

Todas las conexiones físicas realizadas en el controlador hacia los sensores, la placa de control, y el transmisor XBEE, se encuentran en esta plantilla. Los cables de

conexión se encuentran etiquetados con sus respectivas referencias para una comprensión más fácil del esquemático.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, podemos observar el mapa de pines de la tarjeta con sus respectivas conexiones:

Tabla 16

Mapa de conexiones de Arduino

| Nombre/ Número de Pin Arduino | Conexión |
|--------------------------------------|--|
| 0 (RX0) | Pin de Recepción del Xbee |
| 1 (TX0) | Pin de Transmisión del Xbee |
| 7 | Pin de Datos de Sensor 1 |
| 10 | Pin de Datos de Sensor 2 |
| 12 | Pin de Datos de Sensor 3 |
| 45 | Señal de Control de Relé 1 |
| 49 | Señal de Control de Relé 2 |
| 53 | Señal de Control de Relé 3 |
| 5V (1) | 5V para alimentación de la placa |
| GND (1) | GND para alimentación de la placa |
| 5V (2) | 5V para alimentación del Xbee |
| GND (2) | GND para alimentación del Xbee |
| 5V (3) | 5V para alimentación del sensor 1 y 2 |
| GND (3) | GND para alimentación del sensor 1 y 2 |
| 3.3V | Alimentación para el sensor 3 |
| GND (4) | GND para alimentación del sensor 3 |

4.3.3. Placa de Potencia

Dentro de esta plantilla encontramos todas las conexiones internas de la Placa de potencia de nuestro tablero de control, así como sus componentes y las líneas de alimentación y comunicación con el controlador, como se puede observar en la Figura 46.- Esquemático Etapa de Potencia

4.3.4. Conexión con Actuadores

En la Figura 47.- Esquemático de la Conexión con los Actuadores del Sistema, por su parte encontramos las líneas de conexión de los actuadores del sistema de forma individual, a través de los contactos normalmente abiertos de los relés, los cuales conmutarán con las señales de control permitiendo el paso de corriente a la bobina de las electroválvulas.

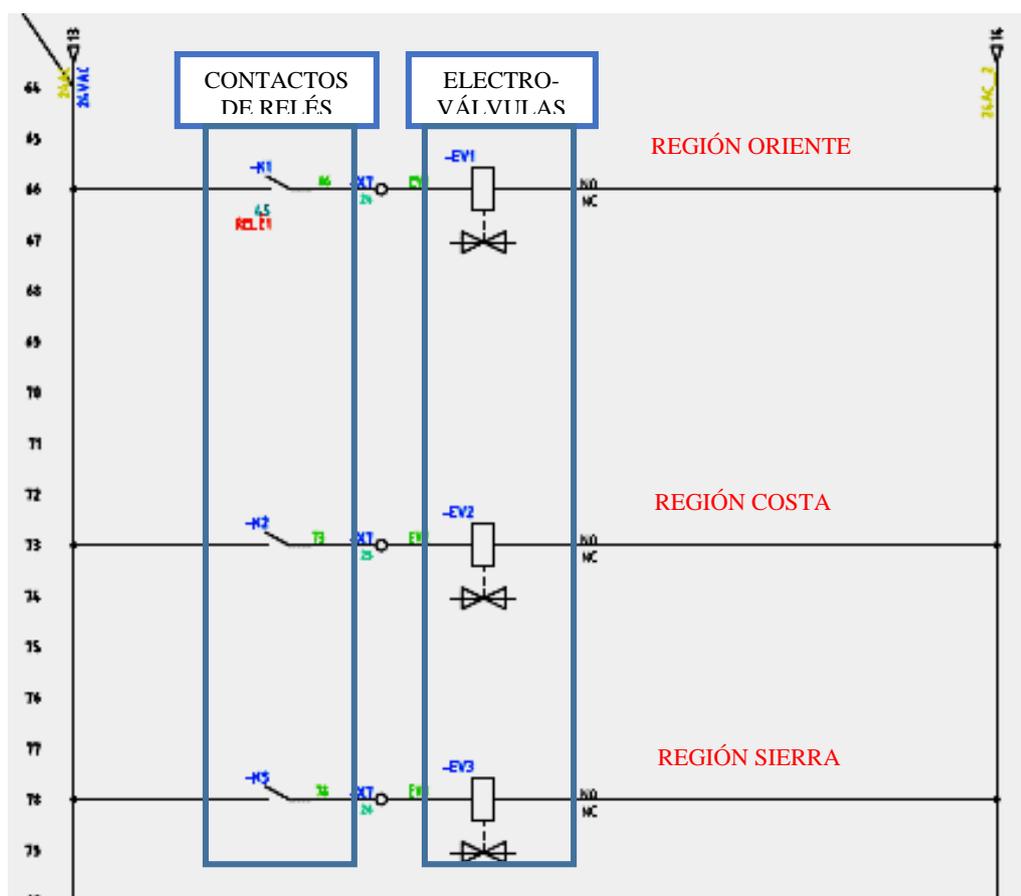


Figura 47.- Esquemático de la Conexión con los Actuadores del Sistema

El otro extremo de las bobinas de las electroválvulas estarán directamente conectadas entre ellas hacia el segundo terminal de la fuente de 24VAC.

4.3.5. Terminales Eléctricos del gabinete

En la Figura 48.- Esquemático Terminales Eléctricos del Gabinete, se visualizan las conexiones de los terminales del gabinete eléctrico. Los terminales del esquemático

En un extremo de los bornes encontramos todas las señales de control y de alimentación que son enviadas desde el controlador o de la placa de potencia, y en el otro extremo están conectados todos los dispositivos externos al tablero, como se puede observar en la figura 49.

