



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
VENTILACIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA UN  
INVERNADERO, BASADO EN LA WEB PARA LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL TUNSHI**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**AUTORA: KERLY MISHHELL VACA VALLEJO**

**DIRECTOR: ING. RAMIRO FERNANDO ISA JARA, PHD**

Riobamba – Ecuador

2023

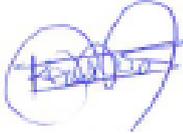
© 2023, Kerly Mishell Vaca Vallejo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **Kerly Mishell Vaca Vallejo**, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de marzo del 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kerly Mishell Vaca Vallejo', is written over a faint, light blue rectangular stamp or watermark.

**Kerly Mishell Vaca Vallejo**

**0604773119**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA UN INVERNADERO, BASADO EN LA WEB PARA LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI**, realizado por la señorita: **KERLY MISHHELL VACA VALLEJO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Washington Gilberto Luna Encalada  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



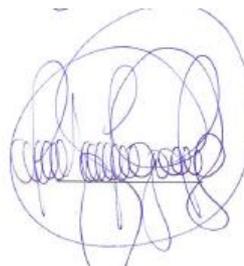
2023-03-17

Ing. Ramiro Fernando Isa Jara  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-03-17

Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego  
**ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2023-03-17

**DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación dedicó a mi familia por siempre guiar mis pasos y ayudarme en cada momento de vida, por estar conmigo en cada logro o problema que se me ha presentado, en especial a mi padre y madre quienes son el pilar de mi vida, sin ellos y el inmenso amor que me tienen nada sería posible.

Kerly

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme estudiar en tan prestigiosa institución la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo la cual me forjó el carácter y me ofreció infinitas oportunidades en el campo académico y extracurricular, permitiéndome ser parte de clubs de afinidad como el Club de Robótica ESPOCH a quien llevo en mi corazón, así también a los grupos de investigación estudiantil. Agradezco el ser la hija de Byron Ernesto Vaca Barahona y Luz Maribel Vallejo Chávez a quienes amo con todo mi corazón y dedico cada logro de mi vida, a mi hermano Gabriel Vaca y familia quienes siempre me han apoyado incondicionalmente y me han hecho sentir todo su amor. Quiero agradecer a mis amigos quienes han sido parte de mi vida universitaria en cada noche de desvelo por un examen, en cada trabajo, en cada competencia, y diversos retos impuestos como dirigente del club de robótica, Hult Prize y finalmente en mi proyecto de titulación, gracias especiales a Braulio Balseca, quien es el mejor amigo que la vida pudo colocar en mi camino, gracias por todo tu apoyo y amistad incondicional. A Alexis Vaca, a quien quiero muchísimo y agradezco por su apoyo incondicional, gracias por siempre estar presente. Un agradecimiento especial al ingeniero José Luis Morales quien me ha apoyado en cada proyecto y motivado para seguir con mis objetivos, gracias por cada consejo y paciencia. A Johnny Jácome quien es mi gran amigo, gracias por todo tu apoyo. Al ingeniero Ramiro Isa quien es mi tutor y me ha apoyado y guiado. A la facultad de mecánica y en especial al ingeniero Alvaro Chávez, Wilfredo y al ingeniero Miguel Escobar. Alex Bonilla, Sebastián Ruiz, Erik Pérez y gracias por ayudarme con este gran proyecto y travesía del para el funcionamiento. Al ingeniero José Guerra por su apoyo y recomendaciones en el presente proyecto de integración curricular.

Kerly

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes .....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Invernaderos.....	9
2.2.1. <i>Agricultura de la región</i> .....	11
2.2.2. <i>Invernaderos inteligentes experimentales</i> .....	12
2.3. Invernaderos experimentales de Tunshi .....	13
2.4. Internet de las cosas (IoT) en invernaderos .....	15
2.4.1. <i>Envío de datos a la Web</i> .....	16
2.5. Control de variables climáticas en invernaderos .....	16
2.5.1. <i>Temperatura</i> .....	17
2.5.2. <i>Humedad relativa ambiente</i> .....	17
2.6. Tipos de sensores.....	18
2.7. Comunicaciones inalámbricas.....	19
2.7.1. <i>Aplicación móvil</i> .....	19

2.8.	Antenas.....	21
2.9.	Tarjetas de desarrollo .....	22
2.10.	Actuadores .....	25

### CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Requerimientos del diseño.....	27
3.2.	Consolidación general del sistema .....	28
3.3.	Realidad de la zona .....	28
3.4.	Diseños de las etapas del sistema .....	29
3.4.1.	<i>Etapas de comunicación</i> .....	30
3.4.2.	<i>Etapas de adquisición de datos</i> .....	31
3.4.3.	<i>Etapas de accionamiento</i> .....	32
3.5.	Etapas de almacenamiento.....	32
3.6.	Arquitectura de <i>hardware</i> del invernadero.....	33
3.6.1.	<i>Diseño del mecanismo de las cortinas</i> .....	33
3.6.1.1.	<i>Desarrollo cálculo del torque del motor</i> .....	34
3.6.1.2.	<i>Peso tubo: Acero galvanizado</i> .....	35
3.6.1.3.	<i>Peso del plástico</i> .....	35
3.6.1.4.	<i>Longitud de la tubería</i> .....	36
3.6.1.5.	<i>Torque del tubo (Sección transversal del tubo 3/4 pulgadas)</i> .....	37
3.6.1.6.	<i>Momento de inercia por masa de la tubería de 3/4</i> .....	39
3.6.1.7.	<i>Torque total</i> .....	39
3.6.1.8.	<i>Torque catalina = torque tubo (Sección transversal del tubo y catalina)</i> .....	39
3.6.1.9.	<i>Relación de transmisión</i> .....	40
3.6.1.10.	<i>Torque del piñón</i> .....	41
3.6.1.11.	<i>Elementos para la implementación mecánica</i> .....	43
3.7.	Selección de componentes de <i>hardware</i> del sistema .....	45
3.7.1.	<i>Selección del motor</i> .....	45
3.7.2.	<i>Implementación del bloque de alimentación</i> .....	46
3.7.3.	<i>Implementación del sistema mecánico</i> .....	48
3.8.	Dispositivos de alimentación .....	50
3.8.1.	<i>Fuente conmutada de 12V</i> .....	50
3.8.2.	<i>Contactador trifásico</i> .....	51
3.9.	Dispositivos de obtención de datos.....	51

3.9.1.	<i>DHT AM2301</i> .....	51
3.10.	Implementación de sensores.....	52
3.11.	Dispositivos de procesamiento .....	53
3.12.	Tarjetas MCU.....	53
3.12.1.	<i>El módulo ESP32s</i> .....	55
3.13.	Comunicación inalámbrica .....	56
3.13.1.	<i>Antenas MirkoTik SxTs q Lite 2</i> .....	56
3.13.1.1.	<i>Router</i> .....	57
3.14.	Dispositivos de activación de actuadores .....	59
3.14.1.	<i>Relés</i> .....	59
3.15.	Dispositivos de visualización .....	60
3.15.1.	<i>Pantalla LCD</i> .....	60
3.15.2.	<i>Diagrama de conexión para el invernadero experimental</i> .....	61
3.16.	Caja térmica central .....	63
3.17.	Implementación de las antenas y <i>router</i> de comunicación WiFi.....	65
3.18.	Requerimientos del diseño de <i>software</i> .....	67
3.19.	Arquitectura de software del dispositivo .....	67
3.19.1.	<i>Arduino 1.8.19</i> .....	67
3.19.2.	<i>APP inventor</i> .....	67
3.19.3.	<i>Firestore</i> .....	67
3.19.4.	<i>ThinkSpeak</i> .....	68
3.20.	Programación de los nodos del módulo electrónico .....	68
3.20.1.	<i>Diagrama de flujo del algoritmo</i> .....	69
3.21.	Aplicación móvil en APP inventor .....	73
3.22.	Configuración de antenas Mikrotik.....	77

## CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	78
4.1.	Validación de sensores .....	78
4.2.	Estabilidad de los sensores .....	84
4.3.	Comunicación .....	87
4.4.	Prueba de integridad de la información.....	90
4.5.	Prueba de parámetro de tiempo para activación del motor.....	91
4.6.	Consumo energético .....	93
4.7.	Prueba de correlación .....	94

<b>4.8.</b>	<b>Prueba de homogeneidad .....</b>	<b>95</b>
<b>4.9.</b>	<b>Prueba de distancia de medición de los sensores.....</b>	<b>98</b>
<b>4.10.</b>	<b>Evaluación económica.....</b>	<b>100</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Comparación de comunicaciones inalámbricas.....	19
<b>Tabla 2-2:</b>	Características principales de interfaces para creación de aplicaciones web.....	21
<b>Tabla 1-3:</b>	Momentos y deflexión de la tubería de 0,75 pulgadas .....	36
<b>Tabla 2-3:</b>	Momentos de inercia. ....	37
<b>Tabla 3-3:</b>	Insumos para la construcción del mecanismo propuesto.....	43
<b>Tabla 4-3:</b>	Materiales y equipos para la estructura del mecanismo para invernadero.....	43
<b>Tabla 5-3:</b>	Características principales del tubo galvanizado.....	44
<b>Tabla 6-3:</b>	Características principales del motorreductor. ....	46
<b>Tabla 7-3:</b>	Características principales de la fuente de conmutación .....	50
<b>Tabla 8-3:</b>	Características principales del sensor de temperatura y humedad.....	52
<b>Tabla 9-3:</b>	Comparación de características principales de tarjetas MCU con incorporación de tarjeta Wifi. ....	54
<b>Tabla 10-3:</b>	Características principales del módulo ESP32. ....	55
<b>Tabla 11-3:</b>	Características principales del módulo ESP32s.....	57
<b>Tabla 12-3:</b>	Características principales del <i>router</i> Mikrotik. ....	57
<b>Tabla 13-3:</b>	Características principales de la antena Tp-link. ....	58
<b>Tabla 14-3:</b>	Características principales de la regleta de relés. ....	59
<b>Tabla 15-3:</b>	Características principales del <i>display</i> .....	60
<b>Tabla 16-3:</b>	Terminales de conexión del ESP32s .....	61
<b>Tabla 17-3:</b>	Librerías representativas de los programas realizados. ....	68
<b>Tabla 18-3:</b>	Variables empleadas en la programación del bloque de procesamiento del nodo central.....	70
<b>Tabla 19-3:</b>	Variables asociadas a la base de datos.....	70
<b>Tabla 20-3:</b>	Variables asociadas a la base de datos.....	72
<b>Tabla 1-4:</b>	Validación de datos de temperatura.....	79
<b>Tabla 2-4:</b>	Validación de datos de humedad. ....	81
<b>Tabla 3-4:</b>	Estabilidad de los sensores de temperatura .....	84
<b>Tabla 4-4:</b>	Estabilidad de los sensores de humedad.....	85
<b>Tabla 5-4:</b>	Integridad de información del sensor de humedad. ....	90
<b>Tabla 6-4:</b>	Integridad de información del sensor de temperatura.....	90
<b>Tabla 7-4:</b>	Prueba de tiempo de subir y bajar cortinas.....	92
<b>Tabla 8-4:</b>	Consumo energético del sistema. ....	93
<b>Tabla 9-4:</b>	Consumo energético del sistema. ....	95

<b>Tabla 10-4:</b>	Datos de distancia en medición de sensores.....	98
<b>Tabla 11-4:</b>	Presupuesto de implementación del sistema. ....	100
<b>Tabla 12-4:</b>	Rol de pagos a un operario. ....	101

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Posición de sensores .....	10
<b>Ilustración 2-2:</b>	Posición de sensores. ....	11
<b>Ilustración 3-2:</b>	Diseño estructural del invernadero experimental de Tunshi.....	13
<b>Ilustración 4-2:</b>	Cortinas del invernadero de la estación experimental Tunshi .....	14
<b>Ilustración 5-2:</b>	Diagrama del diseño del invernadero inteligente.....	15
<b>Ilustración 6-2:</b>	Monitoreo remoto de las condiciones de un invernadero .....	20
<b>Ilustración 7-2:</b>	Tarjeta ESP32s MCU.....	24
<b>Ilustración 8-2:</b>	Partes del motor jaula de ardilla.....	26
<b>Ilustración 1-3:</b>	Diagrama representativo de la consolidación general del sistema .....	28
<b>Ilustración 2-3:</b>	Rango de histéresis control <i>on/off</i> .....	29
<b>Ilustración 3-3:</b>	Diagrama de bloques de la etapa de alimentación. ....	30
<b>Ilustración 4-3:</b>	Diagrama de bloques de la etapa de comunicación.....	31
<b>Ilustración 5-3:</b>	Diagrama de bloques de la etapa de sensado. ....	31
<b>Ilustración 6-3:</b>	Diagrama de bloques de la etapa de accionamiento.....	32
<b>Ilustración 7-3:</b>	Diagrama de bloques de la etapa de accionamiento. ....	33
<b>Ilustración 8-3:</b>	Diagrama estructural de las cortinas del invernadero experimental. ....	34
<b>Ilustración 9-3:</b>	Mecanismo diseñado para las cortinas del invernadero experimental. ....	34
<b>Ilustración 10-3:</b>	Cuerpo libre para la distribución de cargas.....	36
<b>Ilustración 11-3:</b>	Selección transversal del tubo $\frac{3}{4}$ pulgada .....	38
<b>Ilustración 12-3:</b>	Movimiento del eje de la cortina.....	38
<b>Ilustración 13-3:</b>	Movimiento de la catalina.....	40
<b>Ilustración 14-3:</b>	Diagrama de la relación de transmisión.....	41
<b>Ilustración 15-3:</b>	Movimiento del piñon.....	42
<b>Ilustración 16-3:</b>	Motor reductor. ....	45
<b>Ilustración 17-3:</b>	Caja electrica del eficio principi de Tunshi.....	46
<b>Ilustración 18-3:</b>	Cableado de instalaciones eléctricas .....	47
<b>Ilustración 19-3:</b>	Validación de voltaje en caja térmica del invernadero experimental.....	47
<b>Ilustración 20-3:</b>	Sistema mecánico de cortinas .....	48
<b>Ilustración 21-3:</b>	Acoples para enrollar las cortinas .....	49
<b>Ilustración 22-3:</b>	Análisis de las etapas del proyecto. ....	49
<b>Ilustración 23-3:</b>	Fuente Conmutada de 12V/10A/P .....	50
<b>Ilustración 24-3:</b>	Contactor LS Metasol .....	51
<b>Ilustración 25-3:</b>	Sensor DHT AM 2301 .....	52

<b>Ilustración 26-3:</b>	Implementación de sensores .....	53
<b>Ilustración 27-3:</b>	Módulo ESP32s. ....	55
<b>Ilustración 28-3:</b>	Antenas Mikrotik, punto a punto. ....	56
<b>Ilustración 29-3:</b>	Router Mikrotik .....	57
<b>Ilustración 30-3:</b>	Router TpLink.....	58
<b>Ilustración 31-3:</b>	Regleta de relés.....	59
<b>Ilustración 32-3:</b>	Display LCD 16x2. ....	60
<b>Ilustración 33-3:</b>	Esquemático del sistema de conexiones. ....	62
<b>Ilustración 34-3:</b>	Diseño PCB del módulo de control. ....	62
<b>Ilustración 35-3:</b>	Sublimación diseño PCB. ....	63
<b>Ilustración 36-3:</b>	Tubería con el cableado eléctrico .....	63
<b>Ilustración 37-3:</b>	Caja térmica principal del invernadero. ....	64
<b>Ilustración 38-3:</b>	Conexiones invernadero. ....	65
<b>Ilustración 39-3:</b>	Antena Mikrotik, invernadero.....	65
<b>Ilustración 40-3:</b>	Antena emisora Mikrotik, edificio central .....	66
<b>Ilustración 41-3:</b>	Caja principal de router matriz .....	66
<b>Ilustración 42-3:</b>	Diagrama de flujo del algoritmo de modo automático .....	71
<b>Ilustración 43-3:</b>	Diagrama de flujo del control manual y automático.....	72
<b>Ilustración 44-3:</b>	Diagrama del algoritmo principal .....	73
<b>Ilustración 45-3:</b>	Análisis de las etapas del proyecto .....	73
<b>Ilustración 46-3:</b>	Diseño de la aplicación GreenHouse .....	74
<b>Ilustración 47-3:</b>	QR de descarga de la app para dispositivos andorid.0.....	74
<b>Ilustración 48-3:</b>	Diseño de la pantalla de inicio de .....	75
<b>Ilustración 49-3:</b>	<i>Screen</i> de Consultar. ....	76
<b>Ilustración 50-3:</b>	Segmetno del programa de la app.....	76
<b>Ilustración 1-4:</b>	Evidencia de prueba de validación de sensores. ....	78
<b>Ilustración 2-4:</b>	Análisis compartivo de los valores de temperatura.....	80
<b>Ilustración 3-4:</b>	Análisis de la curva de los valores de temperatura .....	80
<b>Ilustración 4-4:</b>	Análisis compartivo de los valores de humedad.....	83
<b>Ilustración 5-4:</b>	Análisis de la curva de los valores de humedad.....	84
<b>Ilustración 6-4:</b>	Evidencia de la prueba de supervisión de datos.....	87
<b>Ilustración 7-4:</b>	Supervisión de datos enviados a <i>thinkspeak</i> . ....	88
<b>Ilustración 8-4:</b>	Evidencia de supervisión de datos enviados a <i>firebase</i> .....	89
<b>Ilustración 9-4:</b>	Supervisión de datos enviados a la.....	89
<b>Ilustración 10-4:</b>	Mapa de calor del coeficiente de Pearson para .....	94
<b>Ilustración 11-4:</b>	Mapa de calor del coeficiente de Pearson para la humedad.....	95

<b>Ilustración 12-4:</b>	Diagrama de bigotes de los datos de humedad .....	96
<b>Ilustración 13-4:</b>	Diagrama de bigotes de los datos de temperatura.....	96
<b>Ilustración 14-4:</b>	Análisis exploratorio de los datos de temperatura .....	97
<b>Ilustración 15-4:</b>	Análisis exploratorio de los datos de humedad.....	97
<b>Ilustración 16-4:</b>	Diagrama de comparación en distancia .....	99
<b>Ilustración 17-4:</b>	Diagrama de comparación en distancia de medición, temperatura.....	100

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** MATERIALES

**ANEXO B:** DISEÑO DE PIEZAS PARA MECANISMO DE VENTANAS

**ANEXO C:** HOJA DE DATOS MOTOR TECLE ELÉCTRICO

**ANEXO D:** HOJA DE DATOS SENSOR AM2301

**ANEXO E:** HOJA DE DATOS REGLETA DE RELÉS

**ANEXO F:** HOJA DE DATOS ANTENAS MIKROTIK

**ANEXO G:** HOJA DE DATOS DE LCD 16X2

**ANEXO H:** PROGRAMACIÓN EN APP INVENTOR

**ANEXO I:** CONFIGURACIÓN DE ANTENAS

**ANEXO J:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de integración curricular fue diseñar e implementar un sistema manual y automático de control para supervisión de variables climáticas: temperatura y humedad en un invernadero experimental de tomate en la Estación Experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El sistema propuesto envía los datos a la web y recibe la información de las condiciones climáticas por medio de conexiones inalámbricas WiFi a través de 4 sensores colocados en el invernadero. Estos datos son tomados en tiempo real y almacenados en una base de datos de firebase para ser graficados y visualizados por medio de thinkspeak. El sistema de control automático es de tipo on/off, y tiene como variable de control la temperatura, la cual, puede ser establecida de acuerdo con el criterio de los expertos, para mantener en el invernadero las condiciones climáticas adecuadas para un tipo de cultivo. Para ello, el invernadero tiene unas cortinas que se pueden abrir o cerrar si la temperatura no es la adecuada según los rangos establecidos. Por otro lado, se tiene un sistema manual, para que el operador del sistema pueda abrir o cerrar las cortinas de forma independiente. Además, el sistema permite controlar el clima de forma remota, ya que, cuando el sistema detecta la temperatura requerida se activa mediante la aplicación GreenHouse. Las pruebas realizadas permiten determinar que existe el 100% de integridad de información en el envío de datos, un error absoluto en la temperatura de 1,168% y humedad de 1,563%, que al ser mayor a 1 y menor a 5%, los datos recolectados se encuentran en un rango aceptable para este tipo de procesos. Por tanto, se concluye, que los sensores realizan una medición dentro de los rangos esperados, tanto para la temperatura como para la humedad, lo que permite controlar adecuadamente el microclima del invernadero.

**Palabras clave:** <MICROCLIMA>, <INVERNADERO EXPERIMENTAL>, <SENSORES>, <ANTENAS>, <MOTORES>, <PLACA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB)>, <APLICACIÓN MÓVIL>.



## SUMMARY

This curricular integration research project aimed to design and implement a manual and automatic control system capable of supervising the climatic variables temperature and humidity in an experimental tomato greenhouse at the Tunshi Experimental Station, located at the Escuela Superior Politécnica of Chimborazo. The system sends the data to a web-based cloud and receives information on weather conditions through a WiFi connection using four sensors installed in the greenhouse. This data is retrieved in real-time and stored in a Firebase database to be graphed and displayed through ThingSpeak. The automatic control system is on/off type, and its control variable is temperature, which can be set according to expert criteria to maintain appropriate climatic conditions for crops in greenhouses. To do this, the greenhouse has curtains installed that can be opened or closed to adjust the temperature according to the established ranges. Furthermore, a manual system is also available so that the system operator can open or close the curtains independently. In addition, the system has remote climate control enabled. When the system detects the required temperature, it is activated through the GreenHouse app. Testing determined that there was 100% integrity of information in the data sent and an absolute error of 1.168% for temperature and 1.563% for humidity. As this is higher than 1% and less than 5%, the validity of the data collected is within the acceptable range for this type of process. Therefore, it was concluded that the sensors are capable of measuring within the expected ranges, both for temperature and humidity, and thus it was concluded that the system is able to control a greenhouse microclimate adequately.

**Keywords:** <MICROCLIMATE>, <EXPERIMENTAL GREENHOUSE>, <SENSORS>, <ANTENNAS>, <MOTORS>, <PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB)>, <MOBILE APP>.



---

**Lenin Iván Lara Olivo**

**0602546103**

## INTRODUCCIÓN

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo tiene como visión la excelencia académica por medio de la investigación y vinculación que promuevan enriquecer los saberes y conocimientos de los estudiantes aportando así a la sociedad; para lo cual se fomenta la investigación y experimentación en grupos afines a cada carrera. La estación experimental de Tunshi cuenta con espacios para experimentación agrícola y ganadera. Para los estudios de agricultura existen 7 invernaderos experimentales con productos como: fresas, tomates, ensayos de plantas medicinales, frutales y hojas de tunas con cochinillas (ESPOCH, 2022).

Los invernaderos experimentales son herramientas importantes para la investigación en ciencias agrícolas y biológicas, ya que permiten controlar las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la luz, para estudiar el crecimiento de las plantas y otros organismos. Según un estudio publicado por la revista científica "Frontiers in Plant Science", los invernaderos experimentales son esenciales para comprender el impacto del cambio climático en las plantas y para desarrollar estrategias de cultivo sostenible. Además, los invernaderos permiten la evaluación rápida de nuevas variedades de cultivos y la realización de experimentos que no son posibles en condiciones de campo (Gao, 2019).

La temperatura y la humedad son factores críticos en un invernadero, ya que afectan directamente el crecimiento y desarrollo de las especies cultivadas. La temperatura adecuada en un invernadero puede aumentar la tasa de crecimiento, acelerar el tiempo de floración y mejorar la calidad de la cosecha. La humedad, por su parte, afecta la transpiración de las plantas, así como la absorción de nutrientes y la incidencia de enfermedades. Por lo tanto, mantener un ambiente adecuado en un invernadero, con una temperatura y humedad controladas y estables, es esencial para maximizar la productividad y calidad de las plantas cultivadas (Sánchez-Guerrero, 2014).

La supervisión remota de las condiciones ambientales dentro de un invernadero permite un control preciso y oportuno del clima, lo que aumenta la productividad y la calidad de los cultivos. Según un estudio publicado en la revista "Computers and Electronics in Agriculture", la supervisión en tiempo real de las variables climáticas en un invernadero a través de una red de sensores y el envío de los datos a la web puede mejorar la toma de decisiones y reducir los costos de producción. Además, la supervisión remota permite una rápida identificación de problemas y la implementación de soluciones antes de que se conviertan en mayores inconvenientes (Ahmed, 2017).

Las cortinas son elementos clave en la gestión ambiental de los invernaderos, ya que permiten regular la intensidad y la calidad de la luz que llega a las plantas, así como la temperatura y la humedad del aire en su interior. Según un estudio realizado por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), "la utilización de cortinas térmicas reduce la cantidad de energía necesaria para la climatización del invernadero, y permite ajustar la temperatura y la humedad relativa del aire en función de las necesidades de las plantas, mejorando su crecimiento y su calidad" (IVIA, 2020). Además, las cortinas también pueden ayudar a proteger las plantas de la radiación solar directa, evitando quemaduras y daños en las hojas y los frutos. La instalación de cortinas en los invernaderos es una práctica recomendable para mejorar la productividad y la calidad de los cultivos, así como para reducir el consumo energético y los costes de producción.

El presente trabajo de investigación propone un sistema que permita automatizar el control y supervisión de variables climáticas como la temperatura y humedad, enviando los datos de sensores a la web y activando los actuadores que permiten controlar las cortinas del invernadero experimental de Tunshi perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se presenta los antecedentes de los diferentes tipos de invernaderos que existen en la provincia de Chimborazo. También se describe el planteamiento del problema y la justificación de la investigación referente al diseño de un sistema de ventilación en el invernadero experimental. Para finalizar se presentan los objetivos generales y específicos del proyecto de integración curricular.

#### **1.1. Antecedentes**

La provincia de Chimborazo es una de las provincias de la sierra que lidera la provisión de materia prima para la agroindustria, el mercado de productos agrícolas y pecuarios es muy variable. Por las condiciones favorables en las que se encuentra la zona productora de diferentes cultivos, sin embargo, no ha existido un crecimiento de la productividad de la zona ni una explotación adecuada de la producción bajo invernaderos. Debido a la ausencia de un microclima especial para diferentes tipos de productos agrícolas.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con una estación experimental agrícola y ganadera en Tunshi la cual se encuentra localizada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba y tiene una extensión de 145,5 ha. Su misión es el contribuir con la formación académica, ejecutando actividades de producción y explotación pecuaria.

La agricultura define la necesidad de alimentación de las personas a lo largo del tiempo, debido a diversos factores como las condiciones climáticas han impulsado al ser humano a inventar nuevos métodos de cultivos. El uso de invernaderos es uno de ellos que en la actualidad se aplica, que deben cumplir ciertos parámetros para alcanzar la producción de determinados productos agrícolas. Los cultivos bajo invernaderos en el sector de Tunshi crece exponencialmente, generando como resultado el incremento en la actividad económica del sector y la variabilidad de productos.

En el año 2012, el Ministerio de la Agricultura y Ganadería por sus siglas conocido como MAGAP, inició la construcción de un invernadero con la tecnología necesaria que asegura las

condiciones ambientales óptimas para la producción de semilla de papa, motivando a la zona agricultora a incorporar elementos tecnológicos que faciliten y mejoren los procesos de producción de los cultivos. Por otro lado, en enero de 2015, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias por sus siglas INIAP asume la operación del invernadero para la producción de semilla de calidad mediante la implementación de técnicas especializadas de producción bajo condiciones ambientales controladas con estrictas normas técnicas y de aseguramiento de la calidad.

## **1.2. Planteamiento del problema**

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de ventilación y supervisión de variables climáticas para un invernadero, basado en la web para la estación experimental Tunshi?

## **1.3. Justificación**

Las tecnologías que rodean el correcto funcionamiento de la agroindustria optimizan los procesos de producción, han sido creadas como herramientas mediadoras que facilitan las tareas entre el hombre y la naturaleza, mejorando los resultados de diferentes procesos. El objetivo principal que cumplen los invernaderos es mejorar las condiciones climáticas de la producción agrícola que beneficie al productor y al consumidor final.

La estación experimental de Tunshi cuenta con espacios de producción agrícola y ganadera, respectivamente perteneciente a las facultades de ciencias pecuarias y recursos naturales. Para la facultad de recursos naturales se fomenta la práctica e investigación estudiantil por medio de cultivos experimentales realizados bajo la protección de invernaderos o en áreas libres. Los principales productos que se encuentran son: fresas, moras, duraznos, tomate riñón, y tunas.

Los invernaderos al ser recintos cerrados ofrecen un clima interior diferente al exterior controlando la temperatura para mejorar los cultivos y germinar los productos agrícolas; principalmente, mediante la radiación solar con métodos de retención del aire para proveer un ambiente apropiado para el cultivo aumentando la producción en comparación a los cultivos que se encuentran en la intemperie, debido a un mejor control sobre las condiciones climáticas que se dan en los invernaderos.

Los invernaderos de experimentación se conforman con características específicas para la realización de diversos estudios científicos y experimentales en condiciones controladas. Algunas

de las características más comunes que controlan los invernaderos experimentales son, el clima, sistemas de riego, control de plagas, iluminación artificial y diseño de flujo de aire.

Los sistemas de monitoreo remoto permiten realizar un control y supervisión de las condiciones en las que se encuentran los productos dentro del invernadero, mediante la utilización de dispositivos conectados de forma inteligente para aprovechar los datos recogidos por los sensores y actuadores para de esta forma obtener productos de calidad. Con la finalidad de analizar y optimizar recursos, se utilizan herramientas determinadas, que permitan la accesibilidad de información. Las interfaces web son herramientas que permiten al usuario acceder a componentes visuales e interactivos, para la realización de acciones específicas en las diferentes etapas de producción de los cultivos.

Esta investigación se fundamentó en la aplicación de procesos de control automatizados y de monitoreo remoto de la producción de un invernadero.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar e implementar un sistema de ventilación y supervisión de variables climáticas para un invernadero, basado en la web para la estación experimental Tunshi.

##### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Fundamentar teóricamente las condiciones climáticas que debe mantener un invernadero en un proceso de cultivo experimental.
- Establecer los requerimientos que debe tener el sistema de ventilación y supervisión de las variables climáticas para el invernadero de la estación experimental Tunshi.
- Establecer el diseño que cumpla con los requerimientos para el invernadero experimental.
- Implementar el diseño del sistema de ventilación y supervisión adecuado a las variables climáticas para el envío de datos a la web.
- Validar el prototipo del sistema de ventilación y supervisión de variables climáticas en base a los requerimientos.

La investigación se fundamenta bajo los principios teóricos acerca de los procesos de diseño y manipulación de las cortinas en los invernaderos experimentales, validando y sustentando científicamente el diseño de un sistema funcional que integre un control embebido, mediante la

obtención de datos de acuerdo con sensores en tiempo real que permite el control y supervisión de las variables climáticas bajo el invernadero experimental.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo contiene una revisión de los antecedentes de investigaciones relacionadas con la fundamentación teórica de los invernaderos, la agricultura de la región, invernaderos inteligentes, y el invernadero experimental de Tunshi; así como también el control de variables climáticas en invernaderos, sensores, internet de las cosas, envío de datos a la web, aplicación móvil, comunicaciones inalámbricas, antenas, tarjetas de desarrollo y actuadores.