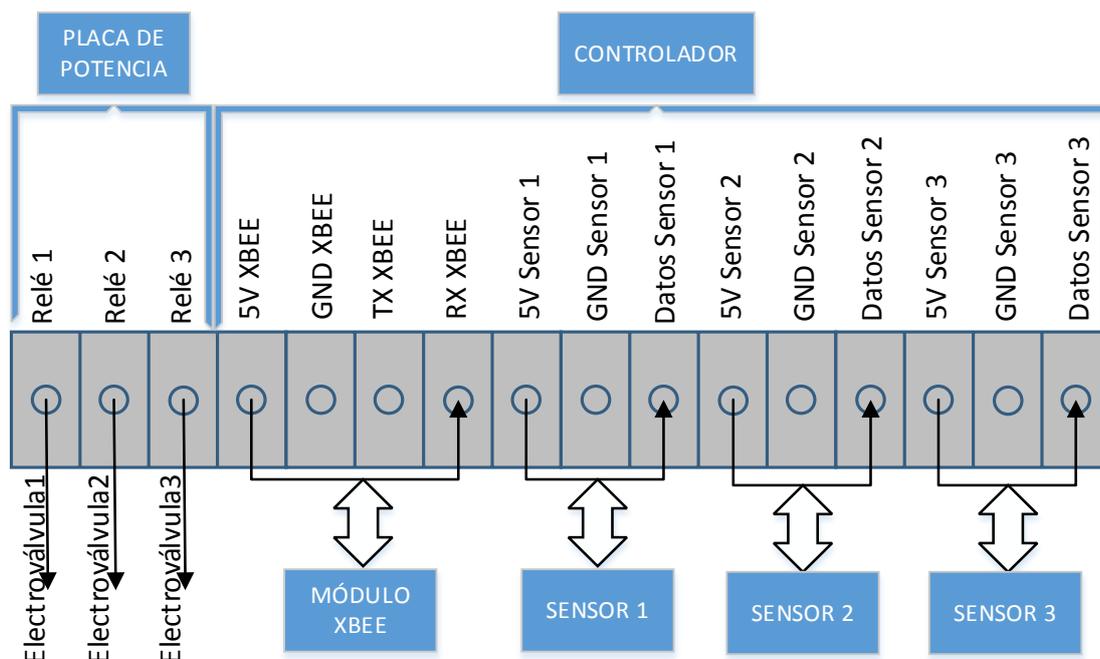


Figura 49.- Borneras del Tablero

4.4.2. Conexiones en el Invernadero

Se instaló las electroválvulas con cable 16 AWG, los sensores y los dispositivos XBEE con cable UTP como se muestra en el Anexo diagrama de cableado.



Figura 50.- Conexiones en el invernadero.

CAPITULO 5

5. DISEÑO DE SOFTWARE

5.1. Técnica de Control y lógica de Programación

Los requerimientos del sistema son:

Región Oriente: Humedad Relativa 70% a 90% - Temperatura 25°C-30°C.

Región Costa: Humedad Relativa 60% a 80% - Temperatura 20°C-28°C.

Región Sierra: Humedad Relativa 40% a 70% - Temperatura 15°C-25°C.

Para mantener estos rangos usaremos como actuadores las electroválvulas, se dispone de tres electroválvulas una para oriente una para costa y una para sierra, la activación de cada electroválvula procederá a permitir el paso de agua a las tuberías que tienen nebulizadores acoplados.

Al activar la sección oriente se permite el paso de agua a 16 nebulizadores colocados en la sección oriente, al activar la sección costa se permite el paso de agua a 8 nebulizadores colocados en la sección costa y al activar la sección sierra se permite el paso de agua 16 nebulizadores colocados en la sección sierra.

Se distribuye las secciones dependiendo de las necesidades del invernadero en la sección oriente se colocan las plantas con mayor necesidad de humedad como lo es el anturio y plantas recién trasladadas de su estado in vitro, en la sección costa se tiene plantas con necesidad de humedad moderada y temperatura entre los 26°C, en la sección sierra se tiene plantas con un mayor crecimiento más resistentes a los cambios de humedad y temperatura.

Para realizar en control en Arduino se usa la declaración de condiciones del modelo si humedad fuera de rango y temperatura dentro de los niveles activar nebulizadores.

El sistema se desarrolla con dos modos de funcionamiento el modo manual y el modo automático para activarlos se lee un carácter enviado desde una interfaz en java, se declara variables para identificar cuando ha llegado un carácter específico así en el modo manual se realiza las comparaciones si se encendió el sistema, se escoge el modo manual y se recepto encender la electroválvula oriente entonces enviar un valor de 1 lógico por el pin de salida digital de Arduino que a su vez activa un relé para permitir que la electroválvula de oriente permita el paso de agua como se puede visualizar en la figura 51.

```

if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Manual_ON==1 && EV_Oriente_ON==1){
    digitalWrite(Elec_Oriente, HIGH);
}
if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Manual_ON==1 && EV_Oriente_OFF==1){
    digitalWrite(Elec_Oriente, LOW);
}
if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Manual_ON==1 && EV_Costa_ON==1){
    digitalWrite(Elec_Costa, HIGH);
}
if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Manual_ON==1 && EV_Costa_OFF==1){
    digitalWrite(Elec_Costa, LOW);
}
if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Manual_ON==1 && EV_Sierra_ON==1){
    digitalWrite(Elec_Sierra, HIGH);
}
if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Manual_ON==1 && EV_Sierra_OFF==1){
    digitalWrite(Elec_Sierra, LOW);
}

```

Figura 51.- Condiciones en modo manual.

Para el modo automático del sistema se realiza las condiciones de si el sistema esta encendido y se encuentra modo automático permitir el control, en el control se determina mediante el valor en el cual se desee encender la electroválvula si la humedad es menor que la deseada y la temperatura se encuentra dentro del rango se enciende la electroválvula hasta llegar al valor deseado de humedad como se puede visualizar en la figura 52.

```

/Definimos primero la prioridad 1:Oriente-2:Costa-3:Sierra
if (Enceder_Sistema_ON==1 && Modo_Automatico_ON==1){
  if (hum_Oriente <= 85 && temp_Oriente >= 26){
    //Control_Humedad (hum_Oriente,80,(95-20),temp_Oriente,25,Elec_Oriente);
    digitalWrite(Elec_Oriente, HIGH);
    digitalWrite(Elec_Costa, LOW);
    digitalWrite(Elec_Sierra, LOW);
  }
  else if (hum_Costa <= 75 && temp_Costa >= 24){
    //Control_Humedad (hum_Costa,50,(90-20),temp_Costa,20,Elec_Costa);
    digitalWrite(Elec_Costa, HIGH);
    digitalWrite(Elec_Oriente, LOW);
    digitalWrite(Elec_Sierra, LOW);
  }
  else if (hum_Sierra <= 65 && temp_Sierra >= 22){
    //Control_Humedad (hum_Sierra,40,(70-20),temp_Sierra,15,Elec_Sierra);
    digitalWrite(Elec_Sierra, HIGH);
    digitalWrite(Elec_Costa, LOW);
    digitalWrite(Elec_Oriente, LOW);
  }
}

```

Figura 52.- Condiciones modo automático.

Se puede verificar el desarrollo completo del programa de control en el Anexo programa de control del invernadero.

5.2. Diseño del HMI

5.2.1. Selección de Herramienta de Desarrollo de HMI

Como parte del proyecto se planea implementar una Interfaz Humano-Máquina, para poder supervisar, y controlar con facilidad y sencillez de forma remota el estado actual del invernadero, así como del mismo modo poder operar los actuadores desde las oficinas de la empresa Germoplanta.

Para el desarrollo del software, se decidió utilizar como lenguaje de programación JAVA debido a su facilidad para el desarrollo de aplicaciones, esto sobre la plataforma Netbeans IDE, dado a que es un producto libre, donde podremos ocupar un entorno de desarrollo sin ninguna restricción.

5.2.2. Normas de diseño

Se utilizó los criterios de la Guía GEDIS debido a que ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control y supervisión, además la guía GEDIS es un complemento para aquellos ingenieros técnicos que desarrollan interfaces de

supervisión mediante los sistemas comerciales denominados de adquisición de datos y control supervisor SCADA, por esa razón esta guía es una gran referencia para elaborar el HMI del proyecto para control de Microclimas en la empresa Germoplanta.

Además de la Guía GEDIS se decidió aplicar conceptos de la normativa ISA- SP 101 desarrollado por el comité de regulaciones del ISA que establece criterios de diseño de HMI para sistemas de control industriales. Esta incluye parámetros para la Representación de información, Procesos de visualización, Interacción del usuario, Documentación, entre otros.

Aplicando conceptos importantes de estas normas de diseño se pretende generar una interfaz de alto rendimiento que otorgue sencillez y facilidad al usuario.

5.2.3. Estructura de Navegación de la Interfaz

La estructura de navegación de la interfaz humana-maquina (HMI) se muestra en la figura 53:

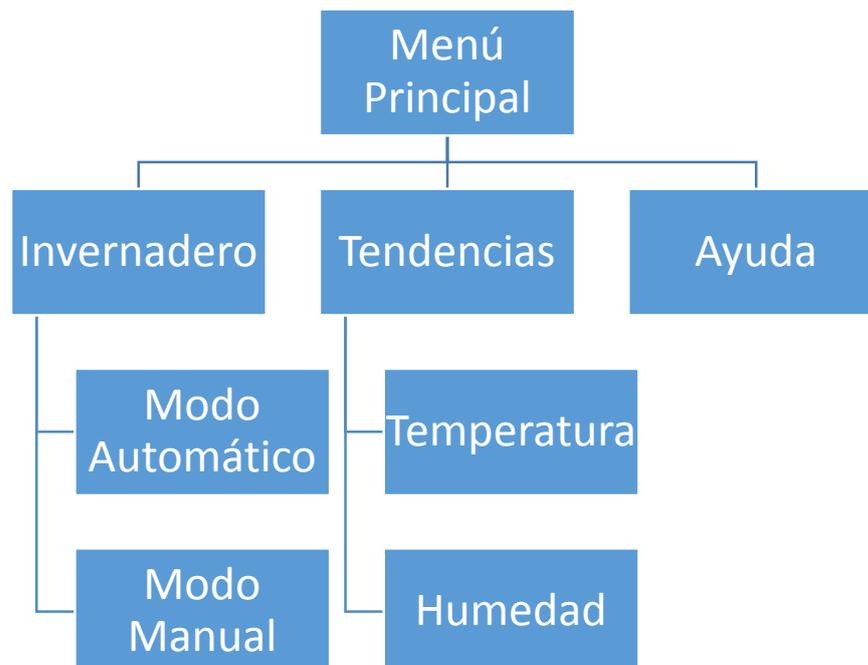


Figura 53.- Estructura de Navegación de la Interfaz

5.2.4. Distribución de los elementos en Pantalla

Las pantallas de las Interfaces Humano Maquina (HMI) tiene la siguiente distribución:

1. Nombre y logotipo de la empresa.- En este caso el logotipo de la empresa Germoplanta Cia Ltda.
2. Título principal de la ventana.- Aquí se indicará el nombre de la ventana actual y la función/modo de operación correspondiente.
3. Controles principales.- Aquí se representarán los manipulables de operación principales del sistema, como por ejemplo el encendido del mismo.
4. Controles secundarios.- Actuadores secundarios del sistema.
5. Indicadores.- Indicadores del estado actual del invernadero.
6. Botones de navegación.- En la sección inferior se encuentran los botones para la navegación en la interfaz.

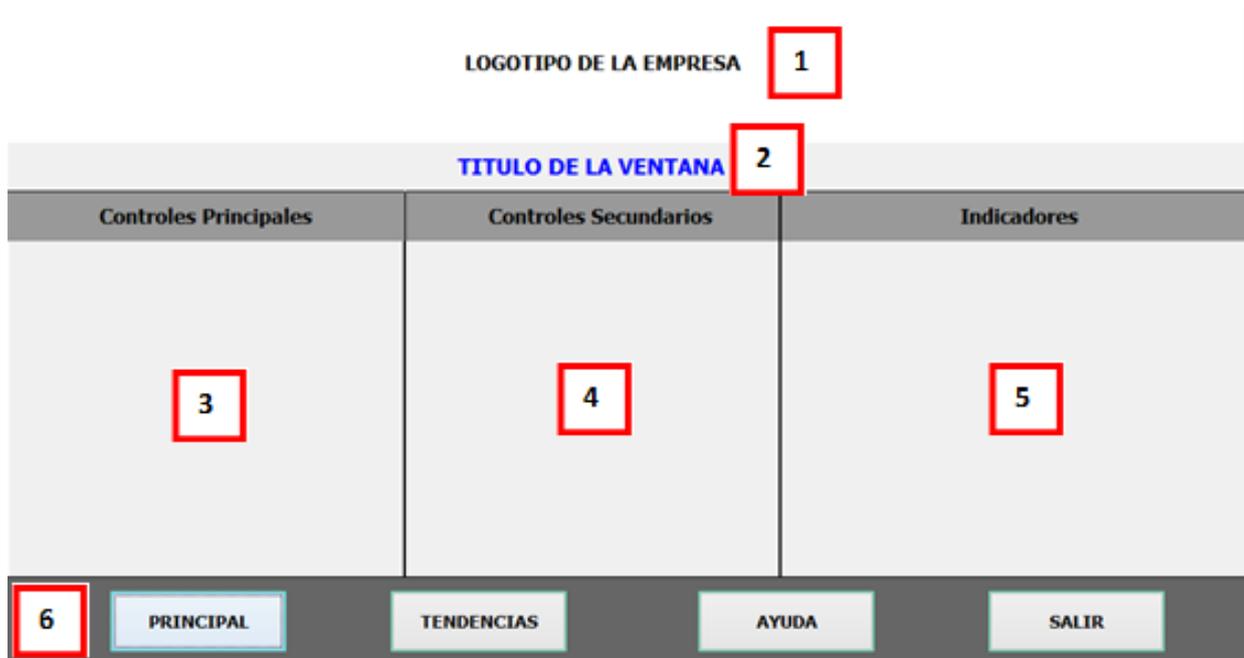


Figura 54.- Distribución de los elementos en Pantalla

5.2.5. Uso del Color

El color es uno de los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces persona-máquina, su uso adecuado (conservador, convencional y consistente) es determinante para la generación de una excelente interfaz.