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

La investigación titulada “Diseño de un sistema embebido para el control de un invernadero” desarrollada por Renato Velastegui Luis, previo a la obtención de su título de grado, llegó a las siguientes conclusiones (Velastegui, 2016):

*El uso de un temporizador controlado desde el controlador en el sistema embebido es necesario en la automatización de tareas, ejecutando procesos cada cierto tiempo, como el regar los cultivos, la ventilación y la generación de calor, preferiblemente de 5 a 10 minutos mínimo de encendido. En una posible interrupción de energía, los actuadores simplemente no responderán hasta que se restablezca la energía (p. 72).*

La investigación titulada “Diseño y construcción de un sistema automático de control y monitorización del microclima de un invernadero para el cantón Penipe-Chimborazo.” desarrollada por Richard Javier Chasiluisa Macias, previo a la obtención de su título de grado, llegó a las siguientes conclusiones (Chasiluisa Macias, 2020):

*Se diseñó y construyó un sistema automático de control y monitoreo de variables de microclima dentro de un invernadero con nuevas tecnologías de comunicación cumpliendo el objetivo general de la investigación, satisfaciendo las necesidades y alcance definidas por el GADM de Penipe (p. 87).*

La investigación titulada “Diseño de un sistema de supervisión y control de parámetros de un invernadero automatizado” desarrollada por Eddy Romeo López Ordoñez, previo a la obtención de su título de grado, llegaron a las siguientes conclusiones (López Ordoñez, 2020):

*El uso de tecnología Wi-Fi, permite que los datos recolectados por los sensores, pueda alcanzarse en un rango de comunicación mayor, sin que el usuario deba estar dentro del invernadero (p. 53).*

La investigación titulada “Construcción de un invernadero con un sistema de control y monitorización de las variables del entorno” desarrollada por Germán Ruano García, previo a la obtención de su título de grado, llegaron a las siguientes conclusiones (Ruano García, 2017):

*En los datos observados de las mediciones del proyecto, se ha podido obtener que normalmente la temperatura interior con respecto a la exterior suele variar entre 1 y 2°C, también la humedad, la cual en el interior suele ser alrededor de un 25% superior en el interior de la estructura (p. 56).*

La investigación titulada “Prototipo de un sistema de automatización de ventilación y riego de un invernadero” desarrollada por Sandra Carmita Alvarado Argudo, previo a la obtención de su título de grado, llegaron a las siguientes conclusiones (Alvarado Argudo, 2010):

*Puedo indicar que se ha cumplido con todos los requerimientos propuestos para la realización del sistema, además se podrá verificar la creación del software el cual encierra los objetivos planteados cumpliendo así lo propuesto y mejorando la activación y control de los procesos dentro de los invernaderos (p. 97).*

La investigación titulada “Diseño de un sistema de monitoreo para un Invernadero experimental basado en una red de Sensores” desarrollada por Jhordy Merlin Pozo Gonzales, previo a la obtención de su título de grado, llegaron a las siguientes conclusiones (Chiluisa Moreno & Tibán Moreno, 2020):

*Es claro que, debido al crecimiento exponencial de Internet y el desarrollo de software, los sistemas de monitoreo se puedan implementar sobre aplicaciones web. En ese sentido, la adopción de tecnologías estándares, como Web Services REST, permiten garantizar la interoperabilidad del sistema de monitoreo, tal como se ha demostrado durante las pruebas de integración explicadas en la sección 4.2.4. (p.68)*

Las investigaciones previas justifican la factibilidad del presente trabajo, fundamenta el desarrollo del diseño de un sistema de adquisición de datos para monitorear un sistema de ventilación mediante cortinas automáticas para el invernadero experimental de la estación experimental Tunshi.

## **2.2. Invernaderos**

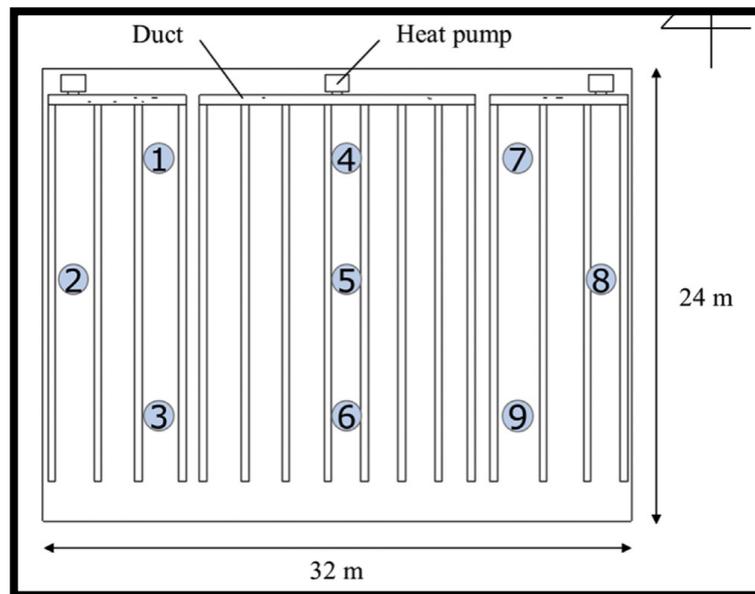
Inicialmente los invernaderos fueron construidos con camas móviles para los cultivos. En el siglo XV en el norte de Italia y en el Sur de Alemania, fueron comunes el uso de cabañas para la protección en invierno y temporadas de frío. En el siglo XVII los invernaderos Orangerie, estaban de moda en Europa reemplazando gradualmente a las cabañas de invierno. Los materiales como polietileno, poliestireno o PVC fueron muy utilizados para su construcción. En la segunda guerra mundial aparecieron los plásticos rígidos como el poliéster en EEUU y Europa. (López Hernández y Pérez Parra, 2006)

Los primeros invernaderos experimentales construidos en Europa en el siglo XVII, tenían el objetivo de cultivar plantas exóticas que no podían crecer en el clima local. Estos primeros invernaderos eran estructuras de vidrio o madera que permitían el paso de la luz solar y el calor, y a menudo eran utilizados por la realeza y los aristócratas. A medida que la ciencia y la tecnología avanzaron, los invernaderos experimentales se convirtieron en herramientas importantes para la investigación en agricultura, biología y otros campos relacionados con las plantas. En la actualidad, los invernaderos experimentales se utilizan para estudiar el efecto de diferentes factores ambientales en el crecimiento y desarrollo de variedad de plantas, para que sean más resistentes a enfermedades y condiciones climáticas adversas (Price, 2010).

En la actualidad los materiales de construcción de invernaderos según (Serrano Cermeño, 2005) son plástico, vidrio, policarbonato, mallas de sombreado, madera y metal. La fabricación tradicionalmente es por medio del suelo enarenados y luego bajo la utilización de plástico. Los cultivos protegidos dieron lugar a la inversión de instalaciones tecnológicas y la valoración de nuevos mercados con productos de mayor calidad y menor tiempo de producción. En la década de los noventa la progresión de materiales generó accesibilidad a un mayor número de productores que permitió mejorar las infraestructuras con mayor cualificación profesional y técnica (Castillo Navarro, 1998).

Los invernaderos experimentales son una herramienta importante para la investigación científica en la agricultura, botánica y biología de plantas, y permiten a los investigadores estudiar el efecto de diferentes condiciones ambientales en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Para este

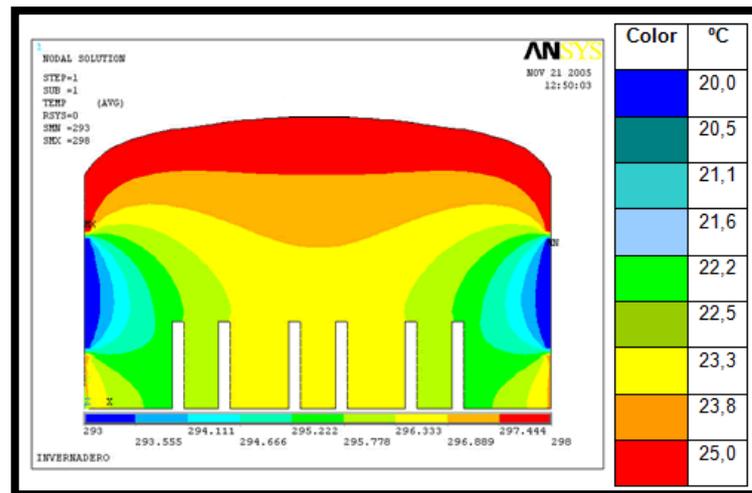
estudio, se utilizan equipos de medición y sensores que permitan obtener datos relacionados al clima en determinados instantes de tiempo. Por lo tanto, el tipo y la posición de los sensores dentro de los invernaderos es un aspecto crítico para garantizar un ambiente de cultivo óptimo y eficiente. Una buena ubicación de los sensores permite mediciones más precisas y confiables y contribuye a un mejor control del ambiente, lo que se traduce en una producción de cultivos más exitosa. La Ilustración 1-2 muestra un estudio realizado para evaluar diferentes ubicaciones de los sensores dentro de 3 invernaderos. Este estudio concluye que los sensores del segundo invernadero con las posiciones 4 y 5 son óptimos para medir la variabilidad de la temperatura. Además, la posición del sensor 6 es adecuada para evaluar valores nocturnos (Lee y otros, 2019).



**Ilustración 1-2:** Posición de sensores

Fuente: (Lee y otros, 2019)

Por medio del estudio realizado por (Briceño & Jaimez, 2008) se define que la distribución de calor generado en un invernadero, el cual, se asemeja a las características de construcción de los invernaderos de Tunshi. Por tanto, al existir una ventilación natural por medio de las cortinas las zonas más frías del invernadero son los extremos laterales y las zonas en donde se concentra el calor a una temperatura constante son en lo alto del invernadero. Esto se puede visualizar en color amarillo en la Ilustración 2-2.



**Ilustración 2-2:** Posición de sensores.

Fuente: (Lee y otros, 2019)

La medición de la temperatura a 2 metros de altura en un invernadero puede proporcionar información útil sobre la temperatura en la parte superior del invernadero y en el aire circundante para el desfogue de calor. A demás se considera la altura de las plantas. Sin embargo, esta medición no debe ser la única forma de monitorear la temperatura en el invernadero, ya que la temperatura a nivel del suelo y alrededor de las plantas puede ser muy diferente y es igualmente importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se recomienda medir la temperatura en varios puntos del invernadero y a diferentes alturas, como cerca del suelo y a la altura de las plantas, para obtener una lectura más precisa de la temperatura ambiental (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de México (SIAP), 2015).

### 2.2.1. *Agricultura de la región*

Según la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (2010-2030), nuestro país es considerado como uno de los 17 países megadiversos del planeta, ya que tiene ecosistemas de importancia como son: manglar, páramo, bosque húmedo tropical amazónico, bosque seco, bosque nublado, entre otros. La geografía, los hábitats, las etnias, lenguas y culturas, la marcada estratificación económica y social que existe en el país constituyen las piezas clave de un verdadero mosaico de conocimientos y diferentes prácticas alimentarias (Moya, 2010).

Los invernaderos en Ecuador son muy importantes para la producción de cultivos en diferentes regiones del país. Debido a su ubicación en la línea ecuatorial, Ecuador tiene un clima tropical y subtropical, lo que lo convierte en un lugar ideal para cultivar una amplia variedad de frutas, verduras, flores y plantas ornamentales. También se utilizan diferentes tecnologías, como

sistemas de riego por goteo, calefacción y ventilación controlada, para crear las condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos (Economía, 2017).

En el valle interandino del Ecuador, la agricultura comercial es a través de monocultivos que tiende a hacerse insostenible debido a la creciente degradación de los suelos y el agua; además, de la inestabilidad en los precios del mercado para comercializar estos productos. Por este motivo es necesario generar soluciones diversificando los sistemas agro-productivos, mediante la utilización de recursos, y mejora de las condiciones climáticas, sin considerar limitaciones de relieve y suelos (Wilfredo et al., 2016).

### **2.2.2. *Invernaderos inteligentes experimentales***

La integración de tecnología en la agricultura permite generar invernaderos inteligentes, los cuales son efectivos para controlar las variables climáticas en condiciones severas, además de agregar valor a los productos. En los invernaderos, el ambiente ideal que se puede utilizar en los diversos cultivos se obtiene mediante la aplicación de: calentadores, humidificadores, ventiladores, dióxido de carbono generadores, suministro de agua y otros (KazuhisaIto y Tsubasa , 2021).

Los parámetros como la temperatura resultan claves para los invernaderos, ya que, dependen de los requerimientos de los cultivos. Para ello se emplean sensores que permiten el control y monitoreo, ya que, el crecimiento y desarrollo de los cultivos se detienen por debajo de los 10-12 grados Celsius y por encima de los 30-32 grados Celsius. Además, la humedad relativa dentro de un invernadero interviene en: la transpiración, el crecimiento de los tejidos, la fecundación y también en el desarrollo de enfermedades criptogámicas (López Ordoñez, 2020).

Los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control del invernadero inteligente contemplan la estructura física, sistemas de ventilación, sistema de humidificación, sistema de riego y suministro de nutrientes. Estos sistemas están compuestos por sensores, actuadores y un controlador que regulan las variables del microclima dentro del invernadero (Cepeda Rode, 2010).

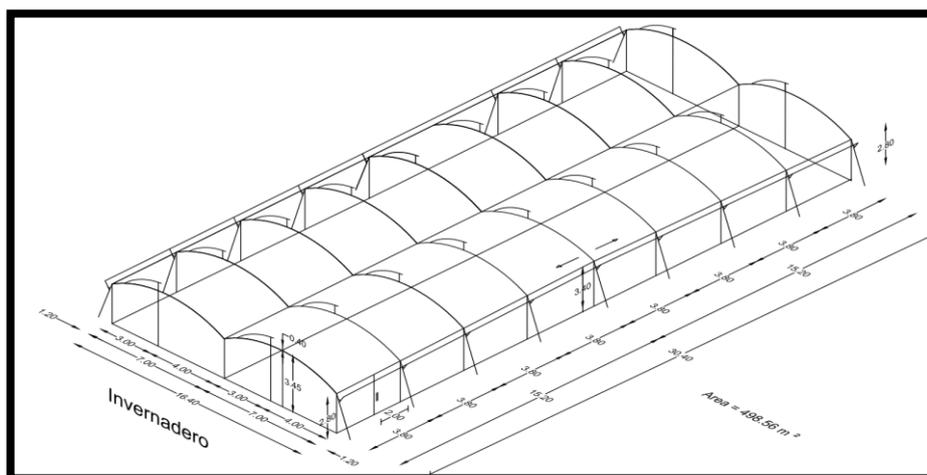
Las cortinas en los invernaderos tienen como principal objetivo la liberación del aire cuando están abiertas y la conservación del calor cuando están cerradas. La incidencia de los rayos solares que traspasan el material que recubre la estructura, permiten calentar el entorno del invernadero para que los cultivos crezcan en menor tiempo de producción. Los parámetros de temperatura en el transcurso del día tienen variaciones, y el objetivo es mantener una temperatura promedio estándar (López de Paz, 2016).

### 2.3. Invernaderos experimentales de Tunshi

La estación experimental de Tunshi contribuye con la formación académica, por medio de la investigación, vinculación con el medio externo para construir una sociedad politécnica con enfoque en el buen vivir. En la actualidad la estación de Tunshi tiene 7 invernaderos experimentales con los siguientes productos: fresas, tomates riñón, hojas de pencas de tunas con cochinillas, plantas medicinales; las dimensiones de su infraestructura dependen de cada invernadero (ESPOCH, 2022).

El invernadero experimental seleccionado cuenta con plantaciones de tomate, en el cual, se evalúan las variables climáticas adversas, así como la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad de este cultivo, reflejando pérdidas en la producción. La densidad de siembra será, en conjunto con otras técnicas de cultivos, un factor determinante para la interceptación de radiación solar, a fin de convertir la energía solar en biomasa. Considerando el rendimiento mediante un índice de productividad en la eficiencia de agua, altura de la planta promedio, temperatura y humedad relativa (Cruz Carrillo et al., 2003).

La construcción del invernadero experimental tiene un área neta de 498,56 m<sup>2</sup>. La estructura está formada de tubos metálicos galvanizados de 2 pulgadas de diámetro por 1,5 mm de grosor y de 2 pulgadas de diámetro por 2 mm de grosor. Está recubierto con plástico israelita calibre 6 para techo y paredes, y de plástico israelita calibre 8 para los canales. Las cortinas utilizan cables de acero de 3 mm y 2 mm, en conjunto con demás elementos como los pernos, argollas y carcasas metálicas. En la Ilustración 3-2 se muestra el diseño estructural del invernadero experimental de Tunshi.



**Ilustración 3-2:** Diseño estructural del invernadero experimental de Tunshi

Fuente: Ing. Víctor Lindao Córdova, 2022

El sistema de ventilación del invernadero experimental tiene las cortinas de 22.70m x 1.68m, que según los expertos permiten el flujo adecuado de aire para controlar el microclima. Esto se muestra en la Ilustración 4-2.



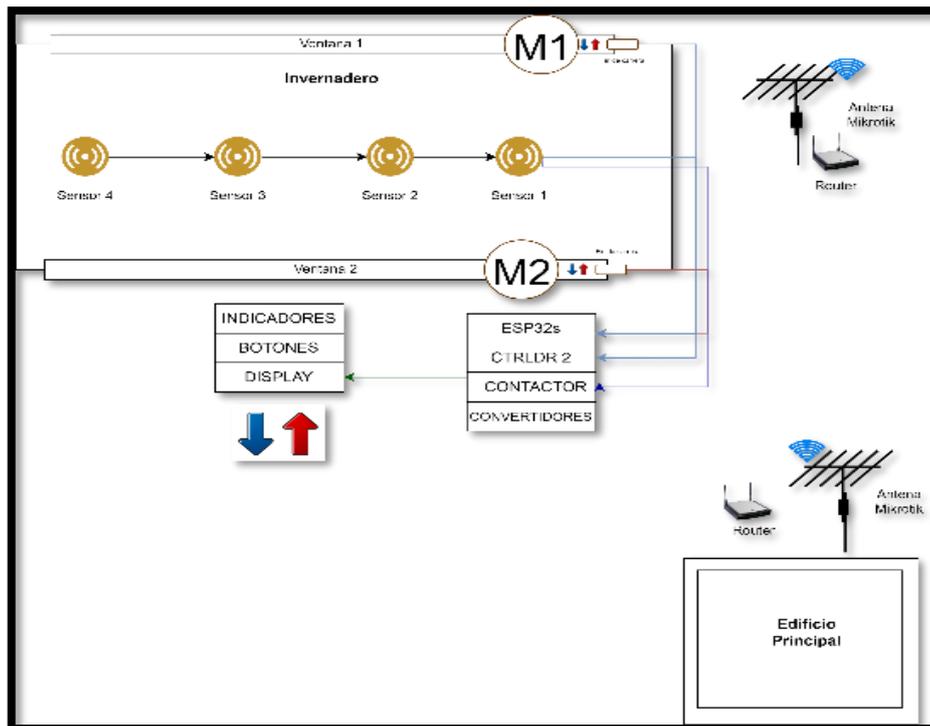
**Ilustración 4-2:** Cortinas del invernadero de la estación experimental Tunshi

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

El invernadero tiene como principal objetivo proveer de un microclima para mantener y controlar la temperatura óptima para el crecimiento de los cultivos en el tiempo de producción, lo que permite extender las cosechas en consideración en las épocas de escasas con antelación. Los materiales de construcción del invernadero dependen de características como: el espacio del suelo, el tipo de cultivo, el tamaño y del entorno socioeconómico (Melo Paredes & Valverde Macao, 2017).

Para el invernadero experimental de Tunshi, los expertos han decidido acoplar el sistema de ventilación natural, por medio de la apertura y cierre de las cortinas entre el 0% y 90% en función de la temperatura interna, para generar el microclima adecuado para que las plantaciones se conserven en los rangos establecidos.

En la Ilustración 5-2 se presenta el diseño general y los componentes para el control del sistema. Se dispone de sensores que permiten enviar la información a los controladores que accionan los actuadores para subir o bajar las cortinas, de acuerdo con los parámetros establecidos en la programación. Además, el sistema se puede supervisar de forma remota mediante el envío de datos a la web, para lo cual, se dispone de la utilización de antenas para la comunicación inalámbrica.



**Ilustración 5-2:** Diagrama del diseño del invernadero inteligente

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

#### 2.4. Internet de las cosas (IoT) en invernaderos

Los invernaderos son lugares donde se cultivan plantas protegiéndolas de condiciones climáticas extremas y otros factores ambientales. Con el uso de Internet de las cosas (*IoT por sus siglas en inglés*), es posible monitorear y controlar los parámetros ambientales de un invernadero de manera remota y eficiente. Los parámetros ambientales para evaluar son críticos para el crecimiento de las plantas, como: la temperatura, la humedad, la luz y la ventilación. Los sensores y actuadores instalados en el invernadero envían datos en tiempo real a una plataforma en la nube que los analiza y presenta información sobre el estado del invernadero. Esto permite una gestión más eficiente de los recursos y una optimización en el crecimiento de las plantas, que reduce los costos e incrementa la productividad en la agricultura. En resumen, los invernaderos con IoT son una solución innovadora y tecnológica para mejorar la producción de cultivos en un entorno controlado (Tao y otros, 2021).

La industria digital en la actualidad tiene como objetivo crear organizaciones inteligentes interconectadas para mejorar los procesos de automatización, control, monitoreo, comunicación y globalización; comunicando directamente los procesos por (IoT), para la interconexión de diferentes áreas de producción (Tipan Tuitise, 2020).

Las páginas web pueden ser una herramienta muy útil para supervisar las variables climáticas en invernaderos. Al utilizar sensores y otros dispositivos de IoT, se pueden recopilar datos sobre la temperatura, la humedad, la luz y otros parámetros ambientales en tiempo real. Luego, estos datos se pueden enviar a una plataforma en la nube y presentarlos en una página web para supervisión remota (Ruíz-Canales, 2018).

Es posible actualizar o renovar las herramientas de trabajo persiguiendo el mismo objetivo de producción, en todo lo referente a maquinaria que facilite y desarrolle este proceso. Es aquí donde surge la importancia de la automatización en la agricultura (Fajardo Rozo & Leal Acero, 2020).

#### **2.4.1. *Envío de datos a la Web***

El objetivo es realizar una comunicación con cualquier “cosa” u “objeto” en el mundo mediante una identidad única. En el Internet de las cosas, los sensores y actuadores están integrados en objetos físicos, desde carreteras hasta marcapasos, se conectan a través de redes cableadas e inalámbricas, a menudo utiliza la misma dirección IP con la que se conectan al Internet (Somayya et al., 2015).

La comunicación inalámbrica hace referencia a la transmisión de información sin necesidad de cables físicos, utilizando señales de radio, infrarrojas, satélites, ondas de luz, entre otras tecnologías. Esta forma de comunicación es muy común en la actualidad y permite a los dispositivos conectarse y comunicarse entre sí de manera remota (Espinoza et al., 2015).

El mercado ofrece una gran variedad de dispositivos orientados a las tareas de adquisición de datos y monitoreo de variables físicas ambientales. Estos dispositivos, tienen la capacidad de trabajar en forma distribuida y generar una gran variedad de topologías de redes de comunicación cableadas, por medio de protocolos como: RS-485, HART, Profibus, Ethernet and Modbus. Y ahora también de forma inalámbrica, resaltando protocolos de comunicación como: Bluetooth, USB Wireless, Zigbee y Wifi entre otros (Cázar Ayala et al., 2012).

### **2.5. Control de variables climáticas en invernaderos**

Permite mantener el microclima para las plantaciones, el mismo que se define como el conjunto de condiciones climáticas propias de un punto geográfico o área reducida que tiene como finalidad la modificación local del clima general de la región debido a la influencia de distintos factores ecológicos. Esto ocurre debido a cubiertas que se realizan a vegetaciones modificando los parámetros climáticos y creando un microclima cuyas particularidades dependen del clima

general y de las características estructurales de la cubierta vegetal. Por la alta acumulación de biomasa y las dimensiones de las plantaciones, se tiene una considerable influencia en los intercambios de energía entre la atmósfera y el suelo. El crecimiento de las plantas dentro de un invernadero se ve afectado por la temperatura del aire, la radiación solar y la humedad relativa ambiente debido a que influyen sobre procesos fisiológicos tales como: la fotosíntesis, la respiración, la germinación de semillas y la mortalidad (Promis et al., 2010). Por los factores antes mencionados es necesario hacer un estudio más profundo de cada uno de ellos, por lo que a continuación se detallan:

### **2.5.1. *Temperatura***

Los cultivos tienden a sufrir daños si la temperatura dentro del invernadero es demasiado alta o baja. La cortinas y ventilación ayudan a controlar la temperatura en el interior del invernadero. Los rangos de temperatura son considerados de gran importancia para que las plantaciones germinen, reduciendo tiempos de producción. Las bajas temperaturas en invierno disminuyen la productividad. En verano las intensidades de luz extremas pueden inhibir el crecimiento y las temperaturas elevadas pueden incluso provocar el colapso del cultivo (Bruno et al., 2022)

### **2.5.2. *Humedad relativa ambiente***

Al evaluar variables de temperatura se obtienen a la par niveles de humedad relativa (HR) fluctuantes; a menudo, son valores elevados en invernaderos modernos altamente aislados. A alta temperatura, el déficit de presión de vapor de agua (*VPD por sus siglas en inglés*) suele ser alto y, en consecuencia, la HR baja y viceversa.

Los puntos de referencia fijos relativamente bajos oscilan entre 80 y 85% para la humedad del aire. En la práctica común, pueden influir fuertemente en la eficiencia del invernadero, porque se requieren acciones de calefacción y/o ventilación para controlar la humedad, lo que requiere de mucha energía.

La fluctuación de la HR puede afectar el rendimiento del cultivo de varias maneras. Un VPD demasiado bajo puede reducir el crecimiento debido a la baja transpiración y los trastornos fisiológicos asociados. La presión del vapor de agua por encima del punto de rocío conduce a la condensación en el tejido vegetal relativamente más frío y esto puede dar lugar a enfermedades. Un alto VPD, por otro lado, puede inducir una alta resistencia estomática y estrés hídrico de la planta (*PWS por sus siglas en inglés*) (Challa y Korner, 2003).

## 2.6. Tipos de sensores

Son dispositivos que convierten una magnitud física (como temperatura, luz, presión, entre otros) en una señal eléctrica. Estas señales eléctricas se utilizan para medir, controlar o monitorear procesos en una amplia variedad de aplicaciones en la industria, la ciencia, la medicina y otros campos. Los sensores son cada vez más importantes en la tecnología moderna, ya que proporcionan datos precisos y en tiempo real, lo que permite optimizar procesos y mejorar la calidad de vida. Los sensores pueden ser de diferentes tipos, según el principio físico que utilizan para detectar la magnitud física, y pueden combinarse para obtener mediciones más precisas y complejas (MCGrath & Scanaill, 2013).

Para el presente estudio, se realiza una investigación los tipos de sensores de temperatura y humedad para medir condiciones ambientales en un entorno determinado. Su diseño permite funcionar de forma autónoma, y pueden transmitir los datos medidos a través de señales eléctricas para su posterior análisis y control (Creus, 2011).

- a) **Termohigrómetros:** son sensores que miden simultáneamente la temperatura y humedad relativa del aire. Estos sensores se utilizan comúnmente en aplicaciones de monitoreo ambiental y en la industria alimentaria.
- b) **Termómetros digitales:** son sensores que miden la temperatura ambiente y proporcionan una lectura digital precisa. Estos sensores se utilizan comúnmente en aplicaciones de control ambiental en edificios, hospitales y laboratorios.
- c) **Sensores de temperatura de resistencia (RTD):** además de ser utilizados para medir la temperatura de procesos industriales, también se utilizan para medir la temperatura ambiente. Los sensores RTD proporcionan una precisión muy alta y estabilidad a largo plazo.
- d) **Termopares:** además de ser utilizados para medir la temperatura de procesos industriales, también se pueden utilizar para medir la temperatura ambiente. Los termopares son adecuados para medir temperaturas extremadamente altas o bajas.
- e) **Sensores capacitivos de temperatura y humedad relativa:** estos sensores miden la temperatura y humedad relativa del aire midiendo la capacitancia entre dos electrodos. Los sensores capacitivos son precisos y estables en una amplia gama de condiciones ambientales.
- f) **Sensores de resistencia de película delgada (TFE):** estos sensores miden la humedad relativa midiendo la resistencia eléctrica de una película delgada. Los sensores TFE son precisos y estables en una amplia gama de condiciones ambientales.

La investigación señala que los sensores capacitivos de humedad y temperatura relativa son los más utilizados para medir la humedad relativa del aire. Es necesario la utilización de un sensor que permita la lectura de los valores de temperatura y humedad necesarios para controlar el microclima del invernadero experimental.

## 2.7. Comunicaciones inalámbricas

Los módulos de comunicación inalámbrica inician con la creación de un servidor web, donde se gestionará la información, por medio de un microcontrolador encargado de la configuración y la comunicación remota. Esta comunicación permite conectar los dispositivos móviles para transmisión y recepción de la información (De La Ossa De La Espriella y De La Cruz Vega, 2016).

En la Tabla 1-2 se presentan las principales características de las comunicaciones inalámbricas de mayor relevancia, para el monitoreo remoto del invernadero, en base a las características de transmisión y velocidad en los datos.

**Tabla 1-2:** Comparación de comunicaciones inalámbricas

Características	WiFi	ZigBee	Bluetooth	Radiofrecuencia
Consumo de corriente	3500 mA	30 mA	65-170 mA	115 mA
Velocidad	54 Mbps	0,250 Mbps	1-3 Mbps	250 kbps, 1 Mbps o 2Mbps
Potencia	40-200 mW	1-2 mW	1-100 mW	60 mW
Frecuencia de radio	2,4 GHz	0,868; 0,915; 2.4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Rango	30-100 m	100 m	15 m	1000 m
Estándar IEEE	802,11	802,15,4	802,15,1	C95,1-2005
Infraestructura	Si	No	No	No

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

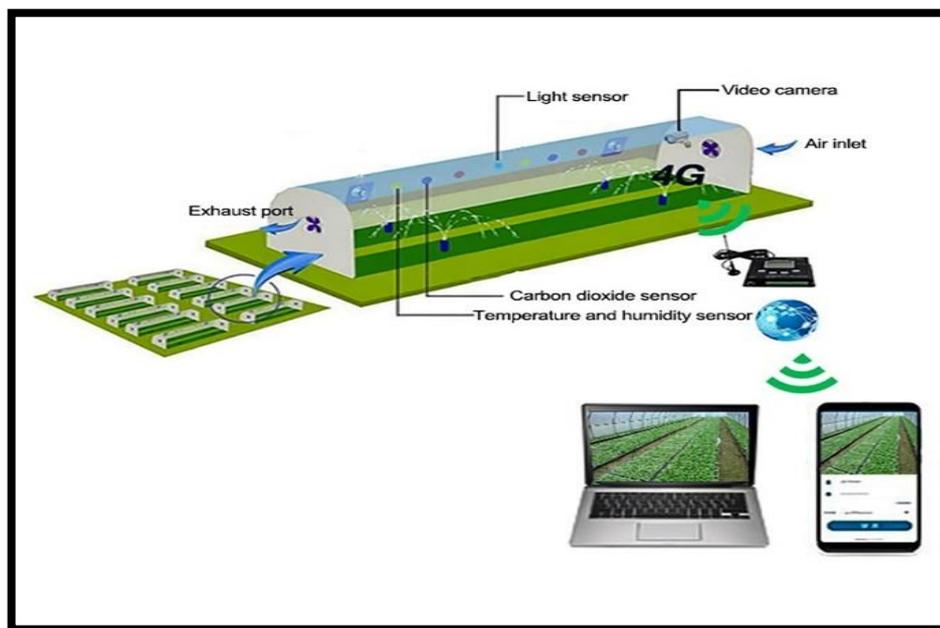
De acuerdo con la Tabla 1-2, se identifica que la comunicación WiFi tiene una mayor velocidad de transmisión, lo que reduce la latencia de la información y facilita el envío de datos a la Web. Además, se considera que el invernadero de experimentación de Tunshi pertenece a una institución de educación superior, por tanto, cuenta con una red WiFi de educación para diversos proyectos.

### 2.7.1. Aplicación móvil

El monitoreo remoto permite visualizar al usuario u operario las condiciones actuales del invernadero, en base a diferentes parámetros que permitan realizar correcciones e inspecciones.

Además, adapta técnicas de medición con diferentes sensores, para que los datos se puedan almacenar en una memoria física y mediante un módulo de comunicación se envíen los datos recolectados a la web. La información obtenida también se almacena en un servidor web, el cual gestiona una base de datos encargada de recibir y ordenar los datos de temperatura y humedad del invernadero; así mismo el servidor se configura para realizar el tratamiento de los datos almacenados, con el fin de darles un formato gráfico y disponerlos en una página Web accesibles mediante un enlace URL (Rodríguez et al., 2015).

Un ejemplo del proceso de supervisión remota se puede observar en la Ilustración 6-2.



**Ilustración 6-2:** Monitoreo remoto de las condiciones de un invernadero

Fuente: (Shijiazhuang , 2020)

Para la aplicación se realizó un estudio del uso de los dispositivos Android en Ecuador y según (StatCounter, 2022) Android tuvo una participación del mercado del 81,66% mientras que iOS, el sistema operativo de iPhone, tuvo una participación del 17,61% en América del Sur. Esto sugiere que la mayoría de los dispositivos móviles en Ecuador probablemente utilizan Android como su sistema operativo.

En la Tabla 2-2 se muestran algunas plataformas más usadas para la creación de páginas Web. De acuerdo con las características se puede observar que la plataforma App Inventor permite satisfacer las necesidades de una creación de aplicación web, porque tiene una licencia de código libre y está disponible en de manera gratuita.