Tablas de colores utilizados.-

- Colores de Fondo

Tabla 17

Colores de Fondo de Pantalla

| Elemento | Color | Rojo/Verde/Azul (RGB) |
|--------------------------------|---|-----------------------|
| Fondo de Pantalla |  Gris Plata | 240/240/240 |
| Sub-Secciones |  Gris Plata | 240/240/240 |
| Subtítulos y Navegación |  Gris Oscuro | 153/153/153 |

- Estado Equipos y Actuadores

Tabla 18

Colores de Estado de Equipos y Actuadores

| Elemento | Color | Rojo/Verde/Azul (RGB) |
|---------------------------|---|-----------------------|
| Equipo Detenido |  Rojo | [255,0,0] |
| Equipo Funcionando |  Verde | 0/113/0 |

- Colores para el Texto

Tabla 19

Colores del Texto

| Elemento | | Color | Rojo/Verde/Azul (RGB) |
|----------------------------------|---|-------------|-----------------------|
| Títulos de Pantallas |  | Azul Marino | [0,0,255] |
| Subtítulos, Sub Secciones |  | Negro | 0/0/0 |
| Texto Normal |  | Negro | 0/0/0 |

5.2.6. Uso de Fuentes e Información textual

- ✓ Texto normal

Fuente de Letra: Tahoma

Tamaño de letra: 14pt

- ✓ Títulos

Fuente de Letra: Tahoma

Tamaño de letra: 18pt

- ✓ Subtítulos

Fuente de Letra: Tahoma

Tamaño de letra: 16pt

- ✓ Consideraciones Adicionales

Texto de Tipo Oración Siempre

Todo el texto en el mismo Idioma

5.2.7. Niveles de Acceso

Para el correcto uso del sistema, se han diseñado 2 niveles de acceso, para dos distintos usuarios que podrán acceder al sistema.

1. Usuario 1: Supervisor.-

- Modo Manual
- Modo Automático
- Pantallas de Tendencia
- Ayuda

Se considera las siguientes características del Usuario 1.

- Tiene el nivel más alto de acceso a la interfaz.
- Puede configurar parámetros de funcionamiento del Invernadero.
- Tiene acceso libre a todas las pantallas de la interfaz.
- Tiene acceso al ingreso y control en los modos Automático y Manual del sistema.

2. Usuario 2: Operador.-

- Ventana de Supervisión Invernadero
- Pantallas de Tendencia
- Ayuda

Se considera las siguientes características del usuario 2.

- Tiene el menor nivel de acceso a la interfaz.
- Puede monitorear el funcionamiento del Invernadero de forma más gráfica que el usuario Supervisor.
- No puede configurar ningún parámetro de funcionamiento del sistema.
- Tiene acceso limitado a determinadas pantallas de la interfaz.
- No tiene acceso al Modo Automático o Manual del sistema.

5.3. Enlace Java y Arduino

Para completar el enlace de información entre la tarjeta de adquisición y control Arduino ubicada en el invernadero de la empresa, y la interfaz gráfica elaborada en Java e implementada en el computador ubicado en las oficinas de Germoplanta, se procedió a configurar la transmisión y recepción de datos mediante el uso de una librería adicional en Netbeans IDE.

Como se mencionó anteriormente, la transmisión se realiza de forma inalámbrica a través de los módulos Xbee Series 2, estos se encargan de enlazar los dispositivos y transmitir datos de forma serial.

Estos datos deben ser tomados del puerto COM de la computadora para su análisis y posterior representación en la interfaz.

5.3.1. Librería Arduino para Java

Para la comunicación entre Java y Arduino, se precisó importar una librería denominada PanamaHitek_Arduino dentro de Netbeans, esta se encuentra de forma gratuita y se trata principalmente de un conjunto de métodos para facilitar la transmisión y recepción de datos en forma serial entre los programas. Se ha utilizado la versión 2.7.1 debido a que no es necesaria la instalación adicional de los archivos dll.

(González, 2013)

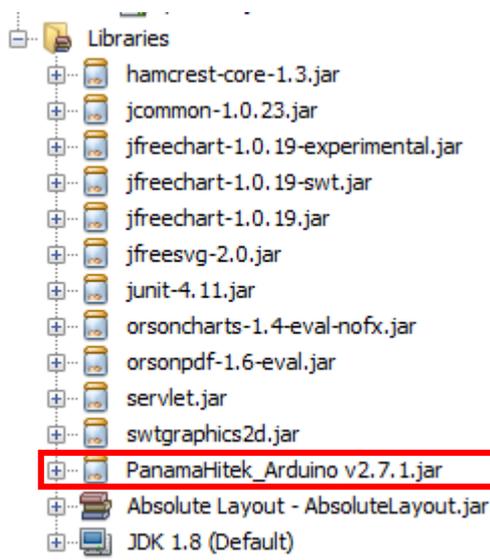


Figura 55.- Librería para Arduino

5.3.2. Configuración del puerto serial

Para la configuración del puerto serial para la transmisión es necesario en primer lugar ubicar en que puerto COM se encuentra conectado el dispositivo. Para esto accedemos al Administrador de dispositivos en Windows.

Dentro de la ventana procedemos a observar a que número de puerto COM se conecta nuestro dispositivo. Esto se visualiza bajo la pestaña de “Puertos (COM&LPT)”.

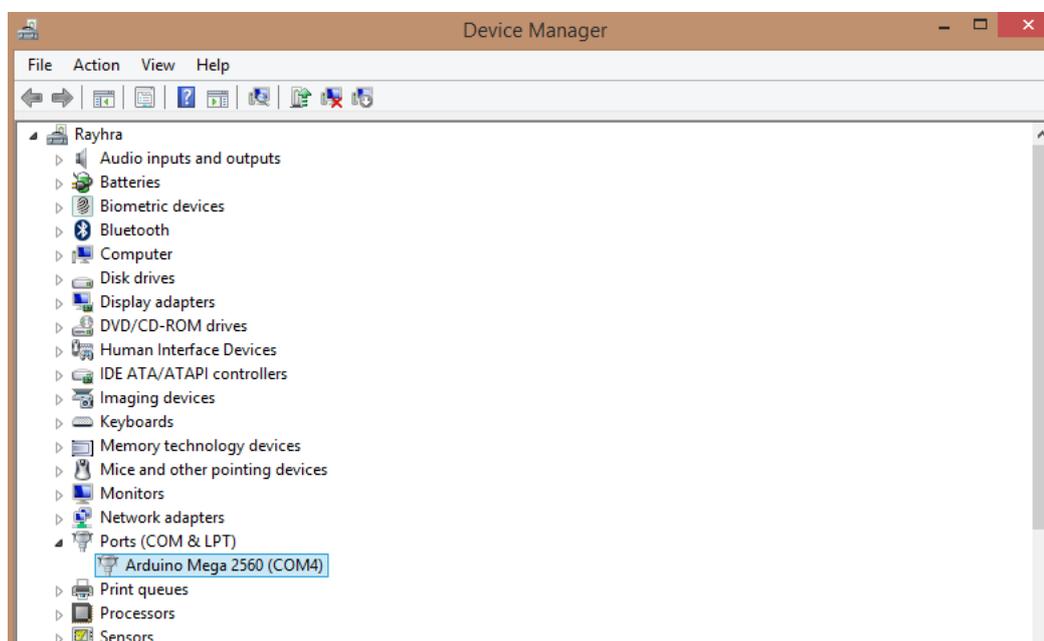


Figura 56.- Selección de puerto serial

En el caso del PC de la empresa se ubicó el puerto serial COM8.

5.3.3. Clases de la librería

Dentro de la librería se encuentran dos clases separadas con sus respectivos métodos. La clase Arduino, se encarga del enlace para la transmisión y recepción de datos de manera serial. Y la clase MultiMessage permite la múltiple lectura de mensajes enviados desde Arduino.

En primer lugar debemos instanciar ambos de la siguiente manera:

- Instanciar Clase Arduino:

```
PanamaHitek_Arduino Nombre_del_Objeto= new PanamaHitek_Arduino();
```

- Instanciar Clase MultiMessage:

```
MultiMessage Nombre_Del_Objeto = new MultiMessage(int numero de  
sensores a leer, instancia de la clase Arduino)
```

```
PanamaHitek_Arduino Arduino = new PanamaHitek_Arduino();  
PanamaHitek_multiMessage multi = new PanamaHitek_multiMessage(6, Arduino);
```

Figura 57.- Clases Instanciadas

Dado a que necesitamos tener las lecturas de todos los sensores actualizadas de manera permanente, registramos en 6 el número de sensores a leer. De esta manera los datos recibidos tendrán la siguiente forma:

1. Temperatura Oriente
2. Temperatura Costa
3. Temperatura Sierra
4. Humedad Oriente
5. Humedad Costa
6. Humedad Sierra

Debemos asegurarnos en el programa de Arduino, que la impresión serial de los datos de los sensores se realicen en este orden específico para no tener lecturas erróneas en Java.

```
void Imprimir_Datos_Sensores (){  
    //Mostramos la información en la consola  
    Serial.println(temp_Oriente);  
    Serial.println(temp_Costa);  
    Serial.println(temp_Sierra);  
    Serial.println(hum_Oriente);  
    Serial.println(hum_Costa);  
    Serial.println(hum_Sierra);  
}
```

Figura 58.- Transmisión serial desde Arduino

5.3.4. Métodos de la Librería

La librería utilizada posee varios métodos que realizan la conexión, configuración, transmisión de datos seriales, entre otras funcionalidades para la comunicación entre Arduino y Java.

Entre los métodos utilizados en el proyecto encontramos los siguientes:

- *ArduinoRXTX*

Este método se utiliza para iniciar la conexión de Java con Arduino para la recepción y transmisión instantánea de datos.

ArduinoRXTX(string nombre del puerto, int baud rate, SerialPortEventListener evento)

Para utilizar este evento, necesitamos en primer lugar crear un SerialPortEventListener para su funcionamiento. Este nos permitirá conocer cuando se suscita un evento en el puerto serial.

```
SerialPortEventListener evento = new SerialPortEventListener() {
```

Figura 59.- Creación de un SerialPortEventListener

Posteriormente deber estar incluido dentro de un gestor de excepciones Try-Catch en el programa como se indica en la Figura 60.- Implementación del método ArduinoRXTX.

```
try {
    Arduino.arduinoRXTX("COM4", 9600, evento);
} catch (Exception ex) {
    Logger.getLogger(arduino.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
```

Figura 60.- Implementación del método ArduinoRXTX

- *DataReceptionCompleted()*

Este método nos permite conocer si se ha terminado de recibir el número de lecturas indicadas en la clase MultiMessage. Es decir que al indicar que estamos leyendo 6

datos, el método nos devolverá el valor booleano “true” cuando se termine la lectura de todos estos datos.

Dentro del programa es utilizado dentro de un lazo If, para condicionar que se escriban en las respectivas variables de temperatura y humedad por sección individualmente al ser actualizados.

```
if (multi.DataReceptionCompleted()) {
```

Figura 61.- Implementación del método DataReceptionCompleted()

- *getMessage(int index)*

Este método nos devuelve un dato tipo String con la lectura del sensor indicado en su respectivo índice.

En el programa se utiliza en conjunto con el método DataReceptionCompleted para actualizar los valores de las variables constantemente en el programa.

```
if (multi.DataReceptionCompleted()) {
    jLabel118.setText (multi.getMessage (0));
    jLabel23.setText (multi.getMessage (1));
    jLabel24.setText (multi.getMessage (2));
    jLabel20.setText (multi.getMessage (3));
    jLabel26.setText (multi.getMessage (4));
    jLabel25.setText (multi.getMessage (5));

    multi.flushBuffer ();
}
```

Figura 62.- Implementación del método getMessage()

- *flushBuffer()*

Este método nos permite eliminar la información almacenada en el buffer de datos.

En el programa se utiliza al finalizar la lectura de los sensores.

Si no se utiliza este método dentro del lazo no será posible realizar una nueva lectura.

- *killArduinoConnection()*

Este método nos permite finalizar la conexión entre Arduino y la computadora sin tener que finalizar la aplicación que se esté ejecutando.

Es importante incluirlo en el programa de Netbeans cuando accedemos a distintas ventanas o cuando cerramos la interfaz para que no queden procesos activos.

Se incluye dentro de un Try-Catch.

```
try {
    Arduino.killArduinoConnection();
} catch (Exception ex) {
    Logger.getLogger(Invernadero.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
```

Figura 63.- Implementación del método killArduinoConnection()

- *sendData(String data)*

Este método se utiliza para enviar datos a Arduino. Los datos se deben enviar como una cadena de texto.

En el programa se utilizan en conjunto con los eventos de los botones de la interfaz y deben también ser incluidos dentro de un lazo Try-Catch.

```
private void jButton5ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    try {
        Arduino.sendData("2");
    } catch (Exception ex) {
        Logger.getLogger(arduino.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
}
```

Figura 64.- Implementación del método sendData()

Dado que en Arduino la lectura de los datos seriales se realiza cada vez que se suscita un evento como podemos observar en la figura 65. Es necesario realizar el envío de cadenas de texto con distintos valores para luego ser analizados dentro del programa de Arduino.

```
void Lectura_Puerto_Serie(){
    //Selección del funcionamiento del sistema
    if (Serial.available()>0){
        Dato_Recibido=Serial.read();
    }
}
```

Figura 65.- Recepción de Datos en Arduino desde Java

Con respecto a esto se desarrolló una tabla para la interpretación de información recibida desde Java, con el fin de condicionar el programa en Arduino cuando funciona de manera remota.

Tabla 20*Tabla de Interpretación para envío desde Java a Arduino*

| <i>Cadena de Texto (Enviada/Recibida)</i> | <i>Significado</i> |
|---|---|
| '1' | Apagar el Sistema |
| '2' | Encender el Sistema |
| '3' | Modo Manual |
| '4' | Modo Automático |
| '5' | Encender Electroválvula sección Oriente |
| '6' | Apagar Electroválvula sección Oriente |
| '7' | Encender Electroválvula sección Costa |
| '8' | Apagar Electroválvula sección Costa |
| '9' | Encender Electroválvula sección Sierra |
| 'a' | Apagar Electroválvula sección Sierra |

CAPITULO 6

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. Análisis de Funcionamiento

Cuando analizamos la distribución en el invernadero, determinamos que la parte posterior se llama zona oriente, donde se encuentra el anturio que es la zona con menor altura, por lo que se puede concentrar de mejor manera el calor y la humedad; una zona ideal para mantener condiciones climáticas para las plantas.