**Tabla 2-2:** Características principales de interfaces para creación de aplicaciones web

Características	Android Studio	App inventor	Appy Pie
Software	Libre/Pago	Gratuito y código abierto	Libre/Pago
Multiplataforma	Java, Kotlin y C++	Si (java web start)	No
Interfaz	Intuitiva	Visual	Intuitiva
Conocimientos previos de la aplicación	Si	No	No
Compatibilidad	Android	Android	Android/Ios
Acceso de <i>Hardware</i>	No	Cámara, acelerómetro y el GPS	No
Compatibilidad	Problemas con versiones de Java	Si	Limitaciones con algunos dispositivos
Desarrollada por	Google	Google	Abhinav Girdhar

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En base al estudio realizado por la Tabla 2-2 se concluye con que *app inventor* es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles que tiene numerosos beneficios, presentando facilidad en el lenguaje de programación, además de permitir la vinculación con dispositivos Android, y como principal prestación de servicios es una herramienta gratuita, lo que significa que cualquier persona puede usarla sin coste alguno. Por último, ofrece una gran cantidad de recursos y tutoriales para ayudar a los usuarios a crear aplicaciones personalizadas de manera efectiva. En general, App Inventor es una herramienta útil y accesible para crear aplicaciones móviles.

## 2.8. Antenas

Las antenas se utilizan para extender la cobertura de la señal inalámbrica Wifi existente, que permite mejorar la conectividad y el rendimiento de una red. Estas antenas están diseñadas para mejorar la ganancia y el alcance de la señal, que ayuda a superar los obstáculos y las interferencias. Las antenas para replicar Wifi se utilizan comúnmente en entornos domésticos, empresariales y al aire libre. Pueden ser omnidireccionales o direccionales según el alcance y la dirección de la señal requerida. Al elegir el tipo de antena adecuado, se puede mejorar significativamente la cobertura y el rendimiento de la red inalámbrica, a su vez mejora la productividad y la experiencia del usuario en general. A continuación, se describen algunos tipos de antenas que se utilizan comúnmente:

- a) Antena omnidireccional: estas antenas irradian la señal en todas las direcciones, que es ideal para mejorar la cobertura de la señal en un área determinada. Son fáciles de instalar y se utilizan comúnmente en entornos domésticos y pequeñas empresas.

- b) **Antena direccional:** están diseñadas para transmitir y recibir señales en una dirección específica, que puede ser útil para enviar la señal a un área específica o para conectarse a un punto de acceso remoto. Son comúnmente utilizadas en entornos empresariales y en exteriores.
- a) **Antena de rejilla:** son antenas direccionales que se utilizan comúnmente en exteriores. Están diseñadas para enviar y recibir señales en una dirección específica, lo que las hace ideales para conectar edificios separados por una distancia considerable.
  - b) **Antena parabólica:** se utilizan para replicar señales Wifi en grandes áreas y en aplicaciones de largo alcance. Estas antenas tienen una forma de plato y son altamente direccionales, que les permite enviar y recibir señales a grandes distancias.
  - c) **Antenas de punto a punto:** tipo de antenas diseñadas para transmitir y recibir señales de radiofrecuencia (RF) de un punto a otro, a través de un enlace inalámbrico directo y sin obstáculos intermedios. Estas antenas se utilizan comúnmente en redes de área local inalámbricas (WLAN) y redes de área extensa inalámbricas (WAN), para conectar edificios separados, ubicaciones remotas y enlaces de larga distancia (Garg, 2001).

Las antenas direccionales tienen una mayor ganancia, menor susceptibilidad a interferencias, mayor seguridad, mayor eficiencia y capacidad en comparación con las antenas omnidireccionales. Las antenas punto a punto son un tipo de antenas direccionales para transmisión y recepción de señal de radiofrecuencia que se utilizan para conectar dos puntos en una red inalámbrica de manera directa.

Agregar alguna imagen de las antenas.

## 2.9. Tarjetas de desarrollo

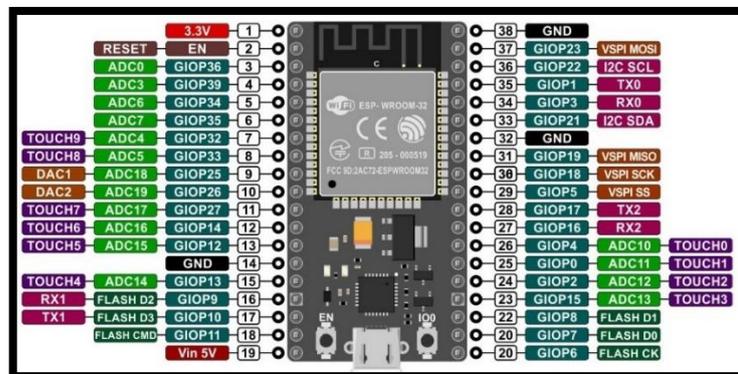
Son dispositivos eléctricos capaces de llevar los procesos lógicos, bajo comandos escritos en un lenguaje de programación. Están conformados por un circuito integrado que incluye todos los elementos de un computador con alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Contiene un procesador, memoria RAM, memoria de programación tipo ROM, PROM o EPROM, líneas de entradas y salidas de comunicación con el exterior, módulos de control de periféricos y generador de impulso de reloj (Barra Zapata y Barra Zapata, 2015).

Existen diversos tipos de tarjetas gráficas como las presentadas a continuación (Monk, 2015):

- a) **Arduino:** es una plataforma de código abierto que se utiliza para crear proyectos interactivos y robots. Arduino cuenta con una gran comunidad de usuarios y ofrece una variedad de placas de desarrollo para diferentes aplicaciones.
- Versátil
  - Fácil de usar
  - Bajo costo
  - *Open source*
  - Amplia comunicación
  - Conectividad
  - Amplia variedad de sensores y actuadoras
- b) **Raspberry Pi:** es una computadora de placa única (SBC) que se utiliza para proyectos de Internet de las cosas (IoT), servidores, media centers y otros. Raspberry Pi cuenta con una gran cantidad de entradas y salidas, así como con una comunidad activa y una amplia selección de accesorios.
- Bajo costo
  - Bajo consumo energético
  - Flexibilidad
  - Gran comunicación de usuarios
  - Puertos de conectividad USB, HDMI, ETHERNET, WiFi y Bluetooth
- c) **BeagleBone:** es otra SBC que se utiliza para proyectos de IoT y robótica. BeagleBone cuenta con una gran cantidad de entradas y salidas, así como con soporte para diferentes sistemas operativos y una comunidad activa.
- Potente procesador
  - Amplias opciones de conectividad
  - Memoria ram de 512MB a 1GB
  - Lenguajes de programación Python, C++, JavaScript, etc
  - Ampliabilidad
  - Comunicación activa
- d) **MCU:** son placas de desarrollo que se enfocan en el uso de microcontroladores. Estas tarjetas integran en un solo circuito todos los componentes necesarios para controlar un sistema embebido, como una CPU, memoria, entradas y salidas (E/S), y otros periféricos como Iot. Son ampliamente utilizadas en proyectos de electrónica y sistemas embebidos debido a su versatilidad y facilidad de uso.
- Integración de módulo WiFi, memoria CPU, entradas y salidas, temporizadores, ADC, DAC y otros.
  - Bajo costo

- Compatibilidad con el entorno de Arduino
  - Bajo consumo energético
  - Alta capacidad de rendimiento
  - Capacidad de control en tiempo real
- e) **Teensy:** es una serie de placas de desarrollo basadas en microcontroladores de la familia ARM Cortex-M, que se utilizan para proyectos de audio, MIDI, control de motores, entre otros.
- Velocidad de procesamiento de 48MHz a 600MHz
  - Tamaño compacto
  - Gran cantidad de pines de entrada y salida
  - Conexión USB nativa
  - Compatibilidad con el entorno de Arduino
  - Soporte en múltiples idiomas y tipos de programación como C, C++ y MicroPython

Las tarjetas MCU integran un microcontrolador con un chip que contiene una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y periféricos, en una sola placa. Esto simplifica el proceso de diseño, reduce el costo y el tamaño del sistema, porque se eliminan los circuitos impresos y los cables de conexión. Además, las tarjetas MCU suelen contar con una variedad de interfaces para periféricos, como sensores, actuadores, pantallas y dispositivos de entrada y salida, que permite una mayor flexibilidad en el diseño de soluciones integradas como la incorporación de Wifi en sus tarjetas de procesamiento. Por lo tanto, utilizar tarjetas MCU puede reducir significativamente el tiempo y el costo de desarrollo de proyectos electrónicos, y permitir la creación de sistemas más eficientes y versátiles. En la Ilustración 7-2 se muestra la tarjeta ESP32s perteneciente al grupo de las MCU.



**Ilustración 7-2:** Tarjeta ESP32s MCU

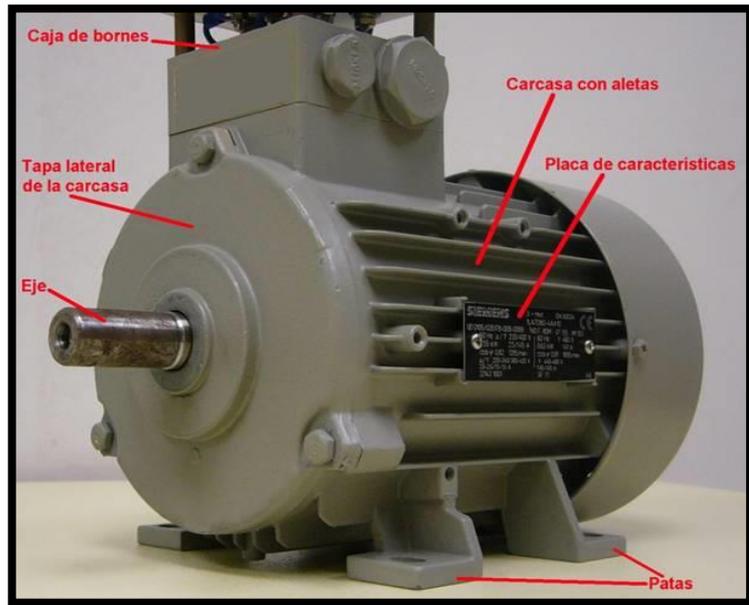
Fuente: (Asanza, 2022)

## 2.10. Actuadores

Los motores AC (corriente alterna) son motores que funcionan con una fuente de alimentación de corriente alterna y comúnmente se utilizan en aplicaciones industriales y comerciales. Algunos tipos de motores AC más comunes según (Hughes, 2013) son:

- a) **Motor de inducción:** es el tipo de motor AC más común y se utiliza ampliamente en aplicaciones industriales y comerciales. Estos motores utilizan un campo magnético rotativo generado por la corriente alterna para producir un par de torsión y hacer girar el rotor.
- b) **Motor síncrono:** el campo magnético del estator gira a la misma velocidad que el rotor. Estos motores son ideales para aplicaciones que requieren una velocidad constante, como en la generación de energía eléctrica.
- c) **Motor de reluctancia:** funciona mediante la atracción del rotor hacia la posición en que la reluctancia (la resistencia del material a la circulación de un campo magnético) es mínima. Estos motores se utilizan en aplicaciones que requieren un alto par de torsión a velocidades bajas.
- d) **Motor de imán permanente:** utiliza un rotor con imanes permanentes en lugar de un campo magnético generado por la corriente alterna en el estator. Estos motores son conocidos por su alta eficiencia y se utilizan en aplicaciones que requieren un alto par de torsión a velocidades bajas o medias.
- e) **Motor jaula de ardilla:** tipo de motor eléctrico de corriente alterna (AC) que se utiliza comúnmente en una amplia variedad de aplicaciones industriales y comerciales. El nombre se refiere a la apariencia de su rotor, que está hecho de una serie de barras de cobre o aluminio dispuestas en forma circular y conectadas a anillos extremos. Esta estructura se asemeja a una jaula o rueda de ardilla (Sapena Bañó, 2017).

Los motores de jaula de ardilla son populares debido a su diseño simple y robusto, que los hace confiables y económicos de fabricar y mantener. Además, tienen una alta eficiencia y son capaces de proporcionar un par de torsión constante y uniforme, siendo ideales para estas aplicaciones que requieren una velocidad constante, como ventiladores, bombas, compresores y transportadores. La ilustración 8-2 muestra las partes de un motor jaula de ardilla.



**Ilustración 8-2:** Partes del motor jaula de ardilla

**Fuente:** (Rodríguez, 2012)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se presenta los siguientes contenidos: requerimientos del diseño, consolidación general del sistema, realidad de la zona, diseño de las etapas del sistema, etapa de alimentación, etapa de comunicación, etapa de adquisición de datos, etapa de accionamiento, diseño, del mecanismo de las cortinas, etapa de procesamiento, implementación del bloque de alimentación, implementación de obtención de datos, implementación de sensores, dispositivos de procesamiento, antenas, dispositivos de activación de actuadores, diagrama de conexión para el invernadero experimental, diseño PCB, caja térmica central, implementación de antenas y *router*, requerimientos del diseño de *software*, arquitectura del dispositivo, programación de los nodos del módulo electrónico, aplicación móvil, base de datos *firebase*, envío de datos a *thinkspeak* y configuración de antenas *mikrotik*.

#### 3.1. Requerimientos del diseño

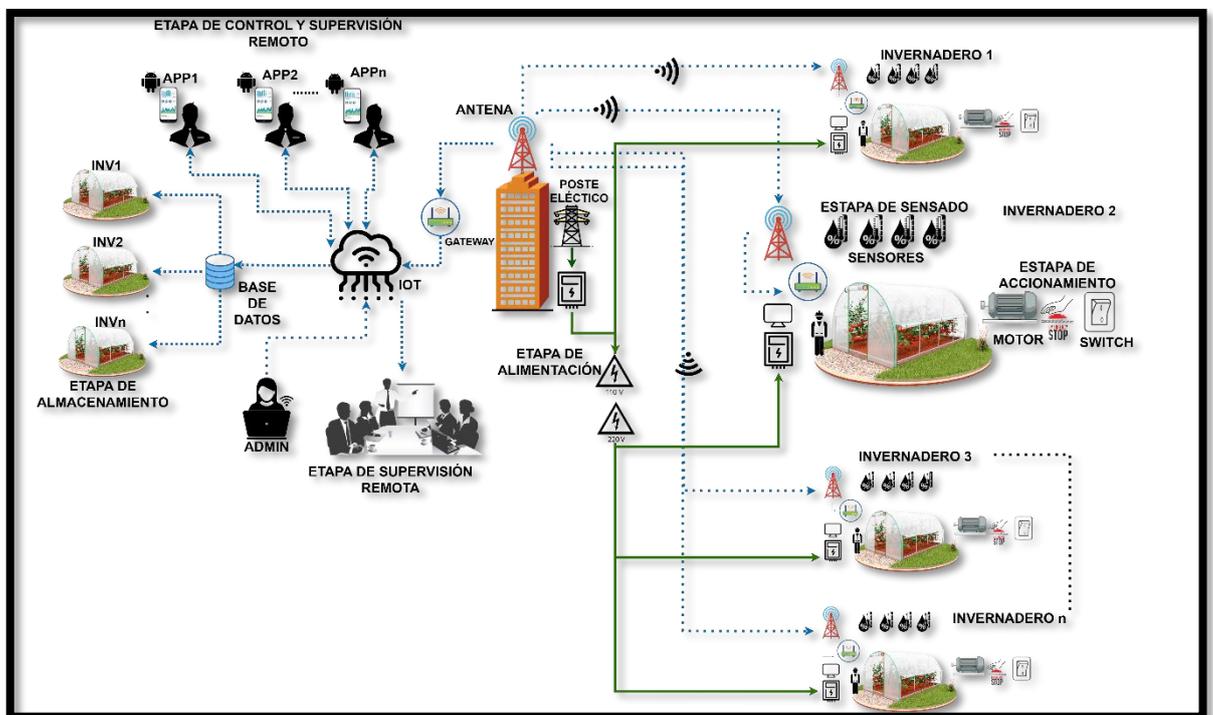
En el estudio del capítulo anterior, se identificó los requerimientos necesarios para implementar el sistema de automatización de las cortinas en base a parámetros climatológicos y el control y supervisión de estos de forma remota mediante el envío de datos a la web. Siendo importante considerar los siguientes puntos:

- No alterar la arquitectura del invernadero.
- Trabajar un sistema de alimentación eléctrica de 110 – 220 VAC.
- Diseñar, simular y construir un sistema mecánico que permita el abrir y cerrar las cortinas del invernadero sin alterar su estructura original.
- Controlar la ventilación por medio de la apertura de cortinas basado en motores.
- Disponer de un control manual fijo y remoto para el control de las cortinas.
- Trabajar el control de temperatura y humedad relativa en base a sensores de tipo semiconductores.
- Implementar comunicación inalámbrica.
- Mantener comunicaciones de hasta 5 km con comunicación punto a punto.
- Disponer de comunicación remota por medio del desarrollo de una aplicación móvil basado en Android, para control y supervisión de temperatura y humedad del invernadero.

- Especificar el límite máximo de temperatura dentro del invernadero por medio de una aplicación móvil.
- Implementar una aplicación móvil para el control remoto de la información y enviar a una interfaz web la proyección de los datos obtenidos en tiempo real.

### 3.2. Consolidación general del sistema

En la Ilustración 1-3 muestra el diagrama de consolidación propuesto en un sistema embebido para el control y supervisión del microclima del invernadero experimental por medio de un control *on/off* que se activa en base a requerimientos del usuario con los datos de temperatura y humedad recolectados en tiempo real.



**Ilustración 1-3:** Diagrama representativo de la consolidación general del sistema

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

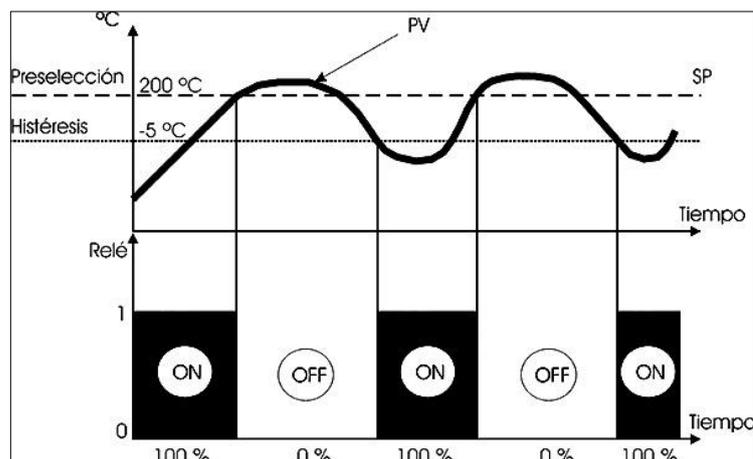
### 3.3. Realidad de la zona

La investigación se realiza en el invernadero experimental de Tunshi donde se produce tomate riñón. Mediante el control de variables climáticas ambientales y agronómicas la producción se mejora en calidad y cantidad. El tomate tiene ciertos requerimientos hídricos que se realiza a baja

densidad en la plantación. Según la demanda hídrica se maneja las condiciones del ambiente para la consistencia del tomate en el invernadero (Flores et al., 2007).

Se han incorporado elementos que permitan regular sus condiciones climáticas dando como resultado un microclima ideal. Los requerimientos de temperatura en cultivos oscilan entre los 20 y 30°C, se considera como un producto de clima cálido, con gran sensibilidad a heladas y a temperaturas muy altas (Josafad et al., 1998).

La Ilustración 2-3 muestra la consideración de histéresis en un control *on/off*, lo que nos permite regular el modo automático, permite evitar el desfogue de calor y se controla el microclima, por medio de un rango de histéresis de 5 °C para que la temperatura máxima alcanza el valor, el relé se desconecta y permanece así hasta que la temperatura cae por debajo de la histéresis programada y la histéresis es un valor de la temperatura máxima por bajo, a partir del cual se vuelve a conectar el relé de salida para bajar las cortinas (Contaval, 2017).



**Ilustración 2-3:** Rango de histéresis control *on/off*

Fuente: (Contaval, 2017)

### 3.4. Diseños de las etapas del sistema

Una vez analizada la arquitectura de *hardware* del prototipo, a continuación, se detallan cada una de las etapas que conforman el sistema para una mejor comprensión de su funcionamiento:

**Etapas de alimentación:** el diagrama de etapa de alimentación consta de seis bloques que necesitan ser suministrados de electricidad con 110 - 220 V, como se muestra en la Ilustración 3-3.

**Bloque de visualización:** compuesto por una pantalla led incorporada que permite observar los valores de los sensores en tiempo real, así como una aplicación móvil que permite generar gráficas en la web.

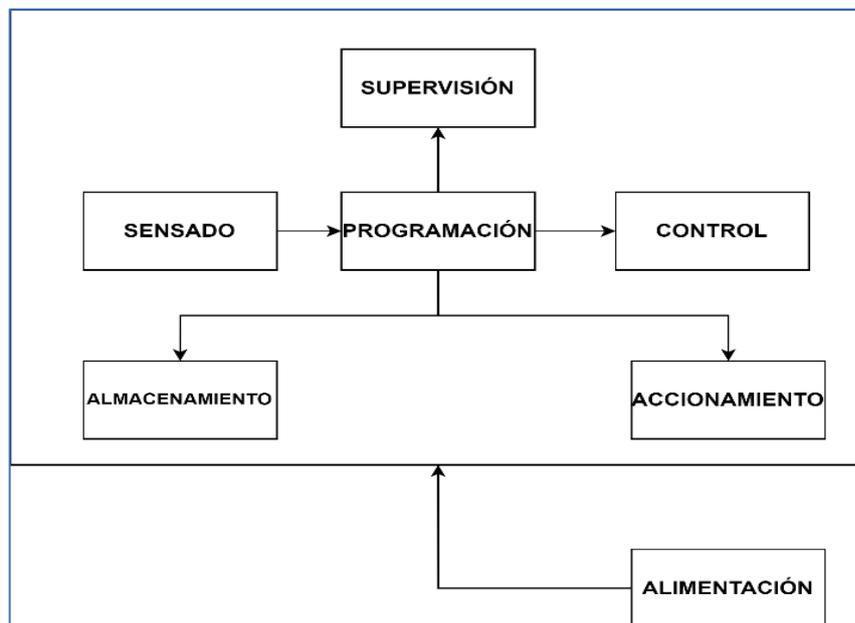
**Bloque programación:** todos los datos adquiridos por el sensor son regulador mediante los parámetros climáticos en los que se debe mantener el invernadero experimental.

**Bloque de adquisición de datos:** se dispone de un sensor que permita leer variables de temperatura y humedad ambiente del invernadero experimental.

**Bloque de almacenamiento:** dispone de una aplicación y servidor web que permite el almacenamiento de los datos para el registro histórico.

**Bloque de activación:** dispone de botones que permiten activar el modo manual para subir o bajar las cortinas desde el invernadero o de manera remota.

**Bloque de control:** conformado por una placa electrónica PCB que contiene todos los dispositivos eléctricos programables para adquirir los datos de los sensores.



**Ilustración 3-3:** Diagrama de bloques de la etapa de alimentación.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.4.1. Etapa de comunicación

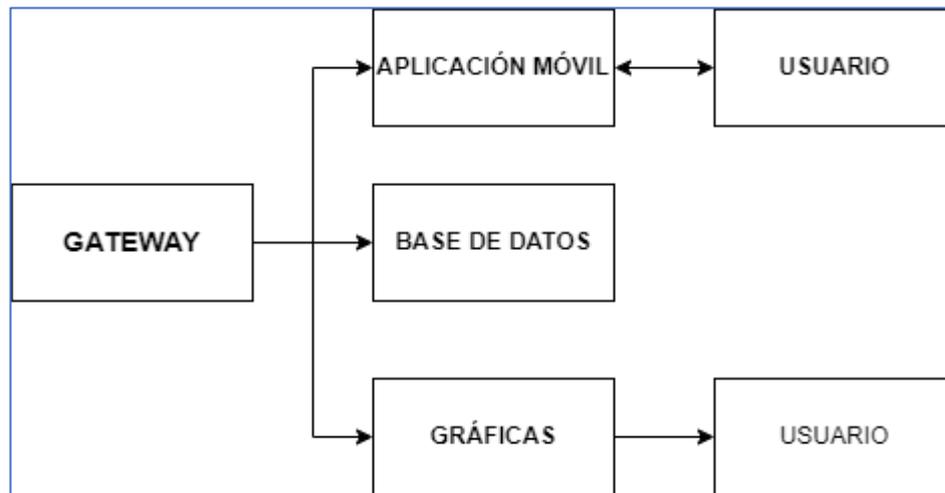
El diagrama de esta etapa está conformado por seis bloques como se muestra en la Ilustración 12-4 que se detallan a continuación:

**Bloque Gateway:** compuesto por dos *routers*, el principal desde el edificio central y el secundario en el invernadero, que permiten el envío de datos a la aplicación, base de datos y página web.

**Bloque de aplicación móvil:** la cual es bidireccional porque permite accionar los actuadores de las cortinas de forma remota activando el modo manual. Además, permite visualizar los parámetros en los que se encuentra el invernadero experimental.

**Bloque base de datos:** permite almacenar los datos generados por los sensores del invernadero.

**Bloque de gráficas en tiempo real:** permite graficar por medio de una interfaz web en tiempo real los valores de temperatura y humedad para su análisis.



**Ilustración 4-3:** Diagrama de bloques de la etapa de comunicación.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.4.2. Etapa de adquisición de datos

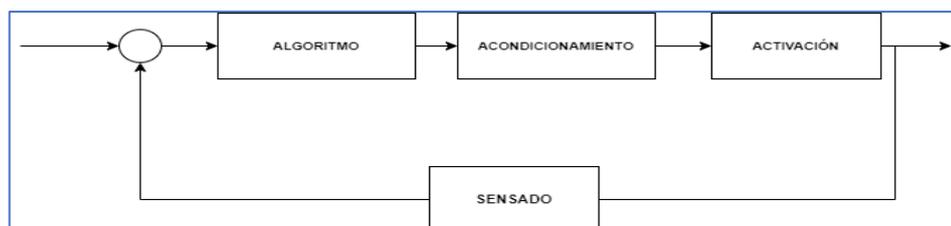
Para esta etapa se dispone de cinco bloques como se muestra en la Ilustración 5-3 que se detallan a continuación:

**Bloque de algoritmo:** conformado por el código de control.

**Bloque de acondicionamiento:** conformado por las condiciones del sistema.

**Bloque de detección:** conformado por los parámetros de accionamiento de los actuadores.

**Bloque de sensado:** conformado por la lectura de los sensores de temperatura y humedad.



**Ilustración 5-3:** Diagrama de bloques de la etapa de sensado.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.4.3. Etapa de accionamiento

Esta etapa está conformada por cinco bloques como se muestran en la Ilustración 6-3 que se detallan a continuación:

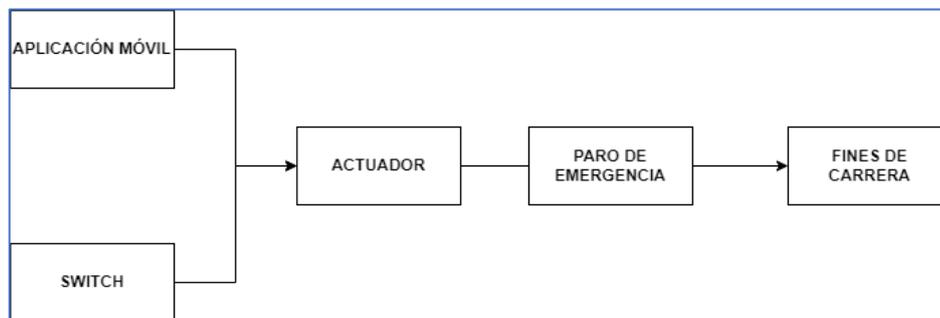
**Bloque de actuador:** conformado por un motor eléctrico que permite subir y bajar las cortinas.

**Bloque de aplicación móvil:** se encarga de enviar una señal al actuador cuando está en modo manual para subir o bajar las cortinas.

**Bloque de paro de emergencia:** conformado por un mando de activación que permite detener el motor en un momento dado.

**Bloque de Switch:** permite subir o bajar la cortina de forma manual.

**Bloque de fines de carrera:** detienen el motor cuando llegue a cierto nivel.



**Ilustración 6-3:** Diagrama de bloques de la etapa de accionamiento.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.5. Etapa de almacenamiento

Esta etapa está conformada por cinco bloques como se muestran en la Ilustración 7-3 que se detallan a continuación:

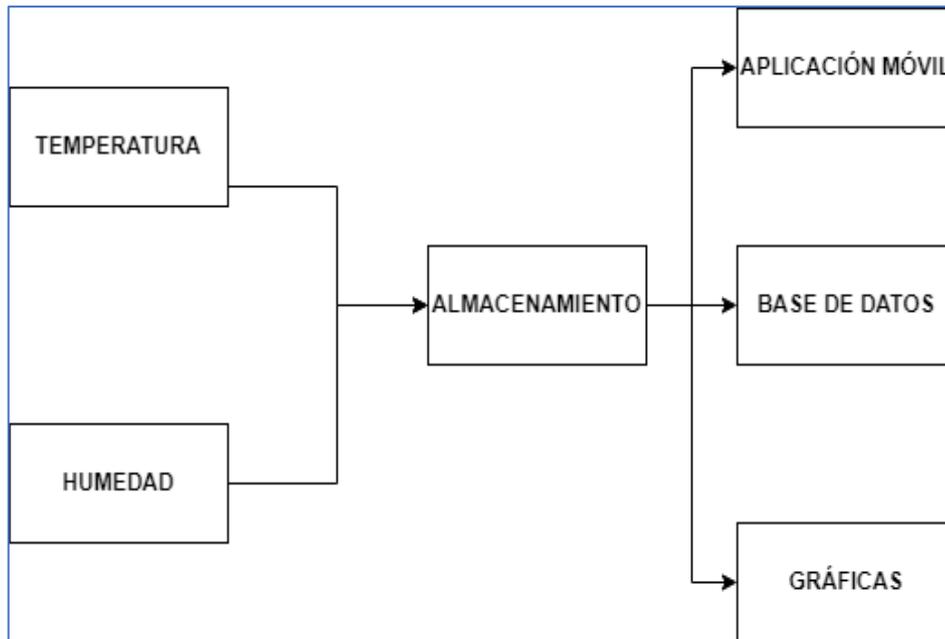
**Temperatura:** conformado por los datos recolectados por los sensores y enviados para su almacenamiento en tiempo real.

**Humedad:** conformado por los datos recolectados por los sensores y enviados para su almacenamiento en tiempo real.

**Aplicación móvil:** conformada por el diseño de la aplicación que recibe la información de los datos en tiempo real.

**Base de datos:** conformada una interfaz que recibe la información de los datos en tiempo real.

**Gráficas:** conformado por una interfaz que permite graficar los valores obtenidos en tiempo real.



**Ilustración 7-3:** Diagrama de bloques de la etapa de accionamiento.

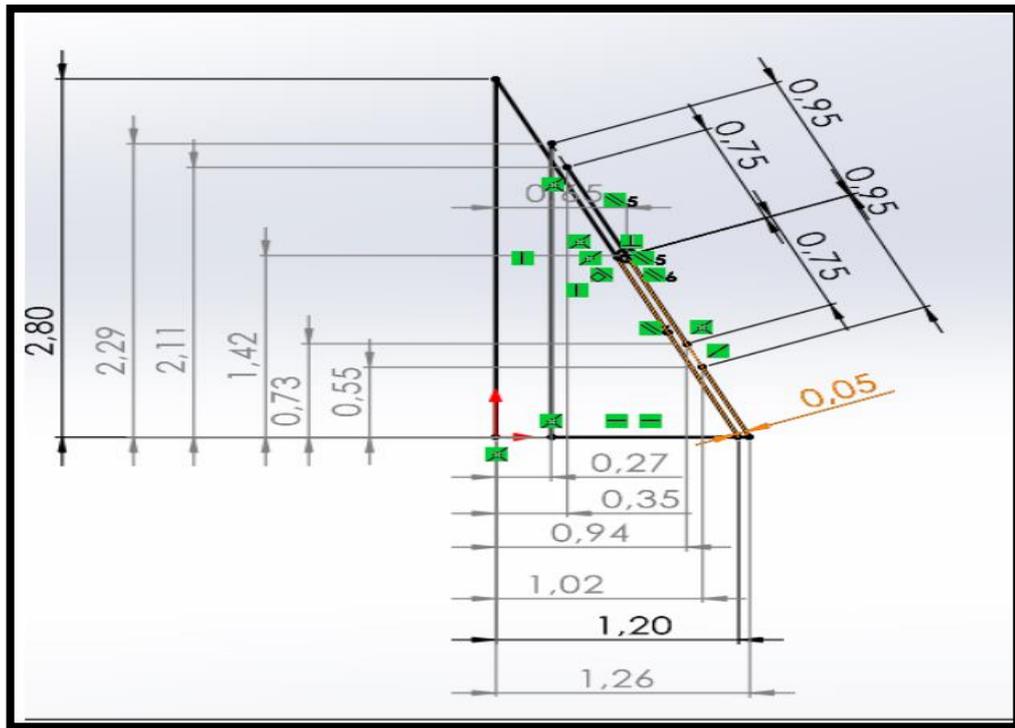
Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.6. Arquitectura de *hardware* del invernadero

A continuación, se detalla los componentes de *hardware* necesarios para la implementación del sistema al subir y bajar las cortinas de forma manual y automática, para el control y supervisión de variables climáticas bajo el invernadero experimental.