En la sección costa se trabaja con una altura mayor, para el banano y otras frutas que se producen en la zona, se mantiene una humedad menor que en oriente, pero las condiciones son ideales para varios tipos de plantas.

La zona sierra mantendrá las condiciones normales del invernadero, lo que permite mejorar la humedad, según los rangos que posee el control.

6.2. Condiciones Normales

Se realizó una adquisición de datos al instalar los sensores para verificar la humedad y temperatura en las diferentes zonas. Se determinó que esta humedad tiene un cambio que va desde el 40%HR a 60%HR sin el sistema de control.

La humedad varia debido al riego constante en el invernadero, aproximadamente las plantas se riegan de 3 a 5 veces, para mantener una humedad alta, necesaria para el cuidado de plantas in vitro.

El invernadero posee cortinas que permiten controlar la temperatura del invernadero. Las cortinas se abren aproximadamente a las 10:30 de la mañana hasta las 16:00, permitiendo la entrada de aire y evitando la concentración de calor. La apertura de las cortinas se debe mantener, puede variar el horario de apertura y cierre debido al sistema de control de humedad.

Se realizó una prueba manual de activación de las electroválvulas de oriente y de sierra, para verificar la variación de humedad y temperatura, como podemos ver en la figura 66.

```

A - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 79.00
humedad_Costa: 64.00
humedad_Sierra: 77.00
temperatura_Oriente: 24.00
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 79.00
humedad_Costa: 64.00
humedad_Sierra: 77.00
temperatura_Oriente: 24.00
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 79.00
humedad_Costa: 64.00
humedad_Sierra: 77.00
temperatura_Oriente: 24.00
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 79.00
humedad_Costa: 68.00
humedad_Sierra: 77.00
-
0:00:41 conectado Autodetect. 9600 8-N-1 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir

```

Figura 66.- Prueba de activación de electroválvulas.

Al activar cada electroválvula durante 1 minuto se ve un cambio de humedad de 60 %HR a 79%HR en zona oriente. En la zona sierra al activar la electroválvula durante 1 minuto se ve una importante variación de humedad de 50% a 77%.

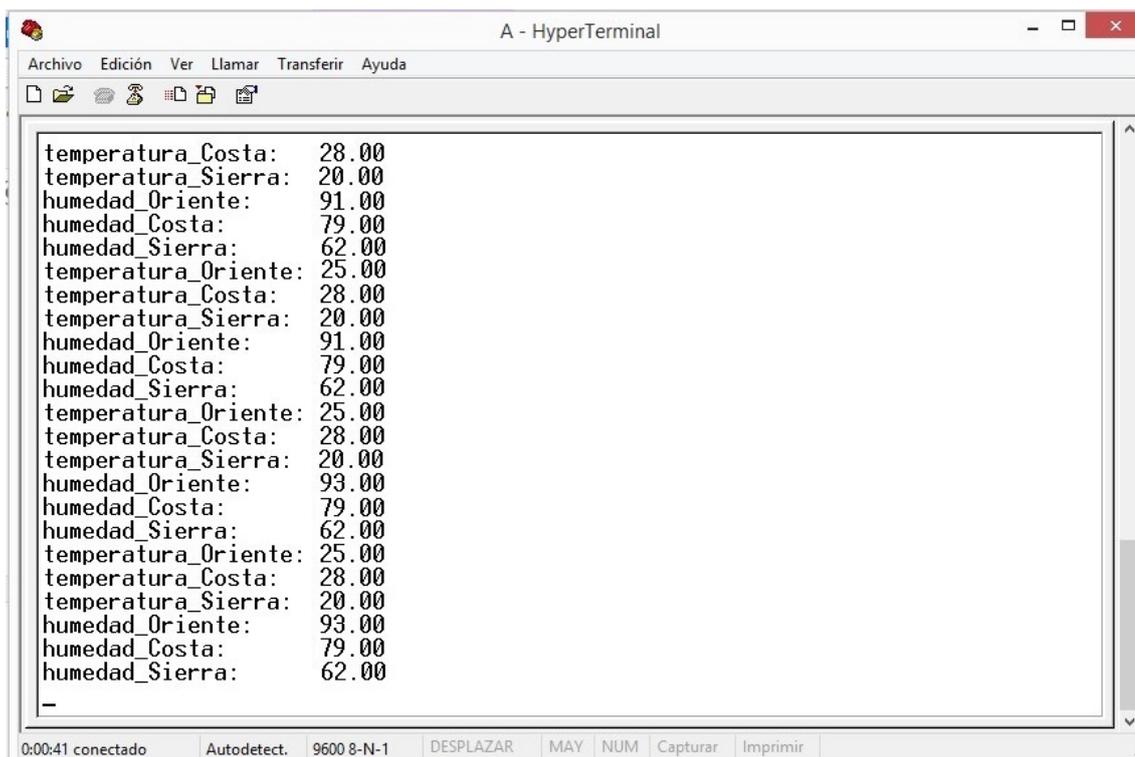
6.3. Funcionamiento Modo Automático

En modo automático el sistema activa las electroválvulas cuando las condiciones climáticas se encuentran fuera de los rangos de operación, el control se realiza con un nivel de prioridad, observándose que oriente tiene mayor prioridad después costa y al final sierra.

Al activar el modo automático se regula la humedad de las diferentes zonas. Se mantiene una humedad del 91% HR \pm 5% HR y la temperatura en 25°C \pm 3°C en la zona de oriente, en la zona de costa la humedad se mantiene en 79% HR \pm 6% HR y

la temperatura en $28^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ y en la zona de sierra se mantiene en $62\% \text{ HR} \pm 7\% \text{ HR}$ y la temperatura en $20^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$.

Cuando la temperatura baja de los límites deseados las electroválvulas se desactivan y se suspende el control, en ese momento se puede activar el modo manual. Los operadores del sistema realizan cambios de humedad para estudios a bajas temperaturas.



A - HyperTerminal

Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda

```
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 91.00
humedad_Costa: 79.00
humedad_Sierra: 62.00
temperatura_Oriente: 25.00
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 91.00
humedad_Costa: 79.00
humedad_Sierra: 62.00
temperatura_Oriente: 25.00
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 93.00
humedad_Costa: 79.00
humedad_Sierra: 62.00
temperatura_Oriente: 25.00
temperatura_Costa: 28.00
temperatura_Sierra: 20.00
humedad_Oriente: 93.00
humedad_Costa: 79.00
humedad_Sierra: 62.00
-
```

0:00:41 conectado Autodetect. 9600 8-N-1 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir

Figura 67.- Control en modo automático.

6.4. Funcionamiento Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico, muestra respuestas positivas para el fenómeno de humidificación, los nebulizadores ubicados en cada región cubren el área deseada.



Figura 68.- Sistema de Nebulización

Tomando datos a través de la activación individual de nebulizadores por sección tenemos los siguientes resultados:

Tabla 21

Resultados Sistema Hidráulico

| Región | Número de nebulizadores instalados | Número de nebulizadores activados | Porcentaje de funcionamiento |
|---------------|---|--|-------------------------------------|
| Oriente | 16 | 15 | 93.8% |
| Costa | 8 | 8 | 100% |
| Sierra | 16 | 14 | 87.5% |

Sin embargo cabe mencionar que se presentan variaciones del caudal, dado a que el flujo de agua interno del invernadero es compartido con una vivienda y una lavandería.

Cuando se realiza la activación de las salidas de agua, instantáneamente ocurre una caída de caudal en el invernadero que afecta directamente a la activación de los nebulizadores.

6.5. Rendimiento Procesador

La ejecución de la interfaz gráfica en el CPU de la empresa, se realiza sin complicaciones, se puede acceder de manera sencilla a todas sus ventanas. Se ha instalado la versión más actual del Java Development Kit (JDK), para que el programa sea compatible con la computadora.

Los datos de temperatura y humedad dentro de la interfaz se actualizan a una tasa de dos segundos debido a la programación de la tarjeta.

A pesar de que se puede acceder a todas las ventanas de la interfaz, ocurre un retardo de aproximadamente 20 segundos en la apertura de ciertas ventanas que poseen más herramientas gráficas y procesos de transmisión, esto se debe a la capacidad de procesamiento del equipo. Sin embargo no se presentan mayores problemas que este.

6.6. Análisis de Costos

Al verificar el presupuesto total del proyecto podemos observar que se implementó un sistema de bajo costo, con la posibilidad de ampliar la aplicación a invernaderos de longitud mayor, Es sistema implementado es un sistema de bajo consumo de potencia gracias a Arduino y XBEE permitiendo tenerlo en funcionamiento por tiempos prolongados, consiguiendo un sistema de bajo presupuesto y al mismo tiempo robusto.

Tabla 22

Presupuesto

| Equipo-Material | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio total |
|---|-----------------|---------------|------------------------|---------------------|
| Modulo Sensor de Humedad y Temperatura del Ambiente | 3 | U | 10,00 | 30,00 |
| Arduino Mega | 1 | U | 42,00 | 42,00 |
| Módulo de Radiofrecuencia Xbee | 2 | U | 50,00 | 100,00 |
| Adaptador de Modulo de Radio Frecuencia | 2 | U | 30,00 | 60,00 |
| Alambre Galvanizado #14 | 7 | Kg | 1,40 | 9,80 |
| Nebulizadores 1/4 mister azul | 40 | U | 2,00 | 80,00 |
| Manguera para riego 16mm | 200 | m | 0,12 | 24,00 |
| Válvulassolenoide Rain Pro 1" | 3 | U | 26,00 | 78,00 |
| Tablero | 1 | U | 40,00 | 40,00 |
| Uniones 1/2" | 1 | U | 0,30 | 0,30 |
| Uniones tipo T 1/2" | 1 | U | 0,15 | 0,15 |
| Uniones 16mm | 5 | U | 0,30 | 1,50 |
| Uniones tipo T 16mm | 12 | U | 0,35 | 4,20 |
| Uniones tipo Codo 3/4" | 8 | U | 0,50 | 4,00 |
| Uniones tipo Codo 16mm | 2 | U | 0,35 | 0,70 |
| Neplo 16mm a 1/2" | 22 | U | 0,43 | 9,46 |
| Tapón hembra de 1/2" | 10 | U | 0,28 | 2,80 |
| Agarraderas metálicas | 62 | U | 0,20 | 12,40 |
| Tapón de Mangueras | 10 | U | 0,50 | 5,00 |
| Amarra cable Plásticas | 500 | U | 0,03 | 15,00 |
| Amarra cable 12"x3,6mm | 100 | U | 0,05 | 5,19 |
| Riel DIN Perforado Acero | 1 | M | 2,80 | 2,80 |
| Canaleta Ranurada 25mmX25mm | 2 | M | 2,63 | 5,25 |
| Borneras 32A para Riel DIN | 15 | U | 1,12 | 16,80 |

| | | | | |
|---|-----|---|-------|-------|
| Borneras 4mm #10 para Riel DIN | 15 | U | 0,37 | 5,55 |
| Breaker tipo riel DIN 16A 110V | 1 | U | 6,51 | 6,51 |
| Cable Flexible 12 AWG Potencia | 60 | M | 0,51 | 30,60 |
| Cable 16 AWG Control | 10 | M | 0,45 | 4,50 |
| Cable UTP | 40 | M | 0,80 | 32,00 |
| Fuente 24VAC | 1 | U | 10,00 | 10,00 |
| Libreta de Marcadores | 2 | U | 5,00 | 10,00 |
| Terminales Azules Pin2 | 100 | U | 0,06 | 6,00 |
| Terminales amarillo Pin5.5 | 30 | U | 0,08 | 2,40 |
| Alicate Aislado 4 1/2" WALK LONG | 1 | U | 1,95 | 1,95 |
| Rodela Plana ¼ | 20 | U | 0,05 | 1,07 |
| Tuerca Hexagonal 1/4 Rosca Gruesa | 10 | U | 0,02 | 0,18 |
| Tornillo P/Maquina 3/16X3/4 | 30 | U | 0,03 | 0,80 |
| Amarra cable Juego Varios colores 75p2 C7-75 | 1 | U | 1,00 | 1,00 |
| Switch Selector 22mm 2p | 1 | U | 2,70 | 2,70 |
| Pulsador de emergencia rojo | 1 | U | 4,25 | 4,25 |
| Foco 110V Verde 22mm | 1 | U | 1,90 | 1,90 |
| Foco 110V Rojo 22mm | 1 | U | 1,90 | 1,90 |
| Reducción 3/4" a 1/2" | 2 | U | 1,00 | 2,00 |
| Bushing 3/4" a 1/2" | 1 | U | 1,00 | 1,00 |
| Bushingpvc 1" a 1/2" | 6 | U | 0,33 | 1,98 |
| Acople de manguera 1/2" a 3/4" | 2 | U | 0,50 | 1,00 |
| Teflón amarillo | 1 | U | 1,00 | 1,00 |
| Teflón blanco | 1 | U | 0,45 | 0,45 |
| Abrazaderas | 2 | U | 0,25 | 0,50 |
| Tinta rapidograforotring negra | 1 | U | 3,32 | 3,32 |
| Relé 5V - 5P | 8 | U | 0,58 | 4,64 |
| Tip31C | 1 | U | 0,40 | 0,40 |

| | | | | |
|-----------------------------|---|---|--------------|---------------|
| Bornera 2Pines | 8 | U | 0,22 | 1,76 |
| Bornera 3Pines | 2 | U | 0,35 | 0,70 |
| Porta Fusibles Grande t/baq | 2 | U | 0,45 | 0,90 |
| Fusible 1A 250V | 2 | U | 0,05 | 0,10 |
| Fusible 2A 250V | 2 | U | 0,05 | 0,10 |
| Fusible 3A 250V | 2 | U | 0,05 | 0,10 |
| Cremallera 10-06 | 3 | U | 0,32 | 0,96 |
| Fundas 20gr de cloruro | 3 | U | 0,31 | 0,94 |
| Baquelita S/P 10X10cm | 2 | U | 0,80 | 1,60 |
| Resistencia 1/4W | 4 | U | 0,02 | 0,07 |
| Brocas para baquelita | 1 | U | 0,60 | 0,60 |
| | | | TOTAL | 696,78 |