#### 3.6.1. *Diseño del mecanismo de las cortinas*

Por medio de la Ilustración 8-3 describe el acotamiento de la estructura del invernadero experimental de Tunshi y las dimensiones de las ventanas, se realizó un estudio de diseño y simulación de los elementos necesarios para el acoplamiento de la estructura mecánica, con los parámetros de: fricción, peso, entre otros; que permitieron la generación de un modelo estable para el sistema.

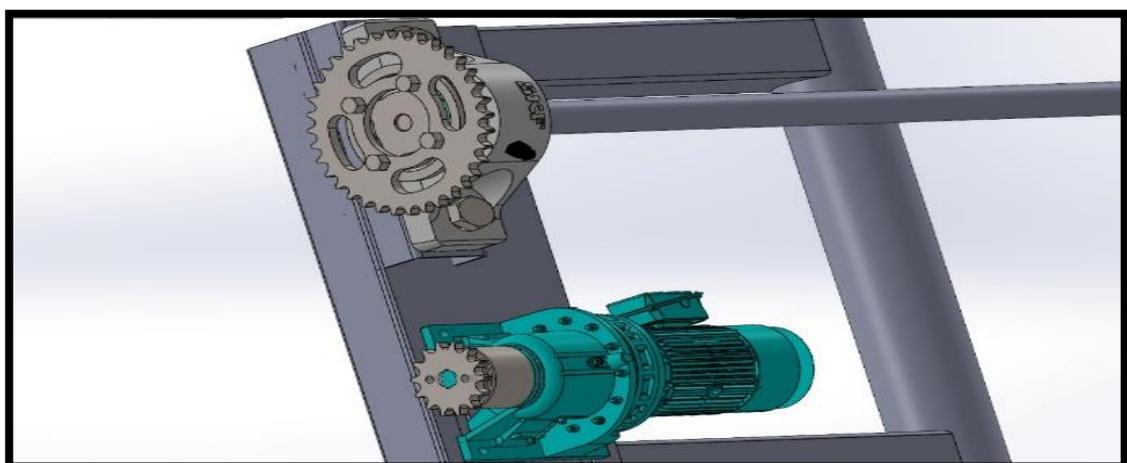


**Ilustración 8-3:** Diagrama estructural de las cortinas del invernadero experimental.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.6.1.1. Desarrollo cálculo del torque del motor

La Ilustración 9-3 representa la estructura del mecanismo que permite subir y bajar las cortinas a través de una catalina y un piñón, los cuales están sujetos por una cadena entre ellos que permite girar el tubo de acero inoxidable que gira la cortina en el invernadero, sujetado por estructuras con rodillos de plástico que facilita el enrollamiento del plástico de la cortina.



**Ilustración 9-3:** Mecanismo diseñado para las cortinas del invernadero experimental.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

Para el cálculo del trabajo total, se requiere el peso del tubo más el peso del plástico que se representa en la Ecuación 1-3:

$$W = \text{peso tubo} + \text{peso plástico}$$

**Ecuación 1-3** Peso total

Donde, W es el peso total (kg), Peso tubo es el peso total del tubo (kg) y Peso plástico es el peso total del plástico de la cortina (kg)

**3.6.1.2. Peso tubo: Acero galvanizado**

Para el diámetro del tubo galvanizado se obtiene que por medio de la Ecuación 2-3.

$$(\varnothing = 1/2 \text{ in})$$

$$\text{diámetro exterior} = 21,35 \text{ mm}$$

**Ecuación 2-3** Diámetro del tubo

En base al diámetro, se obtiene que el peso total del tubo galvanizado a lo largo de la ventana es de 22,8 m. Si se considera que cada tubo mide 6 m, lo cual se observa en la Ecuación 3-3:

$$W_{\text{tubo}} = \frac{0,99 \text{ kg}}{\text{m}} \times 22,8 \text{ m} = 22,57 \text{ kg}$$

**Ecuación 3-3** Peso del tubo en base al diámetro del tubo

**3.6.1.3. Peso del plástico**

Para el cálculo del peso del plástico se considera: el peso del plástico en la distancia de la ventana de 22,8 m como se observa en la Ecuación 4-3:

$$W_{\text{pl}} = \frac{200 \text{ kg}}{\text{m}^2} \times (2 \text{ m} \times 22,8 \text{ m}) = 9,12 \text{ kg}$$

**Ecuación 4-3** Peso total del plástico de la cortina de 22,8m

Se considera los valores obtenidos en las Ecuaciones 3-3 y 4-3, luego se procede a calcular el trabajo a realizar por medio de la Ecuación 5-3:

$$W = (W_{\text{pl}} + W_{\text{tubo}}) \text{ kg} \times g \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Ecuación 5-3** Trabajo generado por el sistema.

$$W = (22,57 + 9,12) \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 310,9 N$$

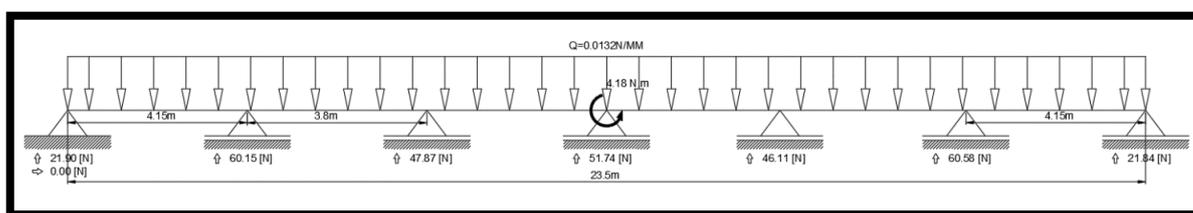
Donde,  $W$  es el trabajo del sistema (N),  $W_{pl}$  es el peso del plástico (kg),  $W_{tubo}$  el peso del tubo (kg) y  $g$  la gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ ).

### 3.6.1.4. Longitud de la tubería

El cálculo de la longitud de la tubería necesaria para el mecanismo del invernadero se realiza mediante la Ecuación 6-3. Para ello se utiliza la distribución de cargas que se representa en la Ilustración 10-3.

$$\text{Longitud de tubería } 0,5plg. = 5 (3,8m) + 2(0,35) = 23,5m$$

### Ecuación 6-3 Longitud de la tubería



**Ilustración 10-3:** Cuerpo libre para la distribución de cargas.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

Mediante la simulación efectuada en SolidWorks se obtiene la Tabla 1-3 con los momentos de deflexión del mecanismo y la Tabla 2-3 con los momentos de inercia del sistema, así como, los momentos de inercia necesarios para que el mecanismo funcione adecuadamente y su fiabilidad sea alta.

**Tabla 1-3:** Momentos y deflexión de la tubería de 0,75 pulgadas

Momentos y deflexión, tubería 0,75 plg	
Momento de inercia I1	19237,99 mm <sup>4</sup>
Momento de inercia I2	19237,99 mm <sup>4</sup>
Momento de inercia Ieff	19238 mm <sup>4</sup>
Max. Distancia de borde	13,45 mm
Factor de seguridad	14,1551
Punto de rendimiento	228 N/mm <sup>2</sup>
E-modulus	1999948 N/mm <sup>2</sup>
Material	Estructura de acero
Max. Deflexión S1	0 228 mm
Max. Momento de doblez MB1	1,4107 E-15
Max. Deflexión S2	6,996679 mm
Max. Momento de doblez MB2	23,038 E-15
Max. Stress Res	16,107 N/mm <sup>2</sup>

Max. Deflexión Sres	6,996679 mm
Max. Bending Moment Mres	23,038 Mbres
Escala de deflexion lineal	100:1
Escala de dobléz lineal	100:1

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 1-3 permite observar la cantidad de flexión que soporta la tubería antes de deformarse permanentemente. Estos datos son obtenidos por medio de las propiedades mecánicas de la tubería como el diámetro, espesor del material y condiciones de carga. Es importante conocer la fuerza máxima que soporta el material, bajo niveles de resistencias y momentos críticos para garantizar que la tubería se diseñe correctamente y pueda soportar las cargas a las que estará expuesta en la vida útil del sistema propuesto.

**Tabla 2-3: Momentos de inercia.**

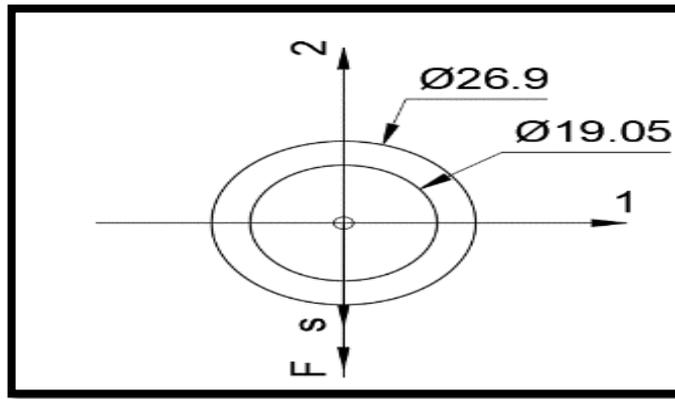
Momentos de inercia
I1 mm <sup>4</sup> 19237,99
I2 mm <sup>4</sup> 19237,99
Sc mm 13,45
St mm 13,45
A mm <sup>2</sup> 283,299

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 2-3 de momentos de inercia, describe la resistencia de un objeto al cambiar su estado de movimiento rotacional. Se define como la suma de los productos de las masas de las partículas que conforman un objeto y el cuadrado de la distancia de cada partícula al eje de rotación. Esto es necesario conocer para que los rodillos de las cortinas puedan enrollar el plástico.

### 3.6.1.5. Torque del tubo (Sección transversal del tubo 3/4 pulgadas)

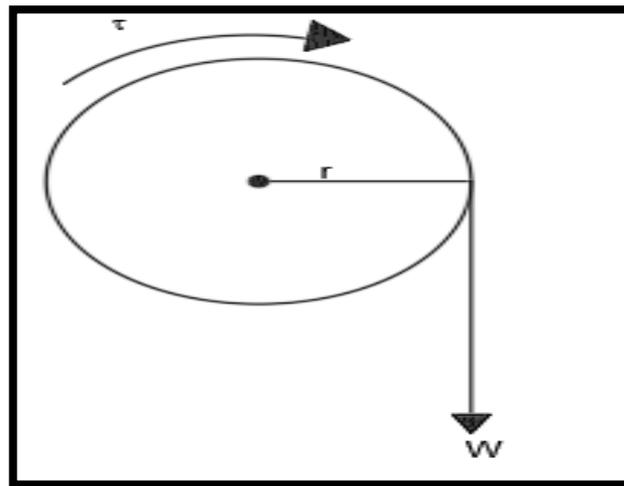
La selección del tubo se muestra en la Ilustración 11-3 que especifica su diámetro en base a los parámetros de momentos de deflexión e inercia como resultado de la simulación de diagrama de tiempo libre.



**Ilustración 11-3:** Selección transversal del tubo ¾ pulgada

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La ilustración 12-3 permite representar gráficamente la disposición del tubo galvanizado que se encontrará colocado en la parte superior de la cortina para enrollar el plástico que recubre la misma. Para ello es necesario que el tubo rote siempre. En la Ecuación 7-3 se observa el cálculo del torque necesario para el estudio del movimiento en cada cortina.



**Ilustración 12-3:** Movimiento del eje de la cortina

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

$$\tau = F \cdot d$$

**Ecuación 7-3** Torque generado

$$\tau = (310,9 \text{ N}) \left( \frac{0,02135}{2} \right) m$$

$$\tau = 4,18 \text{ Nm}$$

Donde  $\tau$  es el Torque (Nm), F la fuerza del sistema (N) y d es la distancia (m).

### 3.6.1.6. Momento de inercia por masa de la tubería de $\frac{3}{4}$

Para calcular el momento de inercia, se conoce que la dimensión de masa de tubería es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada. En función de la Ecuación 8-3 se calcula la masa total, que se obtiene en la Ecuación 8-3.

$$m = (1,45 \text{Kg/m}) \times 23,5 \text{m} = 34,075 \text{Kg}$$

**Ecuación 8-3** Masa total de la tubería de  $\frac{3}{4}$ .

Mediante la Ecuación 9-3 se realiza el cálculo de la corriente necesaria para que el sistema funcione adecuadamente.

$$I = 0,5m(R^2 - r^2)$$

**Ecuación 9-3** Corriente total.

$$I = 0,5 * 34,075 \text{Kg} \left[ \left( \frac{26,9}{2} \right)^2 + \left( \frac{19,05}{2} \right)^2 \right] \text{mm}^2$$

$$I = 4627,9 \text{Kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$I = 0,00463 \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

### 3.6.1.7. Torque total

Para el cálculo de un torque total se obtiene a partir de los parámetros del torque del peso y el torque de la inercia, como se observa en la Ecuación 10-3.

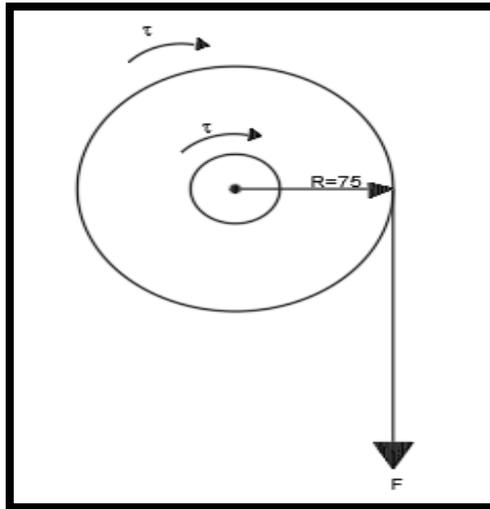
$$\tau = \tau_{\text{peso}} + \tau_{\text{inercia}}$$

**Ecuación 10-3** Torque total.

$$\tau = (4,18 + 0,0056) \text{N} \cdot \text{m} = 4,2 \text{N} \cdot \text{m}$$

### 3.6.1.8. Torque catalina = torque tubo (Sección transversal del tubo y catalina)

En la Ilustración 13-3 se observa el torque necesario para el movimiento del tubo, también se visualiza la implementación de una catalina que permitirá enrollar la cortina, ver la Ecuación 11-3.



**Ilustración 13-3:** Movimiento de la catalina

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

Considerando la ecuación 7 obtenemos:

$$F = \frac{\tau}{d}$$

**Ecuación 11-3** Fuerza generada por el sistema

$$F = \frac{4,2 \text{ Nm}}{0,075 \text{ m}}$$

$$F = 56 \text{ N}$$

Donde  $\tau$  es el torque (Nm), F la fuerza del sistema (N) y d es la distancia (m).

Por lo tanto, el diámetro de la catalina es de 150 mm, seleccionando una catalina transversal al tubo.

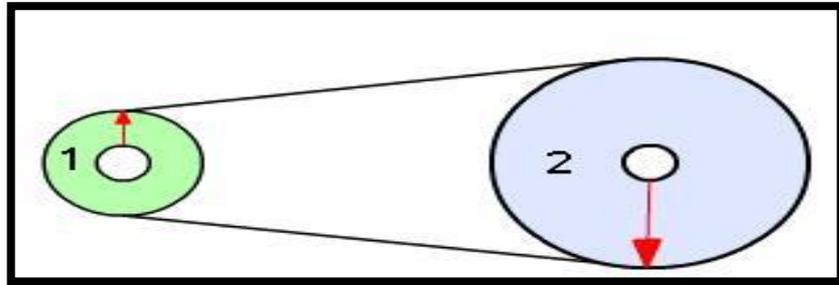
### 3.6.1.9. Relación de transmisión

La propuesta del sistema está basada en la relación de transmisión entre un piñón y la catalina, que son conectados por una cadena. Este trabajo se realiza en base al estudio de la velocidad en la cual los engranajes entran en contacto entre sí, para ejercer la fuerza suficiente para levantar el plástico de la cortina. Para el cálculo de los dientes para los rodamientos se utiliza la Ecuación 12-3, se puede observar en la Ilustración 14-3.

$$i = \frac{\#dientes \text{ matriz}}{\#dientes \text{ conducido}}$$

**Ecuación 12-3** Número de dientes para el eje de transmisión.

Donde  $i$  es el número de dientes del eje,  $\#dientes\ matriz$  son los dientes del rodamiento principal y  $\#dientes\ conducido$  son los dientes de la catalina.



**Ilustración 14-3:** Diagrama de la relación de transmisión

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

Despejando la Ecuación 9-3 se observa el cálculo del sistema reductor:

$$i = \frac{16}{36} = 2,25 \quad \blacktriangleright \quad i < 1 \quad \text{Sistema reductor}$$

Se obtiene por medio del trabajo conducido y el trabajo de la matriz. Ver Ecuación 13-3:

$$i = \frac{W\ conducido}{W\ matriz}$$

**Ecuación 13-3** Relación de dientes con la velocidad angular.

Donde  $i$  es el número de dientes del eje,  $W\ matriz$  son los dientes del rodamiento principal y  $W\ conducido$  son los dientes de la catalina.

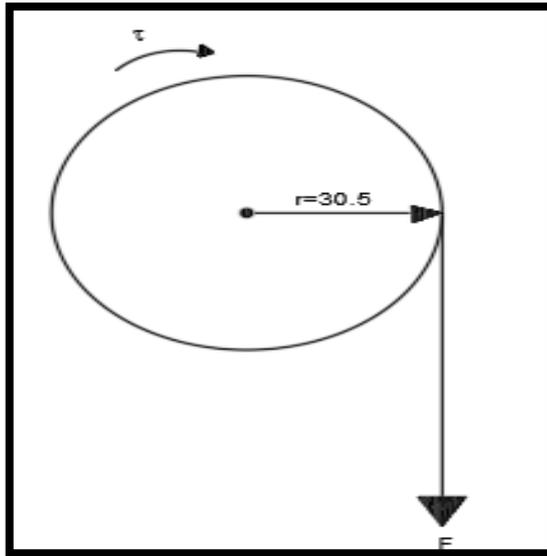
$$W\conducido = W1 = \frac{35\ rpm}{00,44}$$

$$W1 = 79,54\ rpm \quad \blacktriangleright \quad W1 = 74,54 \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi rad}{1\ rev} \times \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$W1 = 8,33 \frac{rad}{s}$$

3.6.1.10. *Torque del piñón*

El torque del piñón tiene un diámetro de 61mm como se observa en la Ilustración 15-3, que representa el trabajo a realizar, en base a la fuerza ejercida. Ver Ecuación 14-3.



**Ilustración 15-3:** Movimiento del piñón

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

$$\tau_{\text{piñon}} = F * d$$

**Ecuación 14-3** Torque del piñón.

Donde  $\tau_{\text{piñon}}$  es el toque del piñón (Nm),  $F$  la fuerza (N) y  $d$  la distancia (m).

$$\tau_{\text{piñon}} = 56N * 0.0305 m$$

$$\tau_{\text{piñon}} = 1.7Nm$$

$$\tau_{\text{piñon}} = 17,4gf cm$$

El factor de seguridad se basa en la variabilidad de las cargas y en la posibilidad de fallas estructurales, y que su valor debe ser determinado en función del tipo de estructura o sistema, las cargas esperadas y los criterios de diseño aplicables, se considera un factor de seguridad de 3 porque si la carga máxima prevista en las condiciones de uso es de 10 toneladas, el diseño de la estructura o sistema se asegurará de que pueda soportar una carga máxima de 30 toneladas antes de fallar. Esto proporciona un margen de seguridad adicional para tener en cuenta las variabilidades en las cargas y los posibles defectos en el diseño, construcción o mantenimiento. Un factor de seguridad de 3 es comúnmente utilizado en el diseño de estructuras y sistemas en ingeniería. (Hibbeler, 2010).

Para esto se observa el cálculo en base al torque obtenido 5.6kgfcm y al elevar la seguridad podemos observar los resultados de 16,8kgfcm

$$\tau_{\text{piñon}} = 17,3 * 18 = 31,4kgf cm = 30,6N.m$$

Para finalizar se realiza un producto entre el torque y el trabajo del piñón para obtener el trabajo total que necesita el piñón, Ver Ecuación 15-3.

$$P_{\text{piñon}} = \tau \cdot W_{\text{piñon}}$$

**Ecuación 15-3** Potencia del piñón.

Donde  $P_{\text{piñon}}$  es la potencia (W),  $\tau$  es el torque (Nm) y  $W_{\text{piñon}}$  la velocidad angular ( $\frac{\text{rad}}{\text{seg}}$ ).

$$P_{\text{piñon}} = 0,549 \text{ Nm} \times 8,33 \text{ rad/seg}$$

$$P_{\text{piñon}} = 4,57 \text{ W}$$

### 3.6.1.11. Elementos para la implementación mecánica

La Tabla 3-3 muestra los materiales para la construcción de los acoples para la cortina. A continuación, se detalla cada uno de ellos y las cantidades a utilizar en la construcción.

**Tabla 3-3:** Insumos para la construcción del mecanismo propuesto

Insumos	Cantidad	Detalle
Tubo ½ Conduit	1	
Tubo ¾ HG	1	
Tubo HG ¾ X 3.6 mm	1	
Tubo de 1 Termofusion X 6m	6	
Tubo cuadrado de 1 reforzado	1	
Tubo GALV redondo ¾ X 2mmx6m	10	
Tubo PVC desague 4 pulg	1	
Tubo de presión n 33	3	
Electrodos 6011 1/8 20 Kg	1	
Plancha de Toll negro de 1/8	1	
Abrazadera de hierro	20	5x(4, 5, 6, 7)

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 4-3 está conformada materiales y equipos necesarios para la implementación, a continuación, se detalla la cantidad y especificaciones.

**Tabla 4-3:** Materiales y equipos para la estructura del mecanismo para invernadero.

Material	Cantidad	Detalle
Chumacera de piso	4	UCP 205 16
Motor	2	Teclé eléctrico
Sistema de transmisión	2	Catalina/piñón (moto)

Cadena de transmisión	2	Acero inoxidable
Pernos del rodillo	20	3/8 in
Arandelas planas	20	3/8 in
Arandelas de presión	20	3/8 in
Tuercas	20	3/8 in
Pernos para el soporte	20	M10x30mm
Arandelas de presión	20	M10
Tuercas	20	M10
Arandelas planas	20	M10
Para sujetar las chumaceras	8	Perno M10x30
	8	Arandela plana M10
	8	Arandela de presión M10
	8	Tuerca M10
Para sujetar base del motor	4	Perno M10x30
	4	Tuerca M10
	4	Arandela plana M10
	4	Arandela de presión M10
Para asegurar el motor	8	Perno
	8	Tuerca
Tornillo allen para el piñon	2	M5x4
Para el motor	8	Tornillos hexagonales flange y estria M5x20
	8	Tuercas M5

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Tabla 5-3 muestra las características principales y especificaciones técnicas de los tubos galvanizados.

**Tabla 5-3:** Características principales del tubo galvanizado

Descripción	Características
<b>Norma:</b>	NTE INEN 2415
<b>Calidad:</b>	SAE J 403 1008
<b>Acabado:</b>	Acero negro y galvanizado
<b>Largo Normal:</b>	6.00 m y medidas especiales
<b>Dimensiones:</b>	Desde 7/8" a 3"
<b>Espesor:</b>	Desde 1,50mm a 3,00mm

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.7. Selección de componentes de *hardware* del sistema

En base al análisis de los requerimientos de *hardware* y cada uno de los bloques que comprenden el sistema se procedió a seleccionar los componentes adecuados para el funcionamiento del prototipo.

#### 3.7.1. Selección del motor

Para la selección del motor se aplica la Ecuación 16-3 para el cálculo total de la potencia necesaria del sistema.

$$P_{motor} = \tau \cdot W_{piñon}$$

**Ecuación 16-3** Potencia del motor.

$$P_{motor} = 30,6Nm \times 8,33 \text{ rad/seg}$$

$$P_{motor} = 254,9 \text{ W} = 0,34 \text{ Hp}$$

Los motores seleccionados en base a los parámetros evaluados por la fuerza necesaria y corriente del sistema propuesto son los motores reductores de 0,5 HP con una velocidad angular de 35 rpm. Este dispositivo se utiliza para reducir la velocidad de un motor eléctrico a una velocidad apropiada para una aplicación determinada. El sistema propuesto funciona con un motor eléctrico acoplado a un sistema de engranajes que disminuye la velocidad de rotación del eje del motor. También puede aumentar la fuerza torque en el eje de salida, lo cual, es adecuado para aplicaciones en las que se requiere un movimiento lento y potente, como en robots, sistemas de manejo de materiales y maquinarias industriales. Este motor se muestra en la Ilustración 16-3.



**Ilustración 16-3:** Motor reductor.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

En la Tabla 6-3 se especifican las características principales del motor eléctrico de jaula de ardilla.

**Tabla 6-3:** Características principales del motorreductor.

Descripción	Características
Tipo de motor	Eléctrico
Modelo	6T10269
Velocidad	10/5 m/min
Capacidad	150 kg
Amperaje	3A
Potencia	650 W
Precio	\$115

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.7.2. Implementación del bloque de alimentación

Esta etapa está encargada de suministrar la energía necesaria a todos los componentes electrónicos en el invernadero de tomates. Estos elementos se conforman por los sensores, fines de carrera, antenas, *routers*, reguladores de tensión con el fin de reducir el voltaje proveniente de la batería con un voltaje capaz de soportar la tarjeta de desarrollo y sus sensores. Para la instalación eléctrica en la caja principal se usó 675 metros de cable número 10, 2 rollos de manguera de  $\frac{3}{4}$  plástica y se tomó desde caja de control del edificio principal de Tunshi hacia el invernadero.

La Ilustración 17-3 muestra el voltaje de la caja principal del edificio, así como las conexiones realizadas para transportar el cable al invernadero.



**Ilustración 17-3:** Caja electrica del efificio principiapl de Tunshi

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 18-3 se observa el paso del cable en las tuberías plásticas de  $\frac{3}{4}$ , desde el edificio principal de Tunshi hacia el invernadero. Posteriormente, los cables fueron ubicados bajo tierra.



**Ilustración 18-3:** Cableado de instalaciones eléctricas al invernadero de tomate.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 19-3, se observa el voltaje que llega al invernadero experimental, el cual, presenta una pérdida mínima de 1 V.



**Ilustración 19-3:** Validación de voltaje en caja térmica del invernadero experimental

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.7.3. Implementación del sistema mecánico

Para la implementación mecánica se propuso un diseño por medio del *software SolidWorks*, y luego de su validación se procedió a cortar las piezas. Por medio de un generador se soldaron las piezas en los tubos a lo largo de las cortinas del invernadero. El tubo de acero galvanizado se utilizó para enrollar el plástico con ayuda de los rodillos. En esta etapa de implementación mecánica se presentó conflictos debido a que la superficie del invernadero no está nivelada, por lo tanto, las distancias a considerar para soldar los elementos tienen diferentes posiciones entre ellas. La fricción del peso fue un elemento importante que se consideró en los cálculos de seguridad para la selección del motor, así como las condiciones climáticas, y fuerza necesaria para que el viento no impida que el tubo principal se desplome o no enrolle. Esto se presenta en la Ilustración 20-3.



**Ilustración 20-3:** Sistema mecánico de cortinas

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

Además, a lo largo de las cortinas se colocó rodamientos para enrollar las cortinas por medio del mecanismo principal, a través de los rodamientos y la cadena en el extremo de cada cortina que se encuentran sujetos por una estructura metálica con acoples al eje del motor como lo muestra la Ilustración 21-3.



**Ilustración 21-3:** Acoples para enrollar las cortinas

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

El plástico de las cortinas fue extendido en el césped para recortar los excesos y nivelar a una misma altura con las dimensiones establecidas. Luego se procede a grapar el plástico con una distancia de 30 cm y luego pasar el tubo de 3/4. Ver Ilustración 22-3.



**Ilustración 22-3:** Análisis de las etapas del proyecto.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.8. Dispositivos de alimentación

Los dispositivos de alimentación permiten obtener el voltaje suficiente para alimentar los elementos electrónicos del tablero principal.

#### 3.8.1. Fuente conmutada de 12V

Es un dispositivo que convierte la energía eléctrica de entrada, que puede ser AC o DC, en una salida de corriente continua (DC) de 12 voltios. Estas fuentes de alimentación se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones que requieren una fuente de alimentación DC estable y confiable. Ver Ilustración 23-3.



**Ilustración 23-3:** Fuente Conmutada de 12V/10A/P

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 7-3:** Características principales de la fuente de conmutación

Características	Descripción
Tipo de fuente de alimentación:	Conmutada
Tensión de alimentación:	230 V AC
Voltaje de salida:	12 V <u>DC</u>
Ajuste de la tensión de salida:	10,2 ... 15 V
Carga máxima de la fuente de alimentación:	10 A
Potencia de la fuente de alimentación:	120 W
Número de salidas:	2 uds.
Protecciones:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contra cortocircuitos</li><li>• Contra sobrecargas</li></ul>
Temperatura de funcionamiento / humedad relativa:	-10 °C ... 50 °C / 20 % ... 90 %
Peso:	0.452 kg
Dimensiones:	200 x 98 x 42 mm

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 7-3 representa las características principales de la fuente de conmutación con salida de 12 V, la cual permite realizar la alimentación del bloque de control.

### 3.8.2. *Contactor trifásico*

La Ilustración 24-3 muestra el contactor LS Metasol MC-32A 208VAC 60Hz es un dispositivo eléctrico utilizado para controlar la corriente eléctrica en un circuito de potencia. Está diseñado para manejar cargas de hasta 32 amperios y 208 voltios de corriente alterna (AC) a una frecuencia de 60Hz.



**Ilustración 24-3:** Contactor LS Metasol

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

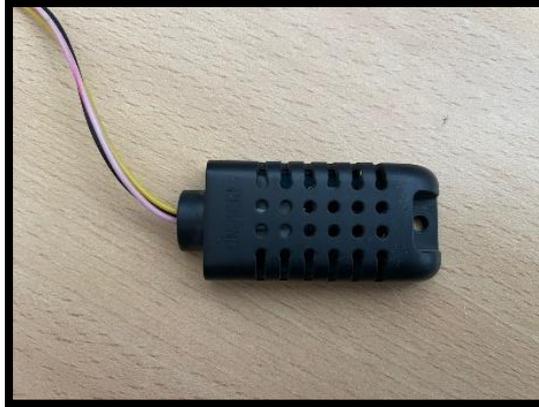
## 3.9. Dispositivos de obtención de datos

Estos dispositivos permiten la adquisición de datos del entorno para medir fenómenos físicos como voltaje, corriente, temperatura, distancia en forma de señales analógicas y transformarlos en variables digitales que pueden ser procesadas por un microcontrolador.

### 3.9.1. *DHT AM2301*

Los sensores de temperatura y humedad permiten obtener datos para regular un microclima en el invernadero experimental. Se utilizó cuatro módulos del sensor DHT AM2301, que constan de un sensor de humedad capacitivo, un termistor para medir el aire circundante que luego envía una señal digital con los datos de temperatura y humedad a un microcontrolador. Este sensor se utiliza en proyectos de control de clima, monitoreo de entornos y sistemas de automatización. Además, tiene una larga vida útil resistente a interferencias electromagnéticas (**Ver Ilustración 25-3**). Se colocó a lo largo de los tubos centrales del invernadero, de esta forma se evalúa la información

mediante un cálculo promedio y posteriormente realizar las acciones en los controladores. En la Tabla 8-3, muestra las características generales o nominales de los sensores.



**Ilustración 25-3:** Sensor DHT AM 2301

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 8-3:** Características principales del sensor de temperatura y humedad.

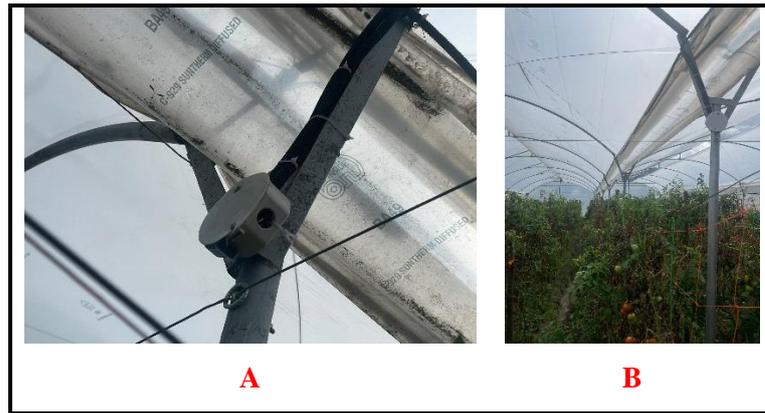
Descripción	Características
Voltaje	3,5 – 5,5 VDC
Humedad Relativa	0-100% RH
Temperatura	(-40) – 80 °C
Consumo de corriente	1-1,5 mA
Error	humedad + -3% HR temperatura < +- 0,5Celsius
Precio	\$20

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

Donde el cable rojo de alimentación es de +5 VDC, el cable negro es de tierra recibiendo 0 VDC y el cable amarillo es el de recolección de datos I/O.