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se implementó un sistema hidráulico con activación independiente por sección que permite la generación de diferentes condiciones climáticas, las cuales permitirán realizar posibles estudios científicos a futuro para favorecer el desarrollo de distintas especies.
- Se desarrolló una interfaz HMI orientada al usuario, que permite una fácil operación del sistema de control de forma remota, además de una supervisión continua de los parámetros críticos del invernadero a través de recursos gráficos que facilitan su comprensión.
- Se implementó un sistema de control de humedad con alto grado de humidificación permitiendo mantener de manera estable las condiciones climáticas de las plantas desarrolladas in vitro y que a su vez son trasladadas a un invernadero para un control mediante electroválvulas y nebulizadores.
- Se identificó sensores que poseen las características apropiadas, sensibilidad y precisión necesarias para la aplicación de un sistema de control de humedad. El tiempo de adquisición del sensor es de 2 segundos, permitiendo mantener la humedad estable en las diferentes zonas del invernadero.
- Se desarrolló un sistema, evaluando las necesidades de las plantas, diferenciando a las especies producidas en Germoplanta CIA. LTDA para mantenerlas en zonas específicas con condiciones de humedad que ayuden a su mejor desarrollo y a su vez mejoren la productividad de la empresa.
- La integración de la aplicación creada en Java y el programa de control en la tarjeta, se logró a través de una librería denominada Arduino, con la cual se generaron múltiples mensajes de transmisión y recepción tanto para la supervisión como para la manipulación del sistema de forma remota.
- Para trabajar con activación de relés a través de las salidas digitales de Arduino, es importante tomar en cuenta la implementación de un circuito de amplificación dado a que la capacidad de corriente de la tarjeta Arduino no es suficiente.

- Dado a que los parámetros del diseño eléctrico del sistema están establecidos de forma clara se presenta una arquitectura abierta, con la cual a futuro se podrá añadir o modernizar sus componentes y facilitar la reparación en el caso de un fallo.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener a los sensores limpios para permitir el paso de vapor de agua generado por los nebulizadores, de esta manera se pueden obtener datos correctos para el funcionamiento del sistema de control de humedad.
- Se recomienda también a futuro, de ser posible, adquirir una computadora con mejores características técnicas, para un óptimo funcionamiento de todas las funciones de la interfaz de supervisión.
- Se recomienda realizar pruebas de funcionamiento manual. Las electroválvulas permiten un control mediante una palanca de activación manual, al realizar pruebas de los nebulizadores se puede identificar el funcionamiento de los mismos e identificar fallas o posibles errores en el sistema.
- Se recomienda la instalación de ventanas plásticas independientes en el invernadero para poder cambiar de manera sencilla las condiciones del invernadero y al mismo tiempo mantener independientes las zonas, permitiendo un control más específico de temperatura en cada zona.
- Dado al problema de presión de agua en el invernadero, se recomienda instalar una bomba de agua como se muestra en el anexo de cálculo de la bomba. La cual suministrará suficiente caudal al sistema hidráulico, permitiendo un funcionamiento óptimo del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandre, J. (20 de Mayo de 2015). *Algoritmo para el cálculo del ancho de pista de una placa de circuito impreso*. Obtenido de <https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>
- Atmel. (01 de 10 de 2012). *Atmel Microcontroller*. Recuperado el 03 de 12 de 2014, de <http://www.atmel.com/Images/2549s.pdf>
- Centeno. (05 de 02 de 2003). *Wikipedia*. (Ortisa, Ed.) Recuperado el 13 de 10 de 2014, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- Coronel., I. B. (08 de 11 de 2014). *Germoplanta*. Obtenido de <http://www.germoplanta.com/>
- González, A. G. (27 de Octubre de 2013). *Panama Hitek*. Obtenido de <http://panamahitek.com/libreria-arduino-para-java-instalacion-e-implementacion/>
- Herrador, R. E. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. San Francisco, California, USA: Creative Commons.
- RainPro. (01 de 02 de 2013). *www.hitproductscorp.com*. Recuperado el 2015 de 02 de 06, de http://www.hitproductscorp.com/products/valves/200_series.pdf
- Ruben, J. (16 de 09 de 2013). *GeekFactory*. Recuperado el 20 de 02 de 2015, de <http://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-pic/dht11-con-pic/>
- Senniger. (01 de 01 de 1963). *Senninger Irrigation Inc*. Recuperado el 05 de 01 de 2015, de www.senninger.com: <http://www.senninger.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/SolidSet-Catalog-SP.pdf>
- Servers, E. (19 de 03 de 2014). *patagoniatecnology*. Recuperado el 23 de 02 de 2015, de <http://saber.patagoniatecnology.com/arduino-mega-2560-atmega-mega-arduino-clon-compatible-argentina-tutorial-basico-informacion-arduino-argentina-ptec/>
- TORRITI, M. T. (26 de 04 de 2007). *web.ing.puc.cl*. Recuperado el 18 de 10 de 2014, de http://web.ing.puc.cl/~mtorrest/downloads/pic/tutorial_pic.pdf
- www.arduino.cc. (26 de 08 de 2010). *www.arduino.cc*. Recuperado el 20 de 11 de 2014, de <http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560#UyZG0fl5MU8>

www.bq.com. (01 de 01 de 2010). *www.bq.com*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://www.bq.com/es/productos/prusa-hephestos.html>

www.pighixx.com. (05 de 02 de 2012). *www.pighixx.com*, 1. Recuperado el 24 de 11 de 2014, de <http://www.cs.ou.edu/~fagg/classes/general/atmel/ArduinoMega.pdf>

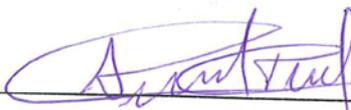
ANEXOS

ACTA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

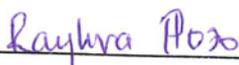
Sangolqui, 30 DE JUNIO del 2015

ELABORADO POR:



ALEXIS JAVIER GÓNGORA ALVAREZ

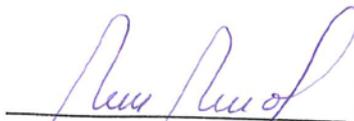
1719650234



RAYHRA POZO HUMENHUK

1719603332

AUTORIDAD:



Ing. Luis Orozco Brito MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