### 3.10. Implementación de sensores

En el invernadero se colocan los sensores a una distancia de 2 metros de altura, desde el piso al techo del invernadero para obtener los datos de temperatura y humedad. También, se colocan 4 sensores en el centro del invernadero experimental en toda la distancia longitudinal con un espacio de 5 metros entre cada sensor, para facilitar una mejor evaluación de la información referente a la humedad y temperatura en forma individual y conjunta entre ellos. La Ilustración 26-3A muestra un cajetín con el cableado de cada sensor. La Ilustración 26-3B muestra los cajetines que se colocó en las distancias mencionadas en todo el invernadero con sus respectivos sensores.



**Ilustración 26-3:** Implementación de sensores

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

Para la conexión se utiliza cable de instrumentación número 18, recubierto por tubo de polietileno negro de 2 pulgadas que se extendido a lo largo del invernadero, lo que permite proteger las conexiones eléctricas de cada sensor.

### 3.11. Dispositivos de procesamiento

Son componentes que se encargan de ejecutar las instrucciones, procesar o decodificar la información por medio de elementos electrónicos como los microcontroladores, que son el componente principal de una aplicación embebida. También incluyen los sistemas para controlar elementos de entrada/salida. Además, incluye, el procesador y memoria que almacena el programa y sus variables (*flash* y RAM). Cada uno de estos dispositivos tiene una función específica en el procesamiento de datos que son esenciales para el funcionamiento de un sistema informático.

### 3.12. Tarjetas MCU

Existen varias tarjetas de desarrollo MCU orientadas a IoT (Internet de las cosas) que ofrecen una amplia gama de funcionalidades y características para la conectividad inalámbrica que se incorporan en la misma placa.

- a) **Node MCU ESP 32:** placa compacta y potente que se utiliza comúnmente en proyectos de IoT (Internet de las cosas) y en aplicaciones de automatización del hogar. La placa cuenta con conectividad Wifi y Bluetooth, y es compatible con el entorno de desarrollo de software de Arduino. NodeMCU ESP32 también ofrece una amplia gama de periféricos, como entradas y salidas analógicas y digitales, módulo de sensor de temperatura, sensor de humedad, y más.

Es una opción popular para aquellos que buscan una solución de desarrollo rápida y rentable para proyectos de IoT (Anggrawan y otros, 2022).

- b) **Node MCU ESP 8266:** placa compacta y económica que se utiliza comúnmente en proyectos de IoT y en aplicaciones de automatización del hogar. La placa cuenta con conectividad Wifi y es compatible con el entorno de desarrollo de software de Arduino. NodeMCU ESP8266 también ofrece una amplia gama de periféricos, como entradas y salidas analógicas y digitales, módulo de sensor de temperatura, sensor de humedad, y más. Es una opción popular para aquellos que buscan una solución de desarrollo rápida y rentable para proyectos (Ceja J. e., 2017).

En la Tabla 9-3 se observa una comparación de las características principales de los posibles controladores para el accionamiento de los actuadores de las cortinas y envío de datos a la web.

**Tabla 9-3:** Comparación de características principales de tarjetas MCU con incorporación de tarjeta Wifi.

Características	Node MCU ESP32s	Node MCU ESP8266
		
Procesador	Tensilina L106 32 bit	Xtensa Single Core 32 bits
Memoria Flash	4 Mb	4 Mb
Frecuencia de reloj	240 MHz	80 MHz
Terminales analógicos	18	1
Terminales digitales	36	17
SRAM	128 Kb	32 Kb
Conectividad	802,11 b/g/n/e/i (802,11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)	802,11 b/g/n Wi-Fi
Dimensiones	54x26x7 mm	47 x 21x13 mm
Precio	\$20	\$15

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

Como se observa en la Tabla 9-3 el módulo ESP32s es un microcontrolador potente con conectividad Wifi-integrada, ideal para aplicaciones IOT (Internet de las cosas) y proyectos de electrónica que requieren conectividad inalámbrica. Además, cuenta con terminales analógicos y digitales que permiten comunicarse con elementos adicionales necesarios para el invernadero

experimental, lo que la hace la mejor opción para controlar el sistema propuesto para el invernadero experimental de Tunshi.

### 3.12.1. El módulo ESP32s

Es una placa de desarrollo basada en un chip que incluye conectividad Wifi y Bluetooth de bajo consumo de energía, así como una amplia variedad de terminales de entrada/salida que permiten a los usuarios conectar una variedad de sensores y dispositivos externos. El ESP32s también es compatible con el entorno de desarrollo integrado de Arduino, que facilita la programación y el desarrollo de prototipos para proyectos de IoT ( Kurniawan, 2018). La Ilustración 27-3 muestra el ESP32s de forma física.



**Ilustración 27-3:** Módulo ESP32s.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 10-3:** Características principales del módulo ESP32.

Descripción	Característica
<b>Voltaje</b>	3,3 V
<b>Consumo de corriente</b>	10 $\mu$ A – 170 mA
<b>Memoria Flash</b>	16 MB máx (512 k normal)
<b>Procesador</b>	Tensilina L106 32 bit
<b>Velocidad del procesador</b>	80 – 160 MHz
<b>GPIOs</b>	17
<b>Analógico a digital</b>	1 entrada con 10 bit de resolución (1024 valores)
<b>Soporte de 802,11</b>	b/g/n/d/e/i/k/r
<b>Máximas conexiones simultáneas</b>	5
<b>Precio</b>	\$ 20

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 10-3 muestra las características principales del módulo ESP32s, que tiene un microcontrolador integrado que es programado por la interfaz de código abierto de Arduino, y permite conectar a todas las librerías y componentes eléctricos accesibles a esta interfaz, para luego por medio de su modulo Wifi enviarlos a la web.

### 3.13. Comunicación inalámbrica

Se utiliza las antenas direccionales de punto a punto para establecer una conexión inalámbrica, sin interferir con otras señales cercanas. Estas antenas establecen conexiones de red inalámbrica entre edificios o ubicaciones remotas, y son ideales para áreas donde no es posible o es costoso instalar una conexión por cable. Las antenas punto a punto se pueden configurar en diferentes modos; modo de puente inalámbrico, modo repetidor inalámbrico o modo de conexión punto a multipunto, según los requisitos de la red y la ubicación de la antena.

#### 3.13.1. Antenas MikroTik SxTs q Lite 2

Permite una comunicación punto a punto de alta calidad que ofrece una excelente conectividad inalámbrica. Diseñada para uso en exteriores, la antena utiliza tecnología avanzada de frecuencia dual que permite operar en dos bandas de frecuencia diferentes simultáneamente. Con una ganancia de 21dBi, esta antena proporciona una conexión confiable y estable incluso en condiciones de señal débil. Además, su carcasa robusta y resistente a la intemperie garantiza una durabilidad y protección adecuadas contra los elementos climáticos adversos. Con su fácil instalación y configuración, la antena *Atena SxTs q Lite 2* es ideal para aplicaciones de redes punto a punto de larga distancia en entornos empresariales o de telecomunicaciones. Ver Ilustración 28-3. En la Tabla 11-3, se presentan las principales características de este tipo de antenas.



**Ilustración 28-3:** Antenas MikroTik, punto a punto.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 11-3:** Características principales del módulo ESP32s.

Descripción	Característica
<b>Voltaje</b>	10-28 V
<b>Consumo de corriente</b>	0.21 A
<b>Memoria RAM</b>	64 MB
<b>Memoria flash</b>	16 MB
<b>Velocidad del procesador</b>	80 – 160 MHz
<b>Soporte de 802.11</b>	802,11 ac
<b>Máximas conexiones simultáneas</b>	5
<b>Rango</b>	10 km
<b>Precio</b>	\$49,95

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.13.1.1. Router

Para el *router* principal se seleccionó la misma gama del Mikrotik RB750 UPr2 Lite de 5 puertos, de los cuales 4 de ellos tiene velocidad de transmisión de 10/100 MB y todas sus salidas con PoE pasivo de 24 V. La Ilustración 29-3 muestra de forma física el *router* de Mikrotik.



**Ilustración 29-3:** Router Mikrotik

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 12-3:** Características principales del *router* Mikrotik.

Descripción	Característica
<b>Voltaje</b>	24 V
<b>Consumo de energía</b>	5 W
<b>Memoria RAM</b>	64 MB
<b>Velocidad del procesador</b>	80 – 160 MHz
<b>Puertos</b>	5 Ethernet
<b>Procesador</b>	650 MHz
<b>Soporte de 802.11</b>	802,11 n
<b>Precio</b>	\$20

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 12-3 muestra la descripción y las características de *router Mikrotik*, colocado en edificio principal de Tunshi – ESPOCH, para transmitir la señal de la red a 200 metros hacia el invernadero experimental.

El *router Tp-link TL-MR3420 V1* es inalámbrico con la capacidad de velocidad de transmisión de 300 MB. Además, consta con un sistema de fácil increpación que facilita la conexión con el *router* del edificio principal. También cuenta con un control de banda ancha programable por el administrador y su puerto WDS proporciona una conexión de enlace sin interrupción para expandir su red inalámbrica. Ver Ilustración 30-3.



**Ilustración 30-3:** Router TpLink

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 13-3:** Características principales de la antena Tp-link.

Descripción	Característica
<b>Voltaje</b>	9 DC
<b>Consumo de energía</b>	5,4 W
<b>Memoria RAM</b>	64 MB
<b>Memoria flash</b>	8 MB
<b>Velocidad del procesador</b>	400 MHz
<b>Soporte de 802.11</b>	802,11 b/g
<b>Consumo de corriente</b>	0,6A
<b>Precio</b>	\$10

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

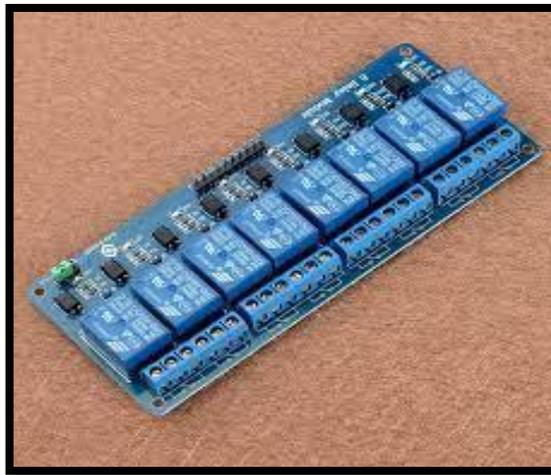
La Tabla 13-3 muestra una descripción de las características del *router tp-link* que se encuentra conectado en el invernadero experimental.

### 3.14. Dispositivos de activación de actuadores

Los dispositivos de activación reciben una señal que se envía a los motores para que abra o cierre a las cortinas de forma automática o manual por medio de la aplicación móvil.

#### 3.14.1. Relés

La regleta de 8 relés permite realizar los cambios entre las conexiones bifásicas del motor para de esta forma enclavarlos, abriendo las cortinas o cerrándolas respectivamente. La Ilustración 31-3 muestra los relés de Arduino.



**Ilustración 31-3:** Regleta de relés

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 14-3:** Características principales de la regleta de relés.

Descripción	Característica
<b>Voltaje</b>	5 V DC
<b>Consumo de energía</b>	5,4 W
<b>Memoria RAM</b>	64 MB
<b>Memoria <i>flash</i></b>	8 MB
<b>Velocidad del procesador</b>	400 MHz
<b>Soporte de 802.11</b>	802,11 b/g
<b>Consumo de corriente</b>	0,6A
<b>Precio</b>	\$13

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 14-3 refleja una descripción con las características de los relés que son dispositivos electromecánicos que se utilizan para controlar el flujo de corriente eléctrica en un circuito.

Funciona como un interruptor que se activa mediante una señal eléctrica y permite que la corriente fluya a través del circuito.

### 3.15. Dispositivos de visualización

Por medio del uso de dispositivos de visualización, el usuario podrá verificar los datos emitidos por los sensores de temperatura y humedad en tiempo real. Estos datos permiten considerar y realizar los cambios respectivos en los actuadores de las cortinas de forma manual para proteger la correcta humedad y temperatura para la producción del tomate en el invernadero.

#### 3.15.1. Pantalla LCD

Muestra mensajes al usuario para facilitar la interacción con el entorno. Este *display* tiene las características generales de la temperatura y humedad promedio en tiempo real del invernadero, se visualiza en la Ilustración 32-3.



**Ilustración 32-3:** Display LCD 16x2.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 15-3:** Características principales del *display*.

Descripción	Característica
<b>Voltaje</b>	5 V
<b>Interfaz de comunicación</b>	4 u 8 bits
<b>Controlador</b>	HD44780
<b>Peso</b>	32 kg
<b>Consumo de corriente</b>	25 mA
<b>Precio</b>	\$9

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 15-3 muestra las características principales de un LCD al ser un tipo de pantalla de cristal líquido que tiene dos líneas de 16 caracteres cada una, con un total de 32 caracteres para mostrar información recopilada de los sensores.

### 3.15.2. Diagrama de conexión para el invernadero experimental

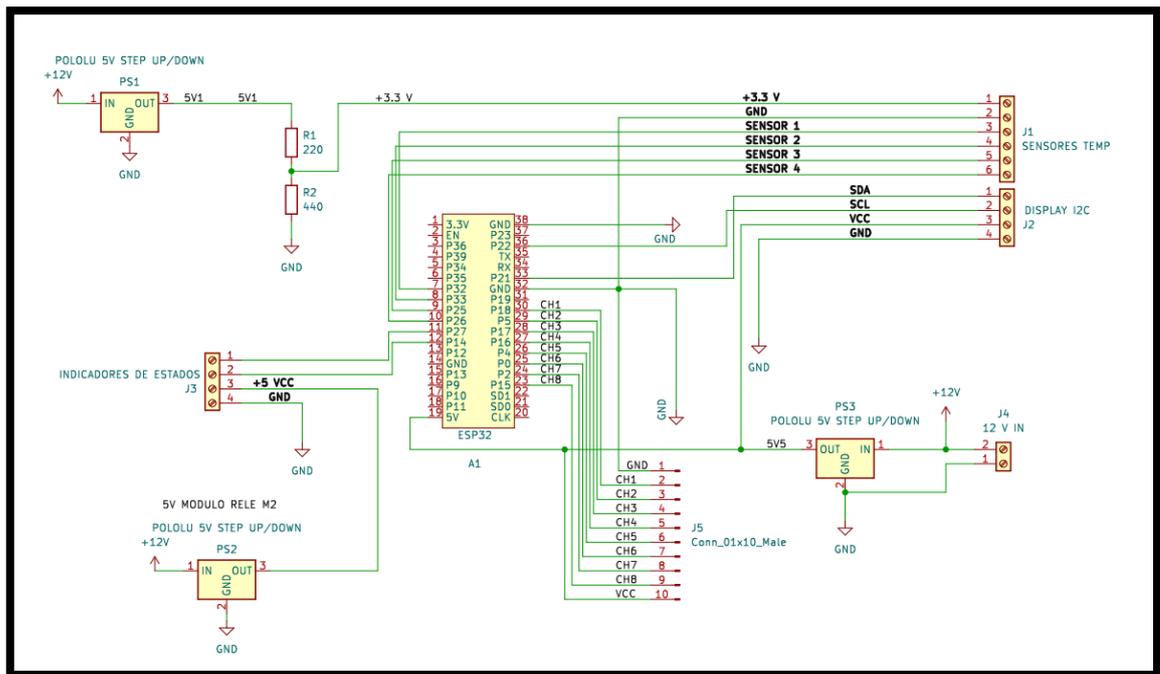
El diagrama de conexión se aprecia en la Ilustración 33-3 y permite identificar las conexiones necesarias para el funcionamiento de los dos motores que se encargan de elevar y bajar las cortinas según los datos de temperatura de los sensores enviados al sistema embebido controlado por dos ESP8266 un nano Arduino, los mismos que permiten el almacenamiento de los datos por medio de una aplicación. La alimentación del sistema se regulará mediante motores reductores, y los datos serán proyectados en una pantalla led. Además de la inclusión de botones que permitirá activar, desactivar y reiniciar los procesos de forma manual.

**Tabla 16-3:** Terminales de conexión del ESP32s

Terminales	Elementos
P32	Sensor 1
P33	Sensor 2
P25	Sensor 3
P26	Sensor 4
P27	Indicador de estados
P14	Indicador de estados
P18	CH1 de la regleta de relés
P5	CH2 de la regleta de relés
P17	CH3 de la regleta de relés
P16	CH4 de la regleta de relés
P4	CH5 de la regleta de relés
P0	CH6 de la regleta de relés
P2	CH7 de la regleta de relés
P15	CH8 de la regleta de relés
P21	<i>Display SDA</i>
P22	<i>Display SCL</i>

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

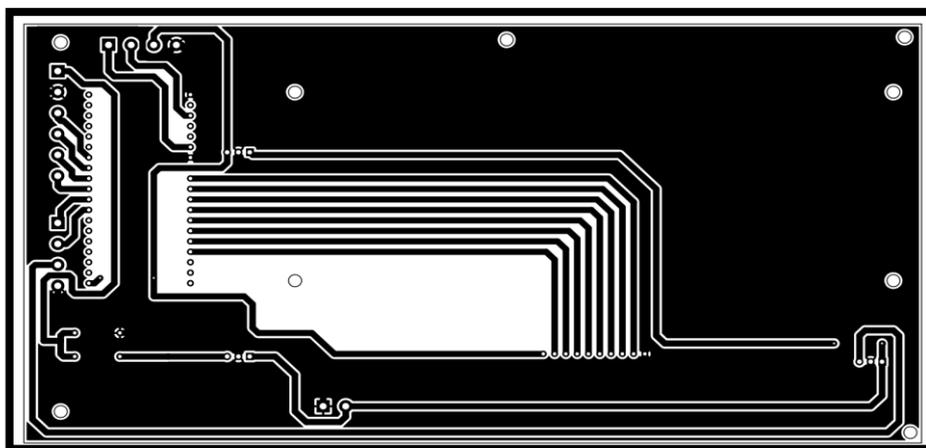
La Tabla 16-3 muestra los terminales del display con sus respectivas conexiones a los elementos que se utilizó en el control de la placa electrónica.



**Ilustración 33-3:** Esquemático del sistema de conexiones.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 34-3 se presenta el diseño PCB del módulo de control del invernadero experimental.



**Ilustración 34-3:** Diseño PCB del módulo de control.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 35-3a se presenta el proceso de implementación de la PCB que se inició desde la etapa de sublimación por medio de la impresión del esquemático del circuito sobre una baquelita de fibra de vidrio, que se utilizó por su alta resistencia y bajo costo. En la Ilustración

36-3b se evidencia el proceso de corrosión para obtener la placa y finalmente en la Ilustración 35-3c, se presenta el circuito implementado.



**Ilustración 35-3:** Sublimación diseño PCB.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

### 3.16. Caja térmica central

Para el punto de conexión eléctrica de la caja térmica del proyecto, se realiza el cableado desde la caja eléctrica del edificio principal hasta el invernadero con cable número 10. Se debe considerar la potencia de los motores y la distancia a recorrer para evitar las caídas de voltaje. Se utilizó 675 metros de cable, repartidos cada 225 metros correspondientemente a fase, tierra y neutro, pasados bajo tierra a una distancia de  $\frac{1}{2}$  metro y protegidos por una tubería plástica de  $\frac{3}{4}$ . En la toma de corriente del edificio principal se colocó un breaker para proteger de cualquier fallo de voltaje o corto circuito. Ver Ilustración 36-3.



**Ilustración 36-3:** Tubería con el cableado eléctrico

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La caja térmica se muestra en la Ilustración 37-3, formada por estructuras de materiales aislantes, en el invernadero, los cuales, se utilizan para proteger toda la parte electrónica de las condiciones externas que puedan afectar al funcionamiento general.; La caja contiene la visibilidad de indicadores, *switch* de 3 posiciones para activar la red eléctrica controlada por dos breaker: el primero ubicado en el edificio principal para proteger las conexiones de posibles cortes eléctricos, y el segundo ubicado en la caja térmica. También se dispone de las conexiones de la antena, así como el *router secundario* que recibe la información del *router* principal. En esta caja también se encuentra el cableado utilizado para el control de motores, sensores, y otros.



**Ilustración 37-3:** Caja térmica principal del invernadero.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 38-3 muestra los elementos internos que se encuentran en la caja térmica que son necesarios para el control de las cortinas del invernadero experimental.



**Ilustración 38-3:** Conexiones invernadero.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.17. Implementación de las antenas y *router* de comunicación WiFi

Las antenas permiten la conectividad a internet en el invernadero. Para su conexión se requirió una caja principal del edificio de Tunshi donde está colocado el *router* central y se colocó una antena en la terraza de dicho edificio (ver Ilustración 39-3), con dirección de la antena del invernadero, con el fin de obtener y enviar información (ver Ilustración 40-3).



**Ilustración 39-3:** Antena Mikrotik, invernadero

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.



**Ilustración 40-3:** Antena emisora Mikrotik, edificio central

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 41-3 muestra una caja de protección plástica, con el *router* principal que se encuentra en el edificio principal de Tunshi. Para el cableado UTP se utilizó canaletas plásticas para proteger de posibles daños.



**Ilustración 41-3:** Caja principal de router matriz

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

### **3.18. Requerimientos del diseño de *software***

El principal objetivo es recibir la información enviada por los sensores de temperatura y humedad para activar las cortinas del invernadero de tomate. Con el fin de mostrar esta información en tiempo real a la web se utiliza la plataforma *ThinkSpeak*. Además, se proyecta esta información en la pantalla LCD colocada en la caja central del invernadero.

### **3.19. Arquitectura de software del dispositivo**

Para la programación se utiliza programas gratuitos. En la programación del módulo ESP8266 y el Arduino pro mini se empleó el *software* de Arduino disponible en código abierto y su programación es de tipo C++. Para la aplicación móvil se utilizó la interfaz de APP inventor, que es un *software* libre de fácil acceso y su programación es en bloques.

#### **3.19.1. *Arduino 1.8.19***

Plataforma de *hardware* libre y de código abierto, es diseñada para facilitar el desarrollo de proyectos de electrónica, robótica y programación; integra (IDE) gratuito que se utiliza para programar y cargar código en las placas de microcontroladores de Arduino. El *software* de Arduino está disponible para Windows, Mac OS X y Linux. La placa de circuito impreso contiene un microcontrolador programable y una serie de pines de entrada/salida, a los cuales se pueden conectar diversos sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos (Banzi, 2008).

#### **3.19.2. *APP inventor***

App Inventor es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles gratuita y de código abierto creada por Google y actualmente mantenida por el MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts). Permite crear aplicaciones móviles para dispositivos Android sin necesidad de tener conocimientos avanzados de programación. App Inventor utiliza un enfoque visual y de bloques que facilita la creación de aplicaciones al permitir al usuario seleccionar diferentes bloques de código para construir el software deseado (Wolber, 2011).

#### **3.19.3. *Firebase***

Plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles y web que ofrece un conjunto de herramientas y servicios para simplificar el proceso de creación de aplicaciones de alta calidad. Entre sus

servicios, *Firebase* incluye opciones de almacenamiento en la nube para aplicaciones, que permiten a los desarrolladores guardar y recuperar datos fácilmente, desde cualquier lugar del mundo.

*Firebase* ofrece dos opciones de almacenamiento de datos: *Cloud Firestore* y *Realtime Database*. *Cloud Firestore* es una base de datos NoSQL que permite el almacenamiento y sincronización en tiempo real de datos entre aplicaciones en dispositivos móviles y web. Por otro lado, *realtime database* es una base de datos en tiempo real que permite a los desarrolladores almacenar y sincronizar datos de forma automática y en tiempo real, que facilita la creación de aplicaciones que requieren datos en tiempo real (Gupta, 2019).

#### 3.19.4. *ThingSpeak*

Plataforma de Internet de las cosas (IoT) permite a los usuarios recopilar, almacenar y analizar datos de sensores y otros dispositivos conectados a la red. *ThingSpeak* es propiedad de *MathWorks*, una compañía especializada en software de cálculo numérico y desarrollo de aplicaciones. Además de almacenar y visualizar datos, también proporciona herramientas para analizar y procesar en tiempo real. Los usuarios pueden crear scripts de MATLAB para procesar datos, realizar análisis estadísticos y crear gráficos y visualizaciones personalizadas. Utiliza en una variedad de aplicaciones de IoT, desde la monitorización del clima y el medio ambiente hasta la automatización de procesos industriales y la gestión de edificios inteligentes (MathWorks, 2022).

### 3.20. Programación de los nodos del módulo electrónico

A continuación, se detallan las librerías utilizadas y diagramas de flujo correspondientes a la programación de la tarjeta de procesamiento ESP32s que permiten el control y accionamiento de los relés para los actuadores del invernadero experimental. En el Anexo K se presentan las programaciones respectivas.

En la Tabla 17-3 se describen las librerías representativas de la programación.

**Tabla 17-3:** Librerías representativas de los programas realizados.

Librerías	Descripción
<b>WiFi.h</b>	Permite que un Arduino se comunique con una red WiFi. Esta biblioteca proporciona una API para establecer una conexión a una red WiFi, enviar y recibir datos, y administrar la conexión (Arduino, 2022).

<b>FirestoreESP32.h</b>	Permite la comunicación con la plataforma Firebase de Google a través de un dispositivo ESP32 (Arduino, 2022).
<b>DHT.h</b>	Permite leer la temperatura y la humedad relativa a través de un sensor de temperatura y humedad. Los sensores más comunes que se utilizan con esta biblioteca son los sensores de la serie DHT11 y DHT22 (Arduino, 2022).
<b>LiquidCrystal_I2C.h</b>	Permite controlar pantallas LCD utilizando el protocolo de comunicación I2C. Esta biblioteca se utiliza comúnmente con pantallas LCD de 16x2 o 20x4 caracteres y un módulo I2C para reducir la cantidad de pines necesarios para la conexión (Arduino, 2022).
<b>addons/RTDBHelper.h</b>	Proporciona una interfaz fácil de utilizar para interactuar con la base de datos en tiempo real (RTDB) de <i>Firebase</i> . La RTDB es un servicio de base de datos en tiempo real que proporciona una solución de backend en la nube para aplicaciones que necesitan un alto nivel de sincronización en tiempo real (Arduino, 2022).

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.20.1. Diagrama de flujo del algoritmo

En la Ilustración 43-3 se muestra el diagrama de flujo del sistema que representa el proceso de automatización del invernadero, en base a los parámetros de temperatura y humedad que permiten generar un microclima idóneo para las plantaciones de tomate que se encuentran en él. Se necesita enviar una señal a los actuadores que en este caso son los motores, que se encargan de abrir y cerrar las cortinas de ventilación del invernadero.

#### Inicialización

- Se incluyen las librerías **WiFi.h**, **DHT.h**, **LiquidCrystal\_I2C.h**, **FirestoreESP32.h** y **addons/RTDBHelper.h**, descritas en la Tabla 15-3.
- Se define los parámetros del LCD.
- Se define el *host* para la base de datos que es la dirección a la cual se almacenará la información, y el *auth* que es el código generado por la aplicación.
- Se define la ruta de la aplicación móvil y su clave respectiva.
- Se define las rutas correspondientes a *thinkspeak*.
- Se definen las salidas de los cuatro sensores del invernadero experimental, como sensor uno con el terminal 0, terminal 2 con el terminal 2, terminal 3 con el terminal 15 y el sensor 4 con el terminal 7.
- Se define con variables flotantes a la inicialización de las variables.
- En el *void Setup* se definen los pines de salida para el LCD y la conexión remota por wifi a la base de datos y *thinkspeak*.

### Bucle de repetición

- Se establece un *void loop* para leer los datos entregados por los sensores, y se los imprimen en las variables declaradas en el *void SetUp*
- Se comprueba que la trama de datos es recibida
- Por medio de la activación de los contactos en HIGH de los terminales 16, 17 5, 18, 4, 0, 2 y 15, definidos para los contactos de relés de activación de los motores.

**Tabla 18-3:** Variables empleadas en la programación del bloque de procesamiento del nodo central

Nombre	Tipo de variable	Descripción
h1, h2, h3, h4	<i>float</i>	Variables de humedad
t1, t2, t3, t4	<i>float</i>	Variables de temperature
Ruta y apikey	string	Variables de envío a la aplicación creada por app inventor
said, pass	char	Conexión WiFi direccionamiento IP
Server	Char	Variable del servidor de base datos <i>firebase</i>
Ci	String	Variable para encender cortina izquierda
Cd	String	Variable para encender cortina derecha

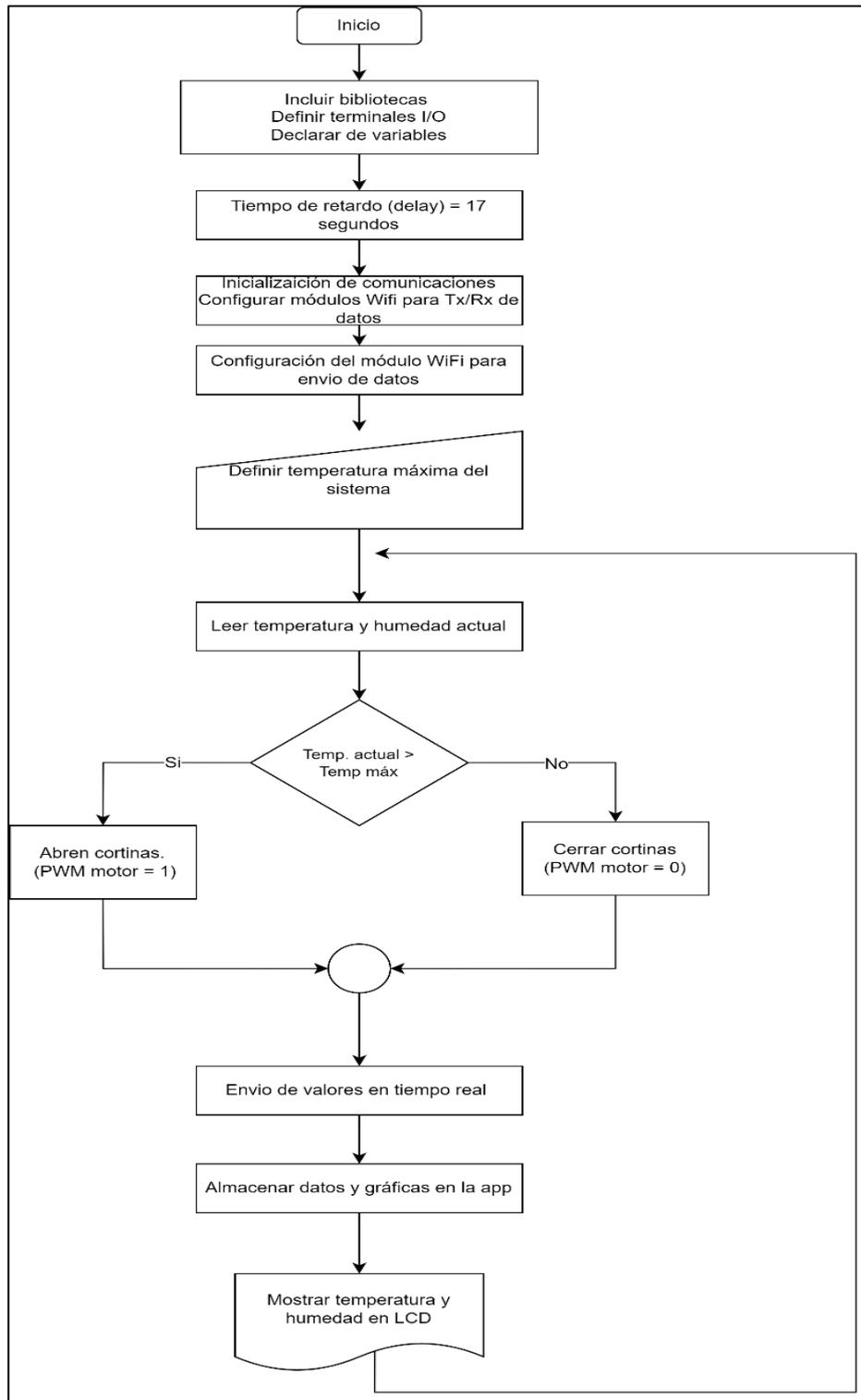
**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 19-3:** Variables asociadas a la base de datos.

Variable	Valor
<i>pinMode</i>	Define los pines de salida o entrada
<i>digitalWrite</i>	Se define los pines para activar los relés de los motores
<i>lcd.init</i>	Se inicia el LCD para la proyección de las variables
<i>Wifi.status</i>	Definir la conexión a la red
<i>Firebase.setInt</i>	Se obtienen los datos desde la base de datos en entero

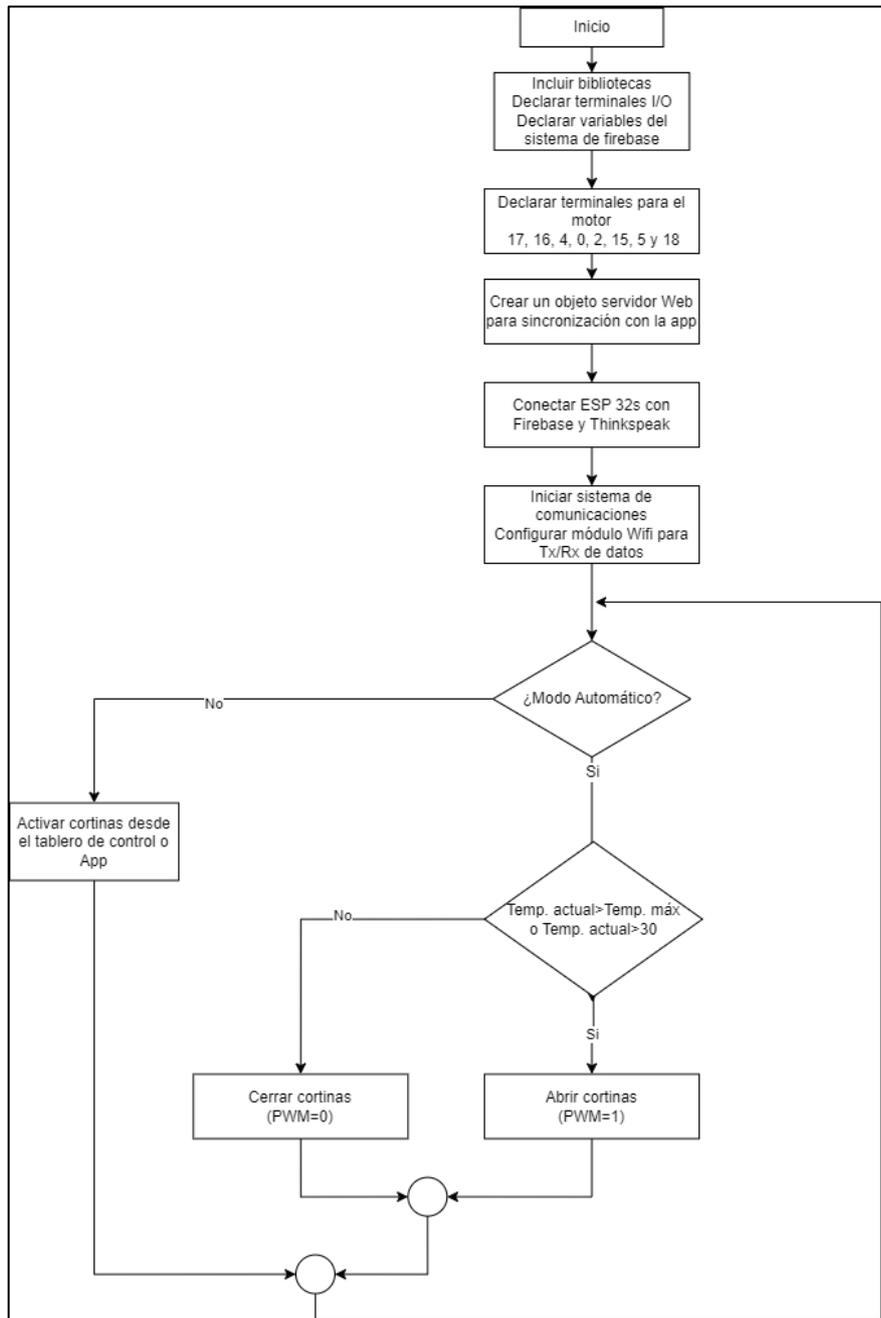
**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 42-3 se refleja el diagrama de control por medio del servidor de *firebase* para el envío de datos y el accionar de las corinas.



**Ilustración 42-3:** Diagrama de flujo del algoritmo de modo automático

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.



**Ilustración 43-3:** Diagrama de flujo del control manual y automático

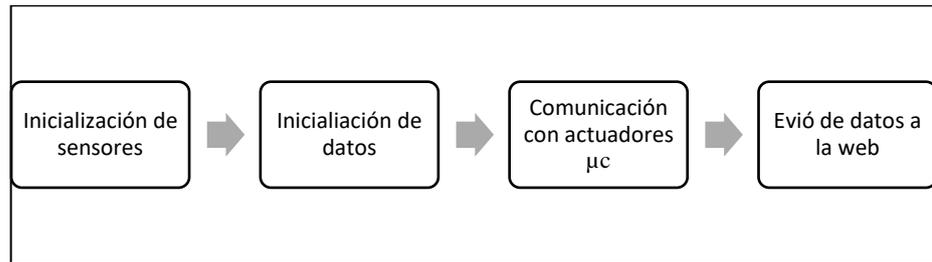
Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 20-3:** Variables asociadas a la base de datos.

Variable	Valor
<i>dht1.readHumidity</i>	Se leen los valores de humedad
<i>dht1.readTemperature</i>	Se leen los valores de temperatura
<i>lcd.print</i>	Se imprime la temperatura del invernadero experimental

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

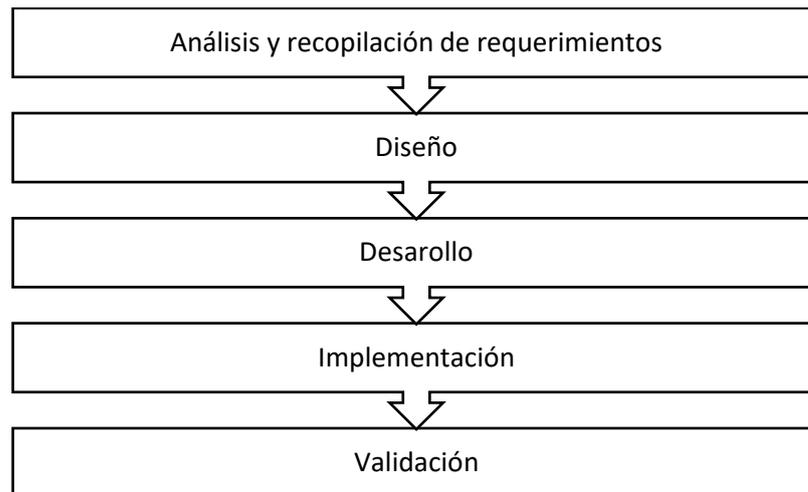
El algoritmo principal del sistema tiene como principales objetivos el cumplir con 4 etapas que se muestran con continuación en la Ilustración 44-3:



**Ilustración 44-3:** Diagrama del algoritmo principal

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

A continuación, se definen las etapas del proyecto en base al ciclo de vida de software y los requerimientos del sistema, como se muestra en la Ilustración 45-3. Para esto, se diseña una plataforma que permita adquirir la información hardware por medio de la visualización de un software que muestre los valores de temperatura y humedad.

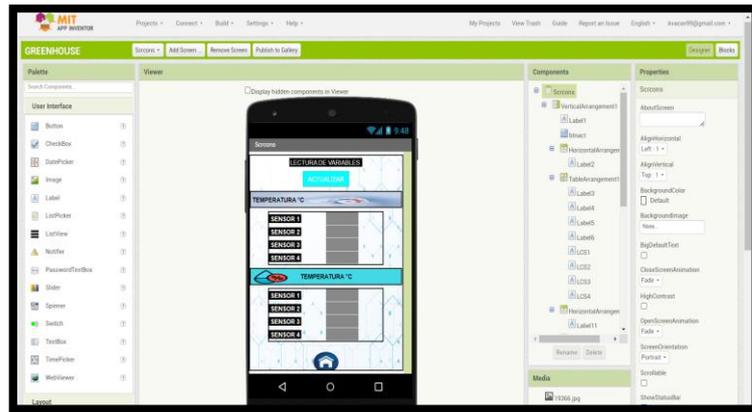


**Ilustración 45-3:** Análisis de las etapas del proyecto

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.21. Aplicación móvil en APP inventor

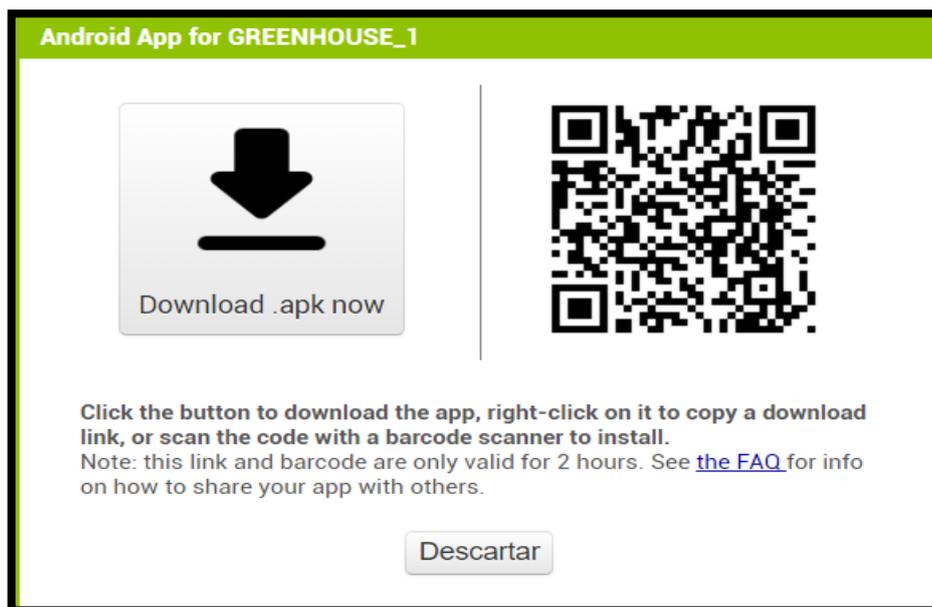
Por medio de la interfaz de App Inventor se procede a diseñar la interfaz de *greenhouse*, que tiene como objetivo controlar y supervisar las variables climáticas ambientales de temperatura y humedad para accionar los motores de las cortinas. Para ello, se dispone de varias *pantallas* en este diseño. La Ilustración 46-3 muestra cómo se diseña en *app inventor*.



**Ilustración 46-3:** Diseño de la aplicación GreenHouse

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La interfaz de inventor permite descargar la aplicación generada mediante el documento en *apk* o por medio del código QR generado para que se pueda utilizar en dispositivos Android. Como se observa en la Ilustración 47-3.



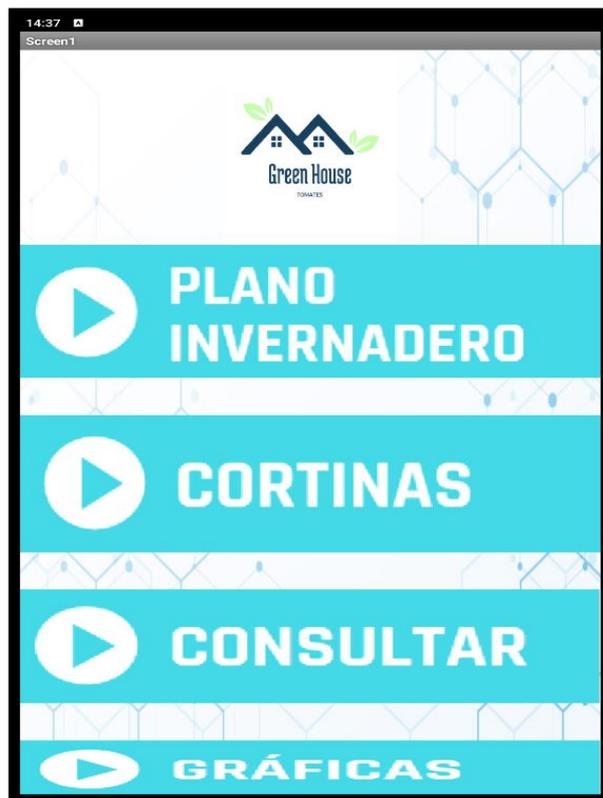
**Ilustración 47-3:** QR de descarga de la app para dispositivos android.0

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

Al ingresar a la *app* de **greenhouse** se dispone de un menú principal con de 4 opciones como se muestra en la Ilustración 48-3 y corresponden al siguiente detalle:

- **Plano invernadero:** se encuentra una imagen con las posiciones en las cuales está distribuido los sensores y el nombre que se dio a las cortinas (derecha o izquierda).

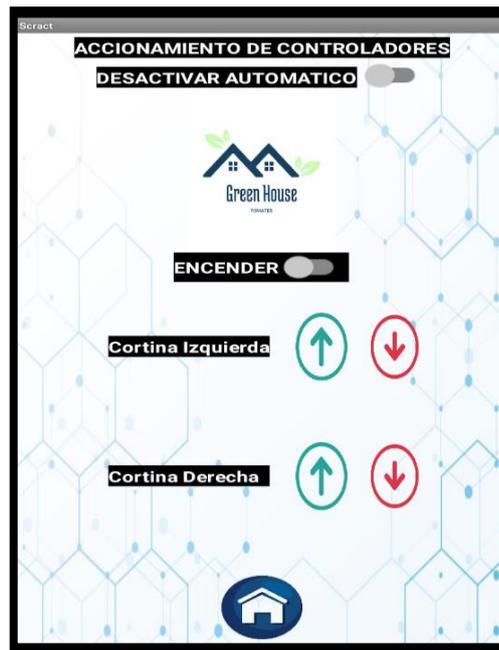
- **Cortinas:** permite enviar la señal a los actuadores de forma manual para subir o bajar las cortinas.
- **Consultar:** observar los datos en tiempo real y activar los motores de forma remota para subir o bajar las cortinas.
- **Gráficas:** se realizarán gráficas de la temperatura del invernadero por medio de *thinkspeak* y permite descargar en extensión CSV.



**Ilustración 48-3:** Diseño de la pantalla de inicio de la app

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

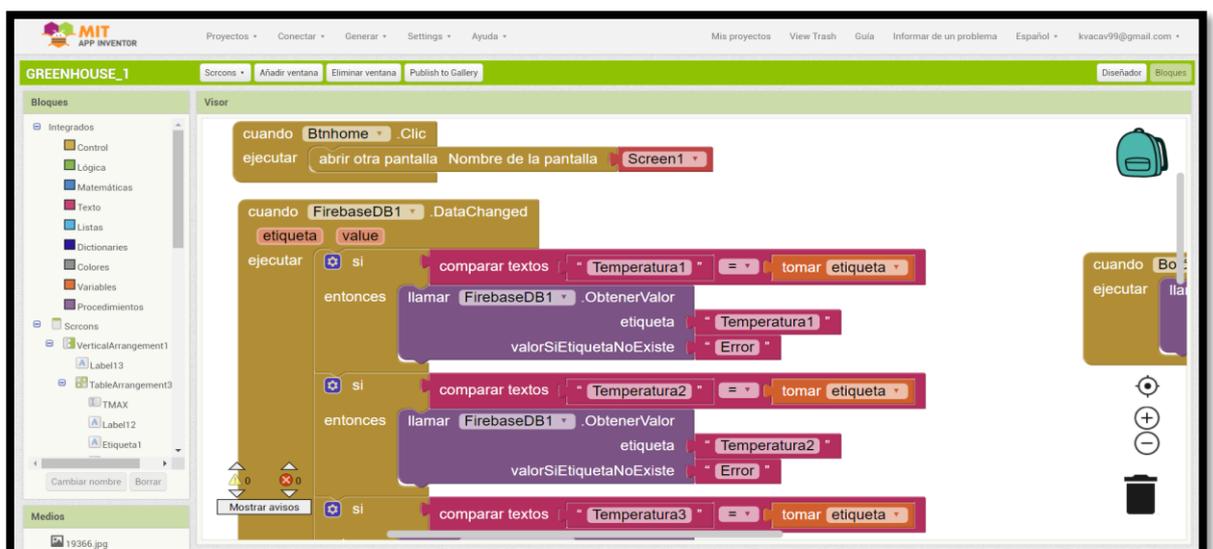
La Ilustración 49-3 muestra la *screen* de cortinas, en la cual, se puede manipular para subir o bajar las cortinas con los botones de la aplicación, sea de la cortina del lado derecho o izquierdo de forma manual, sí así lo requiere el usuario. Además, cuenta con un switch para desactivar el modo automático y un switch de encender para manipular las cortinas de forma manual desde la *app*, que por medio de la programación al presionar se envían pulsos de 2 segundos.



**Ilustración 49-3:** *Screen* de Consultar.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En cuanto a la programación que se genera por medio de la interfaz de inventor en tipo bloque, se necesita configurar el recibir los datos desde *firebase*. Posteriormente, se llama a cada *label* para la lectura por medio de la programación realizada en Arduino, para que se proyecte en la pantalla y los valores sean controlados. Adicionalmente, el botón de Actualizar permite al usuario evaluar en tiempo real los parámetros en los que se encuentra el microclima del invernadero, ver ilustración 50-3.



**Ilustración 50-3:** Segmento del programa de la app.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

### 3.22. Configuración de antenas Mikrotik

Para la conexión de antenas de punto a punto Mikrotik se utilizó el *software* de *Wimbox*, mediante el cual, permite administrar los equipos de interfaz gráfica, para la detección de las antenas y transmisión de tráfico de datos hacia el invernadero. Es una interfaz de fácil acceso que facilita las conexiones por vías de DTP, telnet y SSH.

Los pasos para configurar las antenas

1. Se colocan las antenas apuntando una con la otra (de esto depende de la velocidad de tráfico de datos, optimizando de esta forma la conexión)
2. Configurar la dirección IP estática y máscara de red de cada antena a través de un navegador web.
3. Configurar la conexión inalámbrica por medio del mismo canal y mismos ajustes de seguridad.
4. Establecer el modo de operación en este caso tipo *router*.
5. Configurar la seguridad.
6. Configurar la calidad de servicio (QoS).
7. Configuración la administración remota, se crea una contraseña para la red remota.
8. Prueba de conexión por medio de pruebas de ping entre ellas y herramientas de velocidad de la red.

Los parámetros obtenidos de la configuración de las antenas se pueden observar en el Anexo G.

## CAPÍTULO IV

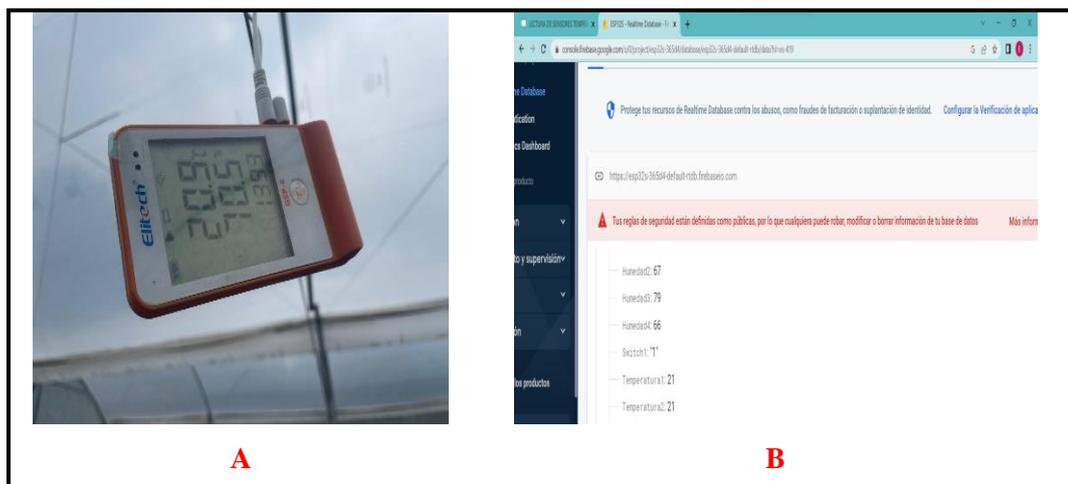
### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan las ventajas de la automatización, validación y estabilidad de los sensores, comunicación, integridad de la información, prueba de parámetros de tiempo para activación del motor, prueba de tiempo de transmisión de los datos a la web y evaluación económica.

#### 4.1. Validación de sensores

El objetivo de la prueba es confirmar y validar la lectura de los valores de temperatura y humedad recogidos por los sensores del invernadero experimental, para lo cual, a continuación, se realiza el cálculo correspondiente al error absoluto y relativo entre las muestras tomadas en el invernadero experimental sobre los parámetros de temperatura.

La prueba se realizó por medio de la aplicación del envío de datos en tiempo real a la web. El termómetro de *Elitech* se utilizó en el invernadero para realizar pruebas de temperatura y humedad como se muestra en la Ilustración 1-4. Se recogen 20 datos para la comparativa en tiempo real que son tomados cada 14 segundos. La ilustración 1-4B muestra los datos en tiempo real recolectados por la base de datos *firebase*.



**Ilustración 1-4:** Evidencia de prueba de validación de sensores.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

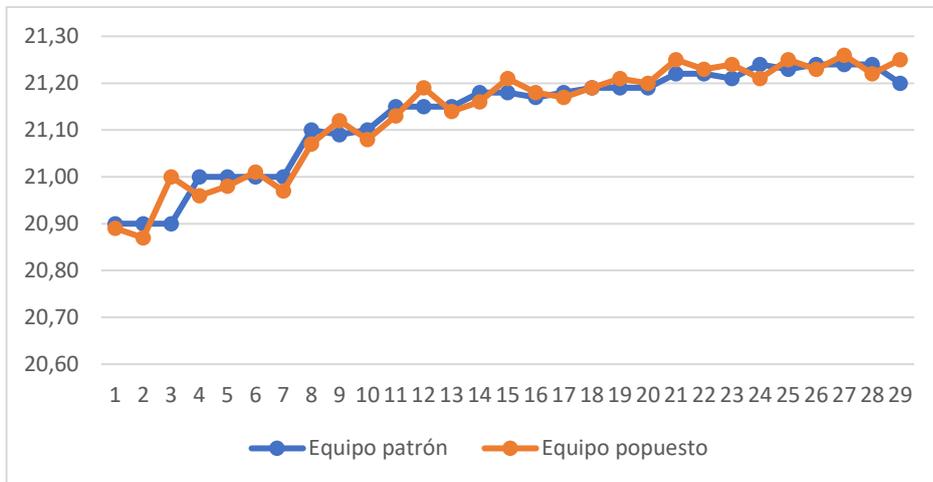
**Tabla 1-4:** Validación de datos de temperatura.

Número de muestras	Medición de equipo patrón °C	Medición de temperatura propuesta °C	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	20,90	20,89	0,010	0,479
2	20,90	20,87	0,030	1,437
3	20,90	21,00	0,100	4,762
4	21,00	20,96	0,040	1,908
5	21,00	20,98	0,020	0,953
6	21,00	21,01	0,010	0,476
7	21,00	20,97	0,030	1,431
8	21,10	21,07	0,030	1,424
9	21,09	21,12	0,030	1,420
10	21,10	21,08	0,020	0,949
11	21,15	21,13	0,020	0,947
12	21,15	21,19	0,040	1,888
13	21,15	21,14	0,010	0,473
14	21,18	21,16	0,020	0,945
15	21,18	21,21	0,030	1,414
16	21,17	21,18	0,010	0,472
17	21,18	21,17	0,010	0,472
18	21,19	21,19	0,000	0,000
19	21,19	21,21	0,020	0,943
20	21,19	21,20	0,010	0,472
21	21,22	21,25	0,030	1,412
22	21,22	21,23	0,010	0,471
23	21,21	21,24	0,030	1,412
24	21,24	21,21	0,030	1,414
25	21,23	21,25	0,020	0,941
26	21,24	21,23	0,010	0,471
27	21,24	21,26	0,020	0,941
28	21,24	21,22	0,020	0,943
29	21,20	21,25	0,050	2,353
30	21,26	21,29	0,030	1,409
<b>Promedio</b>			<b>0,025</b>	1,168

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Tabla 1-4 se obtiene un error absoluto de  $\pm 0,025$  siendo menor al rango de  $\pm 0,5$  que presenta el sensor comercial *Elitech GSP-6 data logger* con el que se realizó la prueba de comparación,

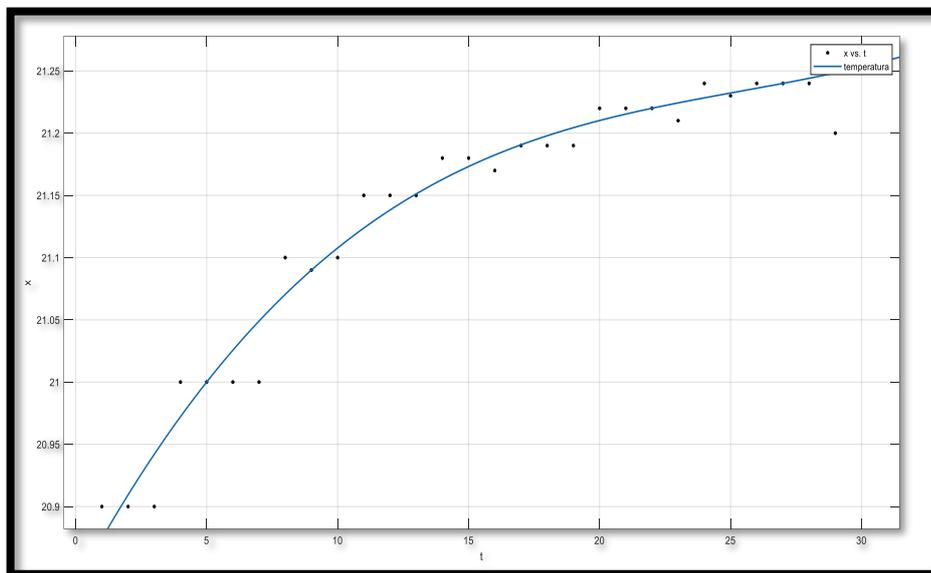
siendo el error relativo de 1,168% el cual al ser mayor que 1% y menor al 5% indica que “el resultado experimental se encuentra en un rango de bueno y aceptable” (Santo & Lecumberry, 2005).



**Ilustración 2-4:** Análisis comparativo de los valores de temperatura.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 2-4 muestra una gráfica comparativa de los datos recolectados por el equipo patrón el sensor comercial *Elitech GSP-6 data logger* y el equipo propuesto con los sensores *dht Am2301* localizados a lo bajo del invernadero experimental de Tunshi.



**Ilustración 3-4:** Análisis de la curva de los valores de temperatura

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La ilustración 3-4 presenta el análisis de la curva de los datos obtenidos por medio de un modelo polinomial de tercer grado el cual evalúa los valores de temperatura. Con ayuda del software de

Matlab se estudia el modelo lineal del polinomio de tercer grado para predicción de los valores de temperatura por medio de la Ecuación 17-4:

$$f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$$

**Ecuación 17-4:** Polinomio de tercer grado predicción de los valores de temperatura.

Donde:

Los coeficientes tienen un límite de confianza de 95%, para la media poblacional indica que, si se repitiera el experimento un número determinado de veces, el 95% de las veces el intervalo incluiría el verdadero valor de la media poblacional (Moore & McCabe, 2019).

$$p1 = 1,402e-05 (-1,348e-06; 2,939e-05)$$

$$p2 = -0,001242 (-0,001966; -0,0005179)$$

$$p3 = 0,03804 (0,0283; 0,04778)$$

$$p4 = 20,84 (20,8; 20,87)$$

En la Tabla 2-4 se obtiene un error absoluto de  $\pm 1,110$  siendo menor al rango de  $\pm 3$  que presenta el sensor comercial *Elitech GSP-6 data logger* con el que se realizó la prueba de comparación, y siendo el error relativo de 1,563% el cual al ser mayor que 1% y menor al 5% indica que la calidad de la medida es entre bueno y aceptable. Esto permite concluir que el resultado experimental se encuentra en un rango de bueno y aceptable (Santo & Lecumberry, 2005).

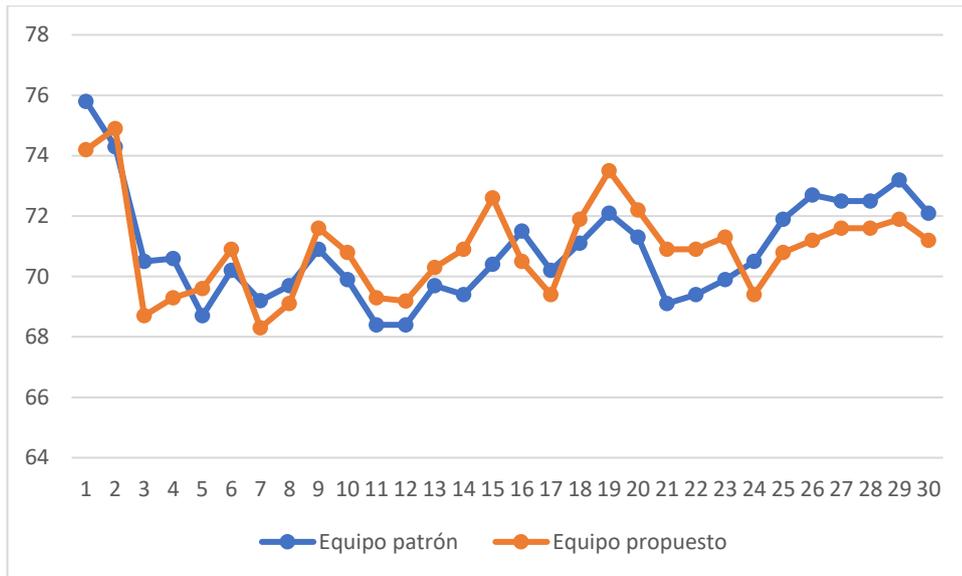
**Tabla 2-4:** Validación de datos de humedad.

Número de muestras	Medición de equipo patron %RH	Medición de temperatura propuesto %RH	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	75,8	74,20	1,600	2,156
2	74,3	74,90	0,600	0,801
3	70,5	68,70	1,800	2,620
4	70,6	69,30	1,300	1,876
5	68,7	69,60	0,900	1,293
6	70,2	70,90	0,700	0,987
7	69,2	68,30	0,900	1,318
8	69,7	69,10	0,600	0,868
9	70,9	71,60	0,700	0,978
10	69,9	70,80	0,900	1,271

11	68,4	69,30	0,900	1,299
12	68,4	69,19	0,790	1,142
13	69,7	70,30	0,600	0,853
14	69,4	70,90	1,500	2,116
15	70,4	72,60	2,200	3,030
16	71,5	70,50	1,000	1,418
17	70,2	69,40	0,800	1,153
18	71,1	71,90	0,800	1,113
19	72,1	73,50	1,400	1,905
20	71,3	72,20	0,900	1,247
21	69,1	70,90	1,800	2,539
22	69,4	70,90	1,500	2,116
23	69,9	71,30	1,400	1,964
24	70,5	69,40	1,100	1,585
25	71,9	70,80	1,100	1,554
26	72,7	71,20	1,500	2,107
27	72,5	71,60	0,900	1,257
28	72,5	71,60	0,900	1,257
29	73,2	71,90	1,300	1,808
30	72,1	71,20	0,900	1,264
<b>Promedio</b>			1,110	1,563

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 4-4 muestra la gráfica de los datos de humedad recolectados por el sensor comercial *Elitech GSP-6 data logger* y los sensores dht Am2301 localizados en la parte baja del invernadero experimental de Tunshi. En azul se muestra el equipo patrón y en rojo el equipo propuesto.



**Ilustración 4-4:** Análisis compartivo de los valores de humedad.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 5-4 presenta el análisis de la curva de los datos obtenidos por medio de un modelo polinomial de tercer grado el cual evalúa los valores de temperatura. Con ayuda del software de Matlab se estudia el modelo lineal del polinomio de tercer grado para predicción de los valores de humedad por medio de la Ecuación 17-4:

$$f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$$

**Ecuación 18-4:** Polinomio de tercer grado predicción de los valores de humedad.

Donde:

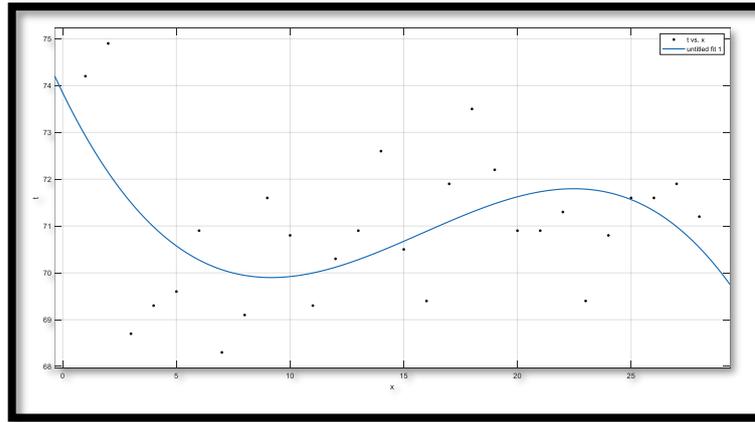
Los coeficientes tienen un límite de confianza de 95%. para la media poblacional indica que, si se repitiera el experimento un número determinado de veces el 95% de las veces el intervalo incluiría el verdadero valor de la media poblacional (Moore & McCabe, 2019).

$$p1 = -0,001612 (-0,003005; -0,0002187)$$

$$p2 = 0,0765 (0,0151; 0,1379)$$

$$p3 = -0,9961 (-1,77; -0,2227)$$

$$p4 = 73,84 (71,21; 76,48)$$



**Ilustración 5-4:** Análisis de la curva de los valores de humedad

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

#### 4.2. Estabilidad de los sensores

El principal objetivo es verificar la precisión de los sensores Am2301, por medio del cálculo del coeficiente de variación. Para esta prueba se recogen 20 datos para la comparativa en tiempo real se toman cada 14 segundos entre cada dato.

**Tabla 3-4:** Estabilidad de los sensores de temperatura

Número de muestras	Fecha/Hora	Medición sensor 1	Medición sensor 2	Medición sensor 3	Medición sensor 4	Temperatura
1	2023-02-21 13:09:12 UTC,5339	12,90	13,80	13,70	14,10	14,10
2	2023-02-21 13:09:27 UTC,5340	12,90	13,80	13,70	14,10	13,80
3	2023-02-21 13:09:42 UTC,5341	12,90	13,80	13,70	14,10	14,10
4	2023-02-21 13:10:03 UTC,5342	12,90	13,80	13,70	14,10	14,10
5	2023-02-21 13:10:18 UTC,5343	12,90	13,80	13,70	14,10	14,10
6	2023-02-21 13:10:40 UTC,5344	12,90	13,80	13,70	14,10	14,10
7	2023-02-21 13:11:03 UTC,5345	12,90	12,90	13,80	14,10	14,10
8	2023-02-21 13:11:21 UTC,5346	12,90	13,80	13,70	14,10	14,10
9	2023-02-21 13:11:36 UTC,5347	12,90	13,90	13,70	14,10	14,10

10	2023-02-21 13:11:51 UTC,5348	13,10	13,90	13,70	14,10	13,90
11	2023-02-21 13:12:06 UTC,5349	12,90	13,90	13,70	14,10	14,10
12	2023-02-21 13:12:24 UTC,5350	12,90	13,90	13,70	14,10	14,10
13	2023-02-21 13:12:39 UTC,5351	12,90	13,90	13,70	14,10	14,10
14	2023-02-21 13:12:55 UTC,5352	13,10	13,90	13,70	14,10	14,10
15	2023-02-21 13:13:15 UTC,5353	13,10	13,90	13,70	14,10	14,10
16	2023-02-21 13:13:33 UTC,5354	12,90	13,90	13,70	14,10	14,10
17	2023-02-21 13:13:55 UTC,5355	12,90	13,90	13,70	14,10	14,10
18	2023-02-21 13:14:15 UTC,5356	12,90	13,90	13,70	14,20	14,20
19	2023-02-21 13:14:30 UTC,5357	13,10	13,90	13,70	14,10	14,10
20	2023-02-21 13:14:48 UTC,5358	13,10	13,90	13,80	14,10	14,10
<b>Media</b>		12,95	13,815	13,71	14,105	14,105
<b>Desviación estándar</b>		0,0889	0,221	0,031	0,022	0,022
<b>CV %</b>		0,69	1,60	0,22	0,16	0,16

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 3-4 muestra la media de cada sensor y la temperatura final del invernadero que es tomada del valor de la muestra mayor de los sensores. Estos datos son obtenidos por medio de la recolección de los datos en *thinkspeak* en tiempo real con una diferencia de 14 segundos entre cada dato, reflejando una media de 14,11°C, una desviación estándar máxima de los sensores de 0,221 y un coeficiente de variación de 1,6% el cual refleja un porcentaje menor a 15% que significa una variabilidad baja (Altman, 1991).

**Tabla 4-4:** Estabilidad de los sensores de humedad.

Número de muestras	Fecha/Hora	Medición sensor 1	Medición sensor 2	Medición sensor 3	Medición sensor 4	Humedad
1	2023-02-21 13:09:27 UTC,5340	93,20	94,20	93,50	92,10	94,20

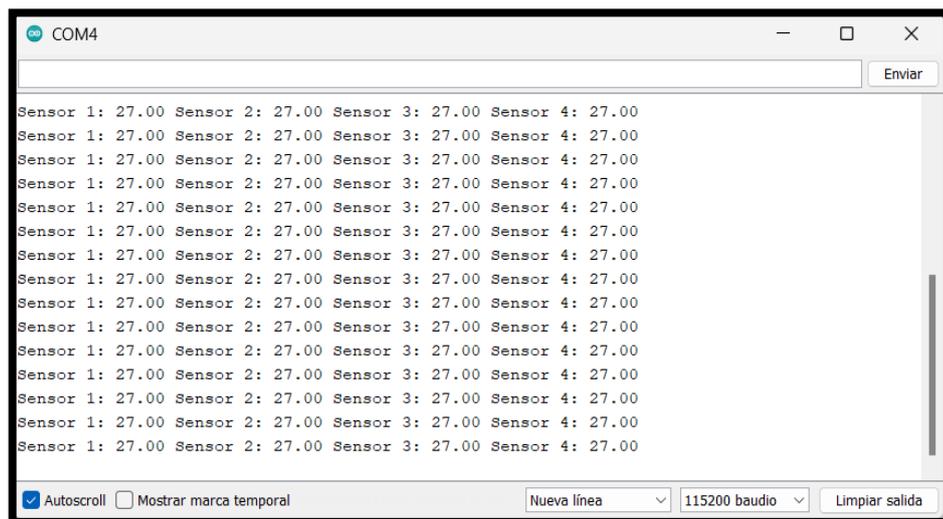
2	2023-02-21 UTC,5341	13:09:42	93,60	94,00	93,40	92,10	94,00
3	2023-02-21 UTC,5342	13:10:03	93,10	93,60	93,60	92,90	93,60
4	2023-02-21 UTC,5343	13:10:18	93,80	93,80	92,60	93,10	93,80
5	2023-02-21 UTC,5344	13:10:40	92,30	94,30	92,60	93,50	94,30
6	2023-02-21 UTC,5345	13:11:03	92,30	93,90	93,90	93,60	93,90
7	2023-02-21 UTC,5346	13:11:21	92,10	95,00	93,20	93,20	95,00
8	2023-02-21 UTC,5347	13:11:36	92,70	94,70	93,20	93,70	94,70
9	2023-02-21 UTC,5348	13:11:51	93,50	94,30	93,40	93,90	94,30
10	2023-02-21 UTC,5349	13:12:06	93,40	94,50	93,70	93,90	94,50
11	2023-02-21 UTC,5350	13:12:24	93,60	94,80	93,60	93,60	94,80
12	2023-02-21 UTC,5351	13:12:39	94,40	95,00	93,70	93,60	95,00
13	2023-02-21 UTC,5352	13:12:55	94,40	95,10	94,10	94,10	95,10
14	2023-02-21 UTC,5353	13:13:15	94,70	95,20	94,10	94,10	95,20
15	2023-02-21 UTC,5354	13:13:33	94,80	94,90	94,00	95,40	95,40
16	2023-02-21 UTC,5355	13:13:55	94,10	94,60	94,00	95,20	95,20
17	2023-02-21 UTC,5356	13:14:15	94,60	94,40	94,00	94,90	94,90
18	2023-02-21 UTC,5357	13:14:30	93,90	94,10	94,10	95,10	95,10
19	2023-02-21 UTC,5358	13:14:48	94,10	94,00	93,70	94,50	94,50
20	2023-02-21 UTC,5359	13:15:04	94,30	93,80	94,00	94,70	94,70
<b>Media</b>			93,65	94,41	93,62	93,86	93,65
<b>Desviación estándar</b>			0,824	0,485	0,454	0,932	0,824
<b>CV %</b>			0,88	0,51	0,48	0,99	0,88

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 4-4 muestra la media de cada sensor y la temperatura final del invernadero la cual es tomada del valor muestra mayor de los sensores. Estos datos son obtenidos por medio de la recolección de los datos en *thinkspeak* en tiempo real con una diferencia de 14 segundos entre cada dato, reflejando una media de 93,65%, una desviación estándar máximo de 0,932 y un coeficiente de variación máximo de 0,99 concluyendo que entra en el rango menor al 15%, lo que significa que tiene baja variabilidad (Altman, 1991).

### 4.3. Comunicación

El objetivo es validar el envío de datos de temperatura y humedad que se toman de los sensores hacia la aplicación móvil, base de datos y *thinkspeak* para que los usuarios expertos puedan visualizar y validar el microclima del invernadero experimental de Tunshi. El control de la comunicación se realiza mediante la programación en Arduino 1.8.19, por medio de ESP32s. La Ilustración 6-3 muestra el envío de datos al COM de Arduino para comprobar los valores.



**Ilustración 6-4:** Evidencia de la prueba de supervisión de datos.

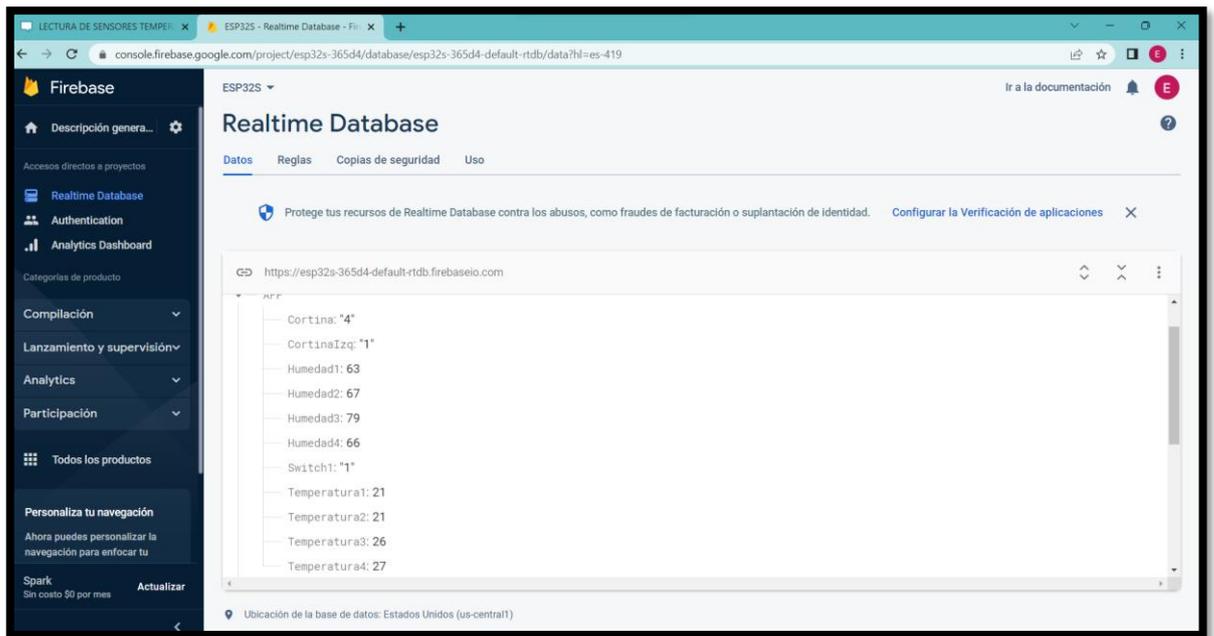
**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

En la Ilustración 7-4 y 8-4 muestran las gráficas y los valores de los sensores de temperatura y humedad recolectados en tiempo real por la base de datos de *firebase* y *thinkspeak* los cuales se pueden visualizar desde cualquier dispositivo conectado a la red de forma remota.



**Ilustración 7-4:** Supervisión de datos enviados a *thingspeak*.

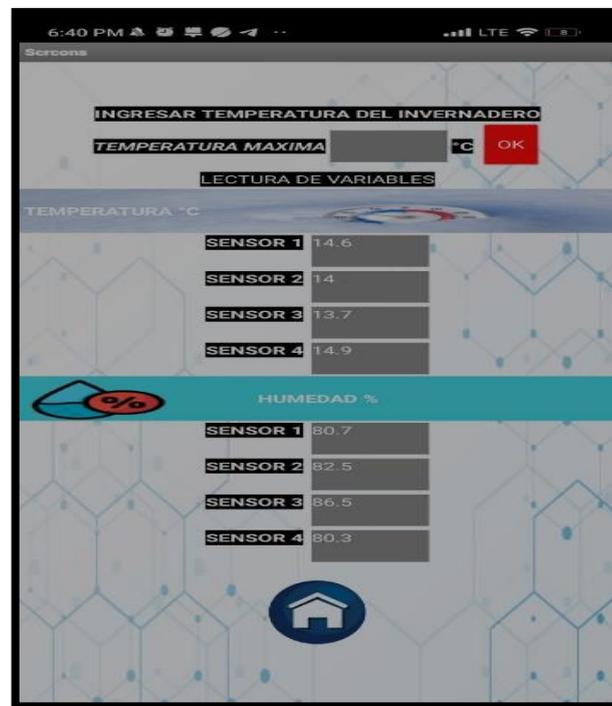
**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.



**Ilustración 8-4:** Evidencia de supervisión de datos enviados a *firebase*

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 9-4 muestra el resultado de los valores obtenidos por la aplicación móvil y el parámetro de temperatura máxima el cual esta diseñado para que el usuario ingrese la temperatura que requiere el control del microclima del invernadero.



**Ilustración 9-4:** Supervisión de datos enviados a la aplicación web

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

#### 4.4. Prueba de integridad de la información

El objetivo de la prueba es comprobar que la información recibida por los sensores son recibidos en su totalidad por *ThinkSpeak*. La Tabla 5-4 presenta la comparativa de los datos enviados desde el COM y los recibidos en la aplicación para comprobar la integridad de información que llega al usuario. Para esta prueba se recogen 20 datos para la comparativa por en tiempo real son tomados cada 14 segundos entre cada dato.

**Tabla 5-4:** Integridad de información del sensor de humedad.

#	Fecha/Hora	COM					ThinkSpeak				
		S1	S2	S3	S4	%	S1	S2	S3	S4	%
1	2023-02-21 13:09:27 UTC,5340	93,0	94,2	93,5	92,1	94,2	93,2	94,2	93,5	92,1	94,2
2	2023-02-21 13:09:42 UTC,5341	93,6	94,0	93,4	92,3	94,0	93,6	94,0	93,4	92,3	94,0
3	2023-02-21 13:10:03 UTC,5342	93,1	93,6	93,6	92,9	93,6	93,1	93,6	93,6	92,9	93,6
4	2023-02-21 13:10:18 UTC,5343	93,8	93,8	92,6	93,1	93,8	93,8	93,8	92,6	93,1	93,8
5	2023-02-21 13:10:40 UTC,5344	92,3	94,3	92,6	93,5	94,3	92,3	94,3	92,6	93,5	94,3
6	2023-02-21 13:11:03 UTC,5345	92,3	93,9	93,9	93,6	93,9	92,3	93,9	93,9	93,6	93,9
7	2023-02-21 13:11:21 UTC,5346	92,1	95,0	93,2	93,2	95,0	92,1	95,0	93,2	93,2	95,0
8	2023-02-21 13:11:36 UTC,5347	92,7	94,7	93,2	93,7	94,7	92,7	94,7	93,2	93,7	94,7
9	2023-02-21 13:11:51 UTC,5348	93,5	94,3	93,4	93,9	94,3	93,5	94,3	93,4	93,9	94,3
10	2023-02-21 13:12:06 UTC,5349	93,4	94,5	93,7	93,8	94,5	93,4	94,5	93,7	93,8	94,5
11	2023-02-21 13:12:24 UTC,5350	93,6	94,8	93,6	93,6	94,8	93,6	94,8	93,6	93,6	94,8
12	2023-02-21 13:12:39 UTC,5351	94,4	95,0	93,7	93,6	95,0	94,4	95,0	93,7	93,6	95,0
13	2023-02-21 13:12:55 UTC,5352	94,4	95,1	94,1	94,1	95,1	94,4	95,1	94,1	94,1	95,1
14	2023-02-21 13:13:15 UTC,5353	94,7	95,2	94,1	94,1	95,2	94,7	95,2	94,1	94,1	95,2
15	2023-02-21 13:13:33 UTC,5354	94,8	94,9	94,0	95,4	95,4	94,8	94,9	94,0	95,4	95,4
16	2023-02-21 13:13:55 UTC,5355	94,1	94,6	94,0	95,2	95,2	94,1	94,6	94,0	95,2	95,2
17	2023-02-21 13:14:15 UTC,5356	94,6	94,4	94,0	94,9	94,9	94,6	94,4	94,0	94,9	94,9
18	2023-02-21 13:14:30 UTC,5357	93,9	94,1	94,1	95,1	95,1	93,9	94,1	94,1	95,1	95,1
19	2023-02-21 13:14:48 UTC,5358	94,1	94,0	93,7	94,5	94,5	94,1	94,0	93,7	94,5	94,5
20	2023-02-21 13:15:04 UTC,5359	94,3	93,8	94,0	94,7	94,7	94,3	93,8	94,0	94,7	94,7

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

**Tabla 6-4:** Integridad de información del sensor de temperatura.

#	Fecha/Hora	COM					ThinkSpeak				
		S1	S2	S3	S4	°C	S1	S2	S3	S4	°C
1	2023-02-21 13:09:12 UTC,5339	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1
2	2023-02-21 13:09:27 UTC,5340	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1

3	2023-02-21 UTC,5341	13:09:42	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1
4	2023-02-21 UTC,5342	13:10:03	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1
5	2023-02-21 UTC,5343	13:10:18	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1
6	2023-02-21 UTC,5344	13:10:40	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1
7	2023-02-21 UTC,5345	13:11:03	12,9	12,9	13,8	14,1	14,1	12,9	12,9	13,8	14,1	14,1
8	2023-02-21 UTC,5346	13:11:21	12,9	13,8	13,7	14,0	14,0	12,9	13,8	13,7	14,0	14,0
9	2023-02-21 UTC,5347	13:11:36	12,9	13,9	13,7	14,0	14,0	12,9	13,9	13,7	14,0	14,0
10	2023-02-21 UTC,5348	13:11:51	13,1	13,9	13,6	14,0	14,0	13,1	13,9	13,6	14,0	14,0
11	2023-02-21 UTC,5349	13:12:06	12,9	13,9	13,7	14,0	14,0	12,9	13,9	13,7	14,0	14,0
12	2023-02-21 UTC,5350	13:12:24	12,9	13,9	13,7	14,0	14,0	12,9	13,9	13,7	14,0	14,0
13	2023-02-21 UTC,5351	13:12:39	12,9	13,9	13,7	14,1	14,1	12,9	13,9	13,7	14,1	14,1
14	2023-02-21 UTC,5352	13:12:55	13,1	13,9	13,7	14,1	14,1	13,1	13,9	13,7	14,1	14,1
15	2023-02-21 UTC,5353	13:13:15	13,1	13,9	13,7	14,1	14,1	13,1	13,9	13,7	14,1	14,1
16	2023-02-21 UTC,5354	13:13:33	12,9	13,9	13,7	14,1	14,1	12,9	13,9	13,7	14,1	14,1
17	2023-02-21 UTC,5355	13:13:55	12,9	13,9	13,7	14,1	14,1	12,9	13,9	13,7	14,1	14,1
18	2023-02-21 UTC,5356	13:14:15	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,10
19	2023-02-21 UTC,5357	13:14:30	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1	12,9	13,8	13,7	14,1	14,1
20	2023-02-21 UTC,5358	13:14:48	12,9	13,8	13,70	14,05	14,05	12,9	13,80	13,70	14,05	14,05

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

En la Tabla 5-4 y 6-4 se observa que no hay pérdida de información concluyendo que la comunicación con *thinkspeak* es 100% estable, que garantiza la integridad de la información.

#### 4.5. Prueba de parámetro de tiempo para activación del motor

La presente prueba tiene como objetivos visualizar el tiempo en el que se demora en subir y bajar las cortinas. Para la realización de esta prueba se tomaron 30 diferentes muestras de tiempo para subida y bajada de los actuadores de las cortinas del invernadero, a través de un cronómetro

obteniendo como resultado la Tabla 7-4 que se muestra a continuación. Para esta prueba se recogen 30 datos por la para la comparativa por en tiempo real son tomados con un rango de 30 segundos entre cada dato.

**Tabla 7-4:** Prueba de tiempo de subir y bajar cortinas.

Número de muestras	Tiempo subido con motor	Tiempo bajado con motor	Tiempo subida sistema tradicional	Tiempo bajada sistema tradicional
1	21,43	21,43	22,48	15,27
2	21,43	21,43	20,23	16,34
3	21,43	21,43	23,16	15,57
4	21,43	21,42	19,33	15,38
5	21,43	21,43	21,58	19,15
6	21,43	21,43	22,07	17,52
7	21,43	21,43	23,19	18,54
8	21,43	21,43	22,49	19,21
9	21,43	21,43	23,25	17,38
10	21,43	21,43	21,58	15,35
11	21,43	21,43	22,46	19,53
12	21,43	21,43	22,15	20,41
13	21,43	21,43	22,41	16,47
14	21,42	21,43	22,47	18,43
15	21,43	21,43	22,56	16,48
16	21,43	21,43	22,57	19,35
17	21,43	21,43	23,15	18,09
18	21,43	21,43	22,24	17,08
19	21,43	21,42	23,48	18,15
20	21,43	21,43	22,54	13,47
21	21,43	21,43	21,38	19,26
22	21,43	21,43	22,45	17,47
23	21,42	21,43	22,19	19,23
24	21,43	21,43	22,45	19,47
25	21,43	21,43	23,30	16,26
26	21,43	21,43	21,49	15,39
27	21,43	21,43	22,17	17,42
28	21,43	21,43	22,45	15,55
29	21,43	21,43	22,73	17,45
30	21,43	21,43	22,56	17,14
<b>Tiempo promedio</b>	21,429	21,429	22,285	17,394
<b>Tiempo máximo</b>	21,43	21,43	23,48	20,41

<b>Tiempo mínimo</b>	21,42	21,42	19,33	13,47
----------------------	-------	-------	-------	-------

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

Se obtiene como resultado que el tiempo promedio de subir y bajar las cortinas es de 21,429 segundos con el motor, considerando que el tiempo máximo es de 21,43 segundos. Mientras que el tiempo máximo de subida con el método tradicional es de 23,48 segundos y el tiempo de bajada máximo es de 20,41 segundos, se puede concluir que existe una reducción de tiempo en el proceso y una mayor estabilidad con el motor para el tiempo de accionamiento de las cortinas. Además, el proceso es más cómodo y versátil.

#### 4.6. Consumo energético

Tiene como por objetivo determinar el consumo de corriente de los elementos que componen el sistema de control y supervisión de la ventilación del invernadero por medio de variables climáticas. Por medio de la Tabla 8-4 se muestra el sumatorio total del consumo de los elementos en comparación al total del consumo recibido al invernadero, al accionarse los motores al estar apagados.

**Tabla 8-4:** Consumo energético del sistema.

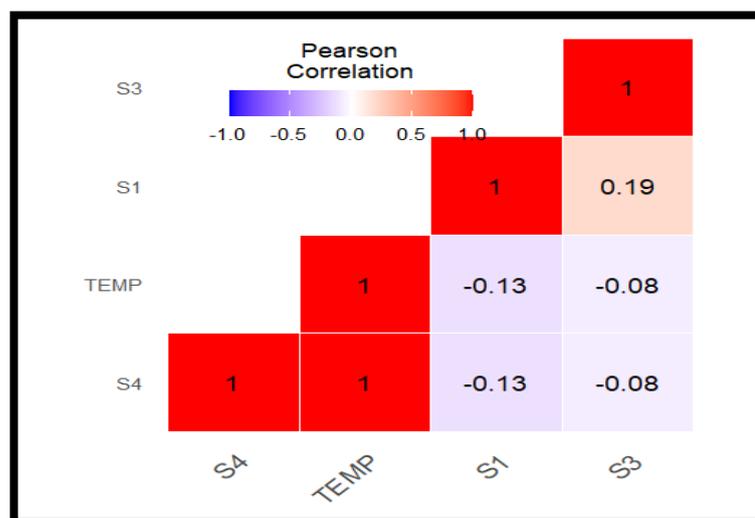
Cantidad	Elementos	Total, de corriente teórica A	Activos	Siempre activos	Total, de corriente en funcionamiento A
2	Motores teclé elevador eléctrico de 220 V	3	6	0	2
4	Sensores Am2301	1,5m	0,06	0,06	0,7
1	ESP32s	170m	0,017	0,017	
1	Regleta relés de Arduino	20m	0,02	0	
4	Reguladores de 5V, 1ª Step/Up S13V10F5	20m	0,02	0,02	
1	Router Mikrotik RB750 UPr2 Lite	0,2083	0,2083	0,2083	
1	Router Tplink TL-MR3420 V1	0,225	0,225	0,225	
2	Antenas Mikrotik SxTs q Lite 2	0,21	0,21	0,42	
<b>Consumo de corriente</b>			5,560	0,950	2,7A

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 8-4 refleja el consumo total de corriente 5,56 A; sin embargo, no siempre están activos los motores o regletas, ya que, estos se basan en los parámetros de control y son activados siempre y cuando la condición climática en la que se encuentran cambie. Por lo que también el consumo total considera los elementos que siempre están activos para su consumo que son de 0,950 A. Sin embargo, en la práctica, por medio del control automático no se encienden los dos motores a la par, se enciende el motor derecho primero y cuando termina el motor izquierdo, al evaluar el total de consumo considerando el amperaje del motor es de 2,7A. Se concluye que el prototipo presenta un bajo consumo, con 2,7A, menor al consumo energético de una nevera la que consume aproximadamente de 7 A por hora y cuando no está activo el motor se tiene un consumo real de 0,7 A que es menor a un televisor que consume hasta 2A por hora.

#### 4.7. Prueba de correlación

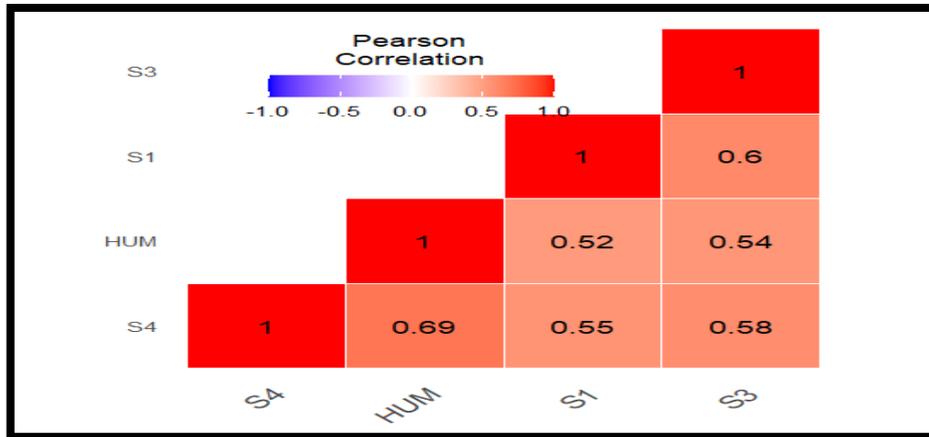
El objetivo de la presente prueba es validar que existe una correlación de los datos obtenidos por los sensores de temperatura y humedad. Para la siguiente prueba se realizó el estudio de las Tablas 3-4 y 4-4 para obtener las gráficas por medio de los datos de temperatura y humedad de cada sensor y la proyección final. La Ilustración 10-4 muestra el mapa de calor de los valores de temperatura, en base al estudio de la evaluación del coeficiente de relación de Pearson, se concluye que los valores que se tomaron en la temperatura se encuentran en el rango de 1, que significa que la correlación es perfecta (Moore D. S., 2006).



**Ilustración 10-4:** Mapa de calor del coeficiente de Pearson para la temperatura

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 11-4 muestra el mapa de calor de los valores de humedad, en base al estudio de la evaluación del coeficiente de relación de Pearson; se concluye, que los valores obtenidos de la temperatura se encuentran en el rango de 1, que significa que la correlación es perfecta (Moore D. S., 2006).



**Ilustración 11-4:** Mapa de calor del coeficiente de Pearson para la humedad

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

#### 4.8. Prueba de homogeneidad

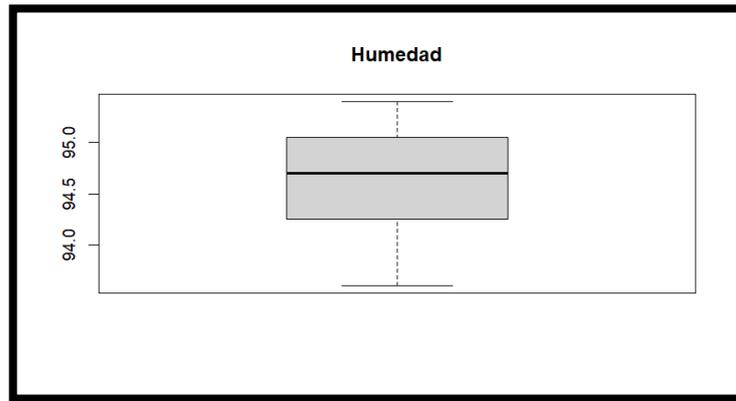
La siguiente prueba tiene como objetivo determinar si existen grandes diferencias entre las muestras tomadas. Para la siguiente prueba se realizó el estudio de las Tablas 3-4 y 4-4 para obtener las gráficas por medio de los datos de temperatura y humedad de cada sensor y la proyección final. La Ilustración 12-4 muestra el diagrama de bigotes de los datos de humedad, los cuales reflejan que no existen valores atípicos y por medio de la Tabla 29-4 se observa los valores estadísticos que permiten realizar el estudio de este diagrama; se concluye, que la distribución de humedad no tiene valores atípicos y la media es 94,1% RH (Kampstra, 2008).

**Tabla 9-4:** Consumo energético del sistema.

Variable	Temperatura °C	Humedad %RH
Media	14,105	94,61
Mediana	14,1	94,7
Desviación estándar	0,0223	0,522
Varianza	0,0004	0,27
IQR	0% = 14,1	0% = 93,60
	25% = 14,1	25% = 94,275
	50% = 14,1	50% = 94,700
	75% = 14,1	75% = 95,025
	100% = 14,2	100% = 95,40

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

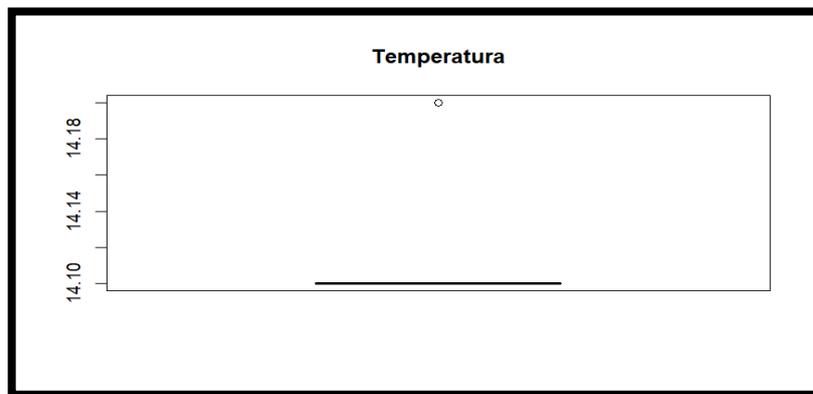
La Tabla 9-4 muestra los valores estadísticos obtenidos por medio de los datos de temperatura y humedad, como la media, mediana, desviación estándar, varianza y IQR.



**Ilustración 12-4:** Diagrama de bigotes de los datos de humedad

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

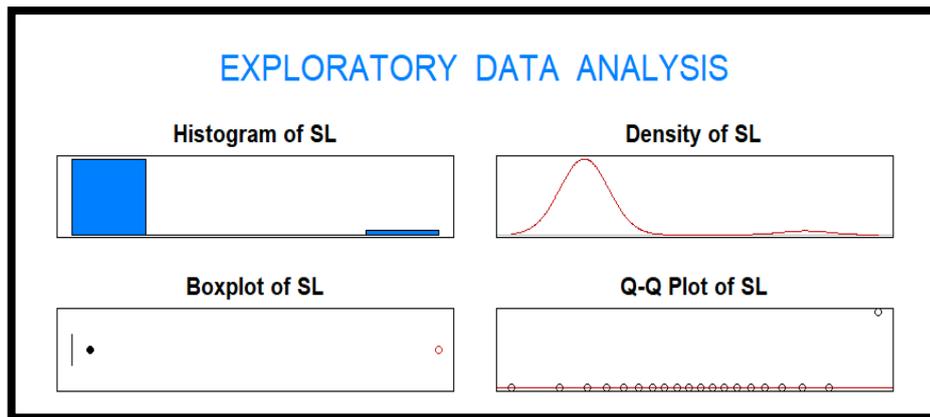
La Ilustración 13-4 muestra el diagrama de bigotes de los datos de temperatura reflejan que, no existen valores atípicos, y los valores mínimos y máximos del cuartil pertenecen a los bordes de la caja de bigotes. En la Tabla 30-4 se observa los valores estadísticos que permiten realizar el estudio de este diagrama, el valor de la media para este diagrama es de 14,105°C (Kampstra, 2008).



**Ilustración 13-4:** Diagrama de bigotes de los datos de temperatura

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

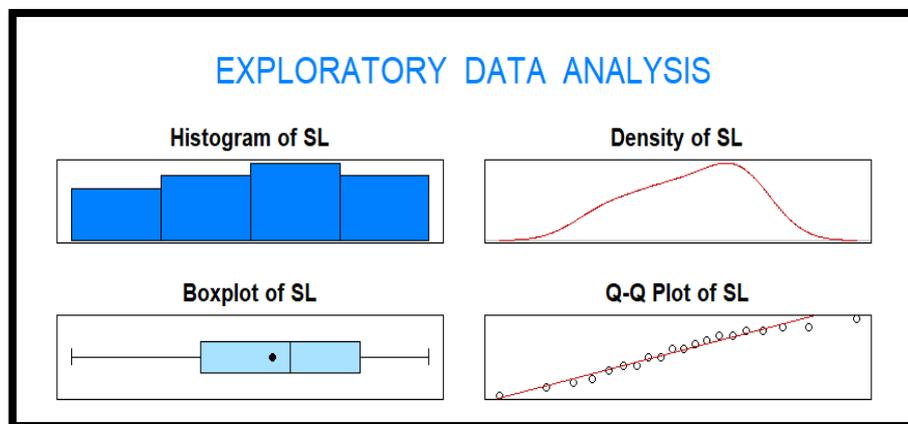
La Ilustración 14-4 muestra un análisis exploratorio de los datos de temperatura, se evalúa por medio de un histograma el cual refleja que los valores de la temperatura que se encuentran entre 14,105°C fueron los que mayor frecuencia representaron, por lo cual en el diagrama de bigotes (*boxplot por su traducción en inglés*), se puede visualizar los valores que salieron de este rango se consideran atípicos (Kampstra, 2008).



**Ilustración 14-4:** Análisis exploratorio de los datos de temperatura

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 15-4 muestra un análisis exploratorio de los datos de temperatura, se evalúa por medio de un histograma que refleja los valores de humedad en el rango de 94,5 a 95% RH, en el diagrama de bigotes (*boxplot por su traducción en inglés*), se puede visualizar que no existieron valores que salieran de este rango por tanto no existieron valores atípicos de humedad (Kampstra, 2008).



**Ilustración 15-4:** Análisis exploratorio de los datos de humedad.

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

Se concluye que por medio del estudio realizado el valor atípico de temperatura es de 14,2 °C y el resto de sus datos se mantienen en el 14,1°C por los que son valores constantes y se puede observar en la representación gráfica. Mientras que en los valores de humedad existe mayor variación en el tiempo, por lo que los datos estudiados reflejan una correlación con varianza mayor de 0,27.

#### 4.9. Prueba de distancia de medición de los sensores

El objetivo de la presente prueba es validar si existe cambios de temperatura y humedad a una distancia menor a la colocada. Para esta prueba se realizó una recolección de 20 datos, con el sensor DHTAm2301 en la distancia en la que se encuentran colocados los sensores, se colocaron a 50 centímetros del piso para evaluar si existen cambios de temperatura y humedad, notables.

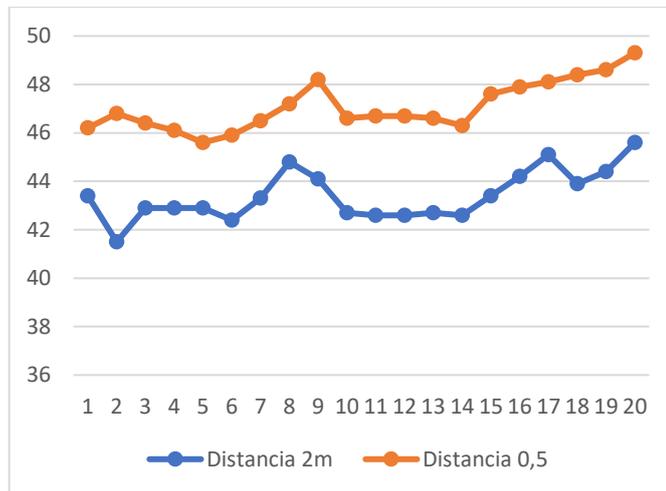
**Tabla 10-4:** Datos de distancia en medición de sensores.

Número de muestra	Fecha/Hora	Temperatura a distancia de 2 metros	Prueba distancia a 0,5 metros	Error relativo	Humedad a distancia de 2 metros	Prueba distancia a 0,5 metros	Error relativo
1	2023-02-25 22:10:03 UTC,24373	30,9	29,1	1,8	43,4	46,2	2,8
2	2023-02-25 22:10:23 UTC,24374	30,9	29,1	1,8	41,5	46,8	5,3
3	2023-02-25 22:10:45 UTC,24375	29,8	28,4	1,4	42,9	46,4	2,7
4	2023-02-25 22:11:05 UTC,24376	29,8	28,4	1,4	42,9	46,1	3
5	2023-02-25 22:11:25 UTC,24377	28,5	27,1	1,4	42,9	45,6	2,7
6	2023-02-25 22:11:45 UTC,24378	28,5	27,1	1,4	42,4	45,9	3,5
7	2023-02-25 22:12:05 UTC,24379	28,5	27,1	1,4	43,3	46,5	4,9
8	2023-02-25 22:12:26 UTC,24380	28,1	26,7	1,4	44,8	47,2	3,8
9	2023-02-25 22:12:46 UTC,24381	28	26,2	1,8	44,1	48,2	4,1
10	2023-02-25 22:13:05 UTC,24382	27,7	26,1	1,6	42,7	48,6	5,9
11	2023-02-25 22:13:28 UTC,24383	27,7	26,1	1,6	42,6	48,7	6,1
12	2023-02-25 22:13:51 UTC,24384	27,7	26,1	1,6	42,6	48,7	6,1
13	2023-02-25 22:14:13 UTC,24385	27,8	26,6	1,2	42,7	49,6	6,9
14	2023-02-25 22:14:33 UTC,24386	27,8	26,5	1,3	42,6	50,3	7,7
15	2023-02-25 22:14:55 UTC,24387	27,8	26,5	1,3	43,4	49,6	6,2
16	2023-02-25 22:15:18 UTC,24388	27,8	25,8	2	44,2	49,9	5,7

17	2023-02-25 22:15:40 UTC,24389	27,7	25,8	1,9	45,1	50,1	5
18	2023-02-25 22:16:00 UTC,2439	27,7	25,8	1,9	43,9	50,4	6,5
19	2023-02-25 22:16:20 UTC,24391	27,7	25,8	1,9	44,4	51,6	7,2
20	2023-02-25 22:16:38 UTC,24392	27,6	25,7	1,9	45,6	51,3	5,7
Promedio		28,4	26,8	1,6	43,4	47,085	3,69
Valor máximo		30,9	29,1	2	45,6	49,3	5,3

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

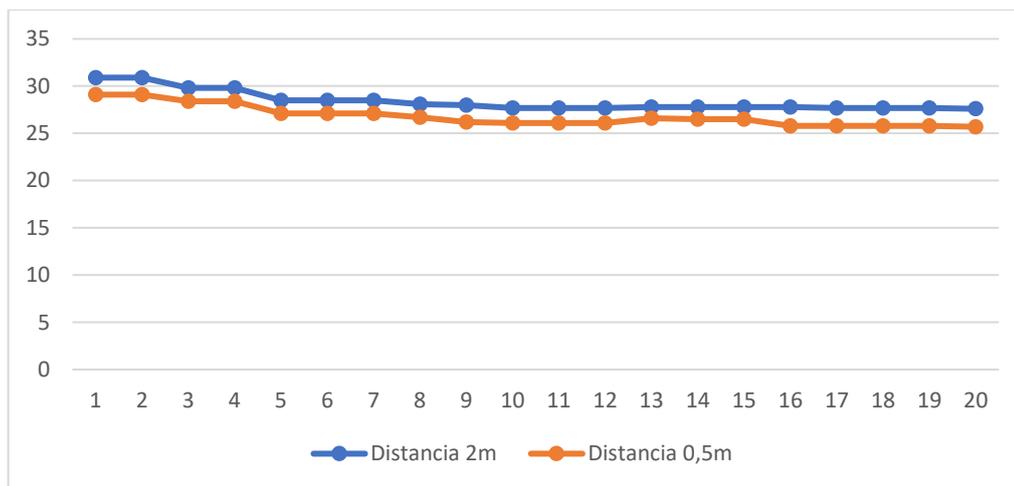
Por medio de la Tabla 10-4 muestra los valores promedios de temperatura y humedad que se recolectaron por medio del equipo patrón y los sensores, con una diferencia de 1 metros entre ellos, comprobando que el error relativo promedio de temperatura es de 1,6 °C y la humedad de 3,69%, estos valores muestran que si existe una variación.



**Ilustración 16-4:** Diagrama de comparación en distancia de medición, humedad.

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 16-4 muestra gráficamente la variación que existe de temperatura entre la distancia de 0,5 y 2 metros respecto al suelo.



**Ilustración 17-4:** Diagrama de comparación en distancia de medición, temperatura

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Ilustración 17-4 muestra gráficamente la variación que existe de humedad entre la distancia de 0,5 y 2 metros respecto al suelo. Según un estudio realizado por (Baranowski, 2018) sobre la distribución de temperatura en un invernadero, se encontró que la temperatura del aire disminuye a medida que se aleja de las fuentes de calor, como los calentadores, y que la distribución de temperatura es altamente influenciada por la dirección del flujo de aire. Además, la presencia de obstáculos físicos, como las estructuras del invernadero y la vegetación, puede causar variaciones en la distribución de temperatura.

Otro factor importante que puede influir en la distribución de temperatura en un invernadero es la ventilación. Según un estudio realizado por (Li, 2019), la ventilación adecuada puede ayudar a reducir la variación de temperatura en el invernadero al aumentar el flujo de aire y distribuir mejor el calor.

#### 4.10. Evaluación económica

El objetivo es evaluar el presupuesto total de implementación del sistema propuesto. La Tabla 11-4 describe un presupuesto que se utilizó en el presente trabajo, donde se incluye el precio total y la cantidad utilizada. El total del presupuesto para la implementación del sistema de automatización es de \$2.057,90 incluye los sensores, actuadores, y adecuación del sistema mecánico del invernadero para subir o bajar las cortinas. Además de los dispositivos que permiten tener internet para el envío de datos.

**Tabla 11-4:** Presupuesto de implementación del sistema.

Descripción	Elementos	Precio total
Dispositivos electrónicos	ESP32s	\$ 174,00

	Regleta de reles	
	Reguladores de voltaje	
	LCD 16x2	
	Sensores	
	PCB	
Dispositivos de transmisión	Antenas	
	Router Mikrotik	
	Router Tplink	
	Cable utp	\$ 140,90
Instalaciones eléctricas	Manguera de tubo 3/4	
	Manguera corrugada	
	Cajetín	
	Breaker	
	Cable	\$ 705,00
Elementos mecánicos	Chumacera de piso	
	Motor	
	Sistema de transmisión	
	Cadena de transmisión	\$ 352,00
Elementos adicionales	Canaletas	
	Caja de protección	
	Caja térmica	
	Pernos del rodillo	
	Arandelas planas	
	Tuercas	
	Madera	
	Tubo	
	Electrodos 6011 1/8 20 Kg	
	Plancha de Toll negro de 1/8	
	Techo plástico	
	Abrazaderas	\$ 686,00
	<b>TOTAL</b>	

Realizado por: Vaca, Kerly, 2023.

La Tabla 12-4 muestra el rol de pagos, con el salario básico para un operario que realice el control y supervisión de variables climáticas, la remuneración mensual y anual de \$6852,10 al año.

**Tabla 12-4:** Rol de pagos a un operario.

Orden	Cargo	RMU	RAU	13°	14°	Aporte IESS (11.15%)	TOTAL, A PAGAR

1	Operario 1	\$	\$	\$	\$400	\$	\$
		450,00	5400,00	450,00		602,10	6852,10

**Realizado por:** Vaca, Kerly, 2023.

**Evaluación económica:** al comparar el presupuesto del sistema de automatización con el presupuesto del rol de pagos de un operario en el año, se puede observar que el costo a una persona que realice este trabajo en relación, a la implementación del diseño propuesto de control y supervisión de variables climáticas en tiempo real, de forma automática, remota o manual, por lo tanto existe viabilidad económica en la propuesta. Por lo que se muestra que existe una gran ventaja a largo plazo con la automatización del sistema propuesto por medio de una aplicación que permita a un usuario controlar y supervisar el comportamiento del microclima del invernadero en tiempo real desde cualquier lugar u hora del día. Además de la generación de un registro por medio de una base de datos, lo que facilita el proceso de producción y reduce los costos de producción, generando mayor calidad y fiabilidad del proceso de cultivo en el invernadero.

## CONCLUSIONES

- Se realizó una fundamentación teórica de las condiciones climáticas que debe mantener un invernadero en un proceso de cultivo experimental, y los requerimientos que debe tener el sistema de ventilación, para un diseño de las cortinas automáticas sin afectar su estructura original.
- Se desarrollo y se implementó el diseño del sistema de ventilación y supervisión adecuado a las variables climáticas con envío de datos a la web, validando el prototipo del sistema de ventilación y supervisión de variables climáticas ambientales como la temperatura y humedad en base a los requerimientos del clima.
- Por medio de la prueba realizada con un dispositivo medidor de temperatura los sensores del sistema obtienen el error absoluto en los datos de temperatura de % y de humedad 1,563% al ser mayor a 1 y menor a 5% los datos recolectados entran en un rango bueno y aceptable; se concluye, que los sensores realizan una buena medición de estos parámetros para controlar el microclima del invernadero.
- El coeficiente de variación de las muestras tomadas considerando los valores máximos de la lectura de cada sensor de temperatura y humedad reflejan en temperatura con un porcentaje 1,60% que entra en el rango menor a 15% considerado como variabilidad baja, al igual que la humedad que presenta un máximo en el coeficiente variación de 0,99% con variabilidad baja.
- El motor teclé eléctrico bifásico de 220V muestra que tiene la fuerza necesaria para subir y bajar las cortinas del invernadero en un tiempo promedio de 21,429 segundos, valor constante en las muestras tomadas por medio de un cronometro; se concluye que, el tiempo no varía y comparando este proceso con los tiempos que se toman con el sistema tradicional. Se presenta mayor tiempo en subir la corina con una diferencia de 1,02 minutos en relación con el tiempo de bajar las cortinas.
- La prueba de integridad de información los datos llegan completos a la interfaz de base de datos y envió a *thinkspk* para graficar esta información en tiempo real, que representa un 100% de estabilidad y fiabilidad del envío de la información a la web.

- El consumo de corriente se evalúa en dos etapas, se considera que no siempre estarán activos los motores, sin embargo, cuando esto sucede se tiene un consumo real de 2,7A, menor al consumo energético de una nevera la que consume aproximadamente de 7 A por hora, cuando no está activo el motor se tiene un consumo real de 0,7 A que es menor a un televisor que consume hasta 2A por hora.
- En la prueba de homogeneidad los datos de temperatura y humedad que por medio del estudio realizado el valor atípico de temperatura es de 14,2 °C y el resto de sus datos se mantienen en el 14,1°C por los que son valores constantes y se puede observar en la representación gráfica, es decir que presenta menor variancia siendo 0,0004. Mientras que en los valores de humedad existe mayor variación en el tiempo, por lo que los datos estudiados reflejan una correlación con varianza mayor de 0,27, en el periodo evaluado.
- Por medio de la prueba de correlación de Pearson refleja que existe una diagonal con el valor de 1, que significa que es perfecta o positiva, indicando presenta una correlación lineal de las variables, esto se representa por medio de las gráficas de mapas de calor, se utilizan gráficas de colores para representar valores numéricos en una matriz, por medio del software R. En la prueba de correlación se concluyó que el estudio de los 20 datos recolectados no tiene valores atípicos.
- En la prueba de variación de distancia de los sensores se concluyó que existe un error relativo de 1,6 °C y de humedad de 3,69%, estos valores reflejan que, si existe un cambio de temperatura y humedad a una distancia de 0,5 metros porque está más cerca del suelo existe mayor humedad.
- La implementación del presente trabajo de integración curricular tiene un presupuesto total aproximado de \$ 2057,90 se considera que es el primer modelo implementado siendo un sistema experimental y primero en la zona. Se concluye, que el valor del sistema propuesto de implementación es más económico en comparación con el pago anual de \$ 6852,10 a un operario que realice el trabajo de control y supervisión de variables climáticas y sólo en días laborables. El sistema presenta numerosas ventajas, tales como la mejora en la calidad y cantidad de la producción de cultivos, el ahorro de tiempo y costos de mano de obra, la optimización del uso de recursos naturales y energéticos, y la reducción de riesgos y pérdidas asociadas con condiciones climáticas extremas. Además, la automatización permite monitorear y ajustar de manera precisa y constante los niveles de temperatura, humedad, luz y ventilación, lo que se traduce en un mayor control sobre el ambiente de crecimiento de los

cultivos y una mayor eficiencia en la gestión del invernadero. A largo plazo las ventajas de la implementación del sistema generan mayor efectividad y fiabilidad; en comparación con un operario que solo puede laborar en horas establecidas y no existe supervisión en feriados o fines de semana, concluyendo que a largo plazo la evolución económica es la mejor opción.

## RECOMENDACIONES

- Ampliar tiempo de pruebas para encontrar posibles mejoras del diseño propuesto.
- Trabajos posteriores para la implementación de energías renovables, como la utilización de paneles fotovoltaicos.
- Adquirir bases de datos de mejores prestaciones para guardar históricos, por medio de la adquisición del plan spark de firebase.
- Incorporar inteligencia artificial para realizar control de riego, fumigación, determinación de plagas, microclimas.
- Colocación de nuevos sensores de temperatura y humedad a diferentes distancias y posiciones para comparar las diferencias de la toma de datos, en los procesos de experimentación del invernadero.

## BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, S. A. (2017). Wireless sensor networks for precision agriculture in greenhouse: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 392-407. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.08.025>.

Altman, D. G. (1991). *Practical statistics for medical research*. Chapman and Hall/CRC.

Alvarado Argudo, S. C. (2010). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL. PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE VENTILACIÓN Y*.

Anggrawan, A., Sirojul, H., & Christofer, S. (2022). IoT-Based Garbage Container System Using NodeMCU ESP32 Microcontroller. *Journal of Advances in Information Technology*, 13, 569-577.

Arduino. (2022). *Arduino*. Arduino: <https://www.arduino.cc/en/software>

Asanza, V. (2022). *Especificaciones del módulo ESP32*. Vasanza: <https://vasanza.blogspot.com/2021/07/especificaciones-del-modulo-esp32.html>

Banzi, M. (2008). *Getting started with Arduino*. O'Reilly Media. O'Reilly: <https://www.oreilly.com/library/view/getting-started-with/9781449309879/>

Baranowski, P. W. (2018). Spatial distribution of air temperature in a greenhouse. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11, 91-97.

Briceño, L., & Jaimez, R. E. (09 de 05 de 2008). *LOS PROCESOS FÍSICOS Y SU EFECTO EN EL MICROCLIMA DE UN INVERNADERO*. infoAgro: [https://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/microclima\\_invernadero\\_procesos\\_fisicos.htm](https://www.infoagro.com/industria_auxiliar/microclima_invernadero_procesos_fisicos.htm)

Bruno, A. P., Eric, P., Amélie, T., Antoine, S., & Olivier, B. (2022). Does temperature shift justify microalgae production under greenhouse? *Algal Research*, 102579.

Castillo Navarro, J. Á. (1998). Evolución y mejoras aplicadas a la tecnología de la producción integrada en los invernaderos de Almería. *Horticultura*, 13.

Cáez Ayala, G., Castillo Meza, H., & Fonseca Veltrán, J. (2012). UNIDAD DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y MEDICIÓN BASADA EN PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN WIFI. *Ra Ximhai*, 355-365.

Ceja, J. e. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería eléctrica*, 24-36.

Cepeda Rode, P. F. (2010). Invernadero Inteligente basado en un Enfoque Sustentable para la Agricultura Mexicana. (8).

Challa, H., & Korner, O. (2003). Process-based humidity control regime for greenhouse crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173-192.

Chasiluisa Macias, R. J. (2020). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO. CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.*

Chiluisa Moreno, J. A., & Tibán Moreno, B. A. (2020). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CABINA AUTOMATIZADA PARA LA DESINFECCIÓN DE OBJETOS CON SISTEMA DE MEDICIÓN INFRARROJO DE TEMPERATURA CORPORAL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.* Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Contaval. (24 de 05 de 2017). *Contaval.* Regulación ON/OFF: <https://www.contaval.es/regulacion-onoff/>

Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial.* Marcombo, España.

Cruz Carrillo, J., Jiménez, F., Ruiz, J., Díaz, G., Sánchez, P., Perales, C., & Arellanes, A. (2003). Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL) en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 85-88.

De La Ossa De La Espriella, E., & De La Cruz Vega, L. (2016). Transmisión de información de GPS por WIFI. *Univerisidad del Norte.*

Economía, R. D. (18 de 07 de 2017). *Ecuador: La agroindustria se abre paso con la tecnología de los invernaderos.* América Económica: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/ecuador-la-agroindustria-se-abre-paso-con-la-tecnologia-de-los-invernaderos>

Espinoza, R. A., Ruiz, I. E., García, B. A., López, C. J., Cortéz, J., & Ruiz Ibarra, J. (2015). Plataforma autoconfigurable de monitoreo remoto para aplicaciones móviles en WSAN Self-Configurable Monitoring Framework for Mobile Wsan's Applications. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 369-382.

ESPOCH. (2022). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Tunshi: <https://www.espoch.edu.ec/index.php/estaciones-experimentales/274-tunshi.html>

Flores, J., Ojeda Bustamante, W., López, I., Rojana, A., & Salazar, I. (2007). REQUERIMIENTOS DE RIEGO PARA TOMATE DE INVERNADERO. *Tierra Latinoamericana*, 25(2), 127-134.

Gao, J. &. (2019). mpacts of Climate Change on Photosynthesis in Indoor and Outdoor Plants: Acclimation Strategies and Regulation. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1620. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01620>

Garg, R. B. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Artech House.

Gupta, M. (2019). *Codeburst*. Firebase: A Comprehensive Guide. Codeburst: <https://codeburst.io/firebase-a-comprehensive-guide-6c301a890f1c>

Hibbeler, R. (2010). Mecánica de Materiales. En Pearson, *Mecánica de Materiales* (págs. 7-8).

Hughes, A. &. (2013). Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. En A. &. Hughes, *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications* (págs. 47-75). Oxford: Newnes.

IVIA. (2020). *Cortinas térmicas en invernaderos*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA): <https://www.ivia.es/esp/circulares/ctic2020.pdf>.

Josafad, S., Mendoza, M., & Borrego, F. (1998). Evaluación de Tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: Criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 59-65.

Kampstra, P. (2008). Beanplot: A boxplot alternative for visual comparison of distributions. *Journal of Statistical Software*, 28, 1-9. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i01>

Kazuhisa Ito, I., & Tsubasa, T. (2021). Model Predictive Temperature and Humidity Control of Greenhouse with Ventilation. *Procedia Computer Science*, 212-221.

Lee, S.-y., Lee, I.-b., Yeo, U.-h., Kim, R.-w., & Kim, J.-g. (2019). Optimal sensor placement for monitoring and controlling greenhouse internal environments. *Biosystems*, 188, 190-206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.005>

Li, B. L. (2019). Numerical investigation of the effect of ventilation strategy on temperature distribution in a greenhouse. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12, 35-41.

López de Paz, R. G. (2016). DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN INVERNADERO.

López Hernández, J. C., & Pérez Parra, J. (2006). Evolución de las estructuras de invernadero. *Revue du CIPA*.

López Ordoñez, E. R. (2020). *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

MathWorks. (2022). *MathWorks*. ThinkSpeak: <https://www.mathworks.com/products/thingspeak.html>

MCGrath, M. J., & Scanaill, N. C. (2013). Sensor Technologies. En A. Open, *Healthcare, wellness and enviemental* (págs. 13-26). Springer Natura.

Monk, S. (2015). *The Maker's Guide to the Zombie Apocalypse: Defend Your Base with Simple Circuits, Arduino, and Raspberry Pi*. No Starch Press. No Starch Press.

Moore, D. S. (2006). *Introduction to the practice of statistics*. New York. New York: W.H. Freeman.

Moore, D. S., & McCabe, G. P. (2019). Introducción a la práctica de la estadística. *W. H. Freeman and Company*, 9.

- Moya, A. (2010). Atlas alimentario de los pueblos indígenas y afrodescendientes del Ecuador . *MIES*.
- Price, P. (2010). Greenhouses and garden sheds: Inspiration, information, and step-by-step projects. Creative Homeowner Press.
- Promis, A., Caldentey, J., & Ibarra, M. (2010). Microclima en el interior de un bosque de *Nothofagus pumilio* y el efecto de una corta de regeneración. *Scielo*.
- Rodríguez, M. (2012). Constitución de las máquinas eléctricas. En U. d. Cantabria, *Construcción de las máquinas eléctricas* (pág. 2).
- Rodríguez, R. G., Aperador, C. W., & Delgado, T. E. (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. Design of a Remote Monitoring System for Evaluation of Corrosión in Reinforced Concrete Structures under Chloride Ion Attack. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 565-572.
- Ruano García, G. (2017). *UNIVERSIDAD DE ALMERIA*. Construcción de un invernadero con un sistema de.
- Ruíz-Canales, A. S.-R.-S.-M. (2018). An IoT-Based System for Greenhouse Monitoring and Control. *Sensors*, 1067. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s18041067>
- Sánchez-Guerrero, M. C.-B.-S. (2014). High relative humidity affects root hydraulic properties and leaf water relations in tomato plants. *Plant Science*, 226, 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.06.007>
- Santo, M., & Lecumberry, G. (2005). El proceso de medición. Análisis y comunicación de datos experimentales. En M. S. Lecumberry. Universidad nacional de Río Cuarto.
- Sapena Bañó, Á. (2017). Simulación del motor de inducción de jaula de ardilla en simulink. *Universidad Politécnica de Valencia*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10251/84177>
- Serrano Cermeño, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Shijiazhuang , K. T. (2020). Inteligente agrícola de efecto invernadero. *Alibaba*.
- Somayya, M., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet de las cosas (IoT): una revisión de la literatura. *Scientific Research*, 10.
- StatCounter. (01 de 2022). *StatCounter*. StatCounter: <https://gs.statcounter.com/android-version-market-share/all/ecuador/2022>

- Tao, W., Zhao, L., Wag , G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106352>
- Tipan Tuitise, A. P. (2020). *DESARROLLO DE UN SCADA DE UN ENTORNO VIRTUAL DE FLUJO Y MONITOREO REMOTO EN TIEMPO REAL BASADO EN UNA ARQUITECTURA IOT*. Latacunga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
- Velastegui, R. L. (2016). *UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS*.
- Wilfredo, F., Pañafiel, M., Cerón, C., & Freire, E. (2016). Biodiversidad productiva y asociada en el Valle Interandino Norte del Ecuador. *Bioagro*.
- Wolber, D. A. (2011). App inventor for android. *Communications of the ACM*. 54(7), 84-93. <https://doi.org/10.1145/1965724.1965743>

## ANEXOS

### ANEXO A: MATERIALES

#### Selección de tubería

### CAÑERÍAS NEGRA/GALVANIZADA



**Especificaciones Generales:**

<b>Calidad:</b>	ISO-65 SERIE LIVIANA II
<b>Acabado:</b>	Acero negro o Galvanizado
<b>Largo Normal:</b>	6.00m
<b>Dimensiones:</b>	Desde 1/2" a 4"
<b>Espesores:</b>	Desde 2.00mm a 3,6mm

**NOMENCLATURA**

**A=** Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>  
**I=** Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>  
**W=** Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>  
**r=** Radio de giro de la sección cm

Diámetro D Nominal	Dimensiones			Propiedades			
	Exterior Pulg	Espesor e mm	Peso P Kg/6m	Área A cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	r cm
1/2	21.35	2.00	0.99	1.22	0.57	0.59	0.98
3/4	26.90	2.30	1.45	1.78	1.34	1.09	0.87
1	33.70	2.50	1.96	2.45	2.98	1.91	1.10
1 1/4	42.40	2.50	2.55	3.13	6.24	3.13	1.41
1 1/2	48.30	2.65	3.02	3.87	10.05	4.41	1.61
2	60.30	2.65	3.79	4.89	20.26	7.04	2.04
2 1/2	73.00	3.20	5.65	7.02	42.73	12.24	2.47
3	88.90	3.20	6.81	8.62	79.09	18.46	3.03
4	114.30	3.60	9.92	12.52	191.78	34.65	3.91

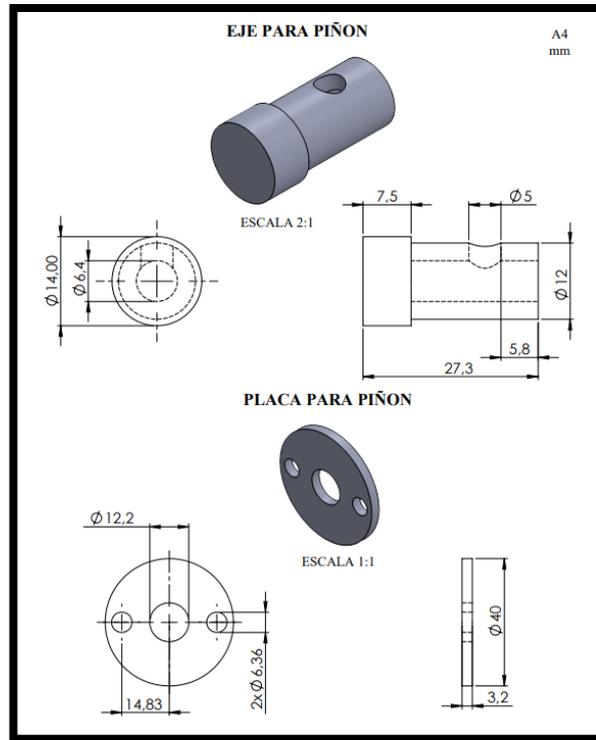
#### Selección de cableado

Amperaje que soportan los cables de cobre						
Nivel de temperatura:	60°C		75°C		90°C	
Tipo de aislante:	TW		RHW, THW, THWN		THHN, XHHW-2, THWN-2	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado				60°C	
					SPT	
					Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A	195 A	16 AWG	13 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A	260 A		
					14 AWG	18 A
					12 AWG	25 A

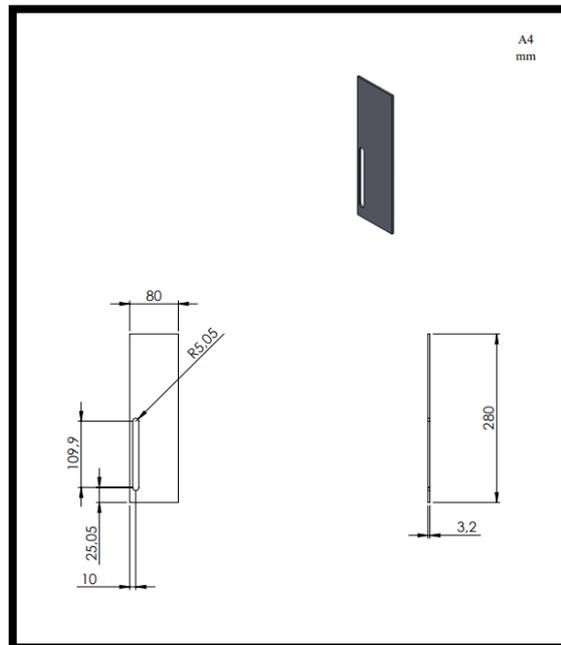
- Para cableado desde el edificio principal hasta el invernadero se utilizó cable número 10
- Para alimentación de motores cable número 14
- Para instrumentación cable número 18

## ANEXO B: DISEÑO DE PIEZAS PARA MECANISMO DE VENTANAS

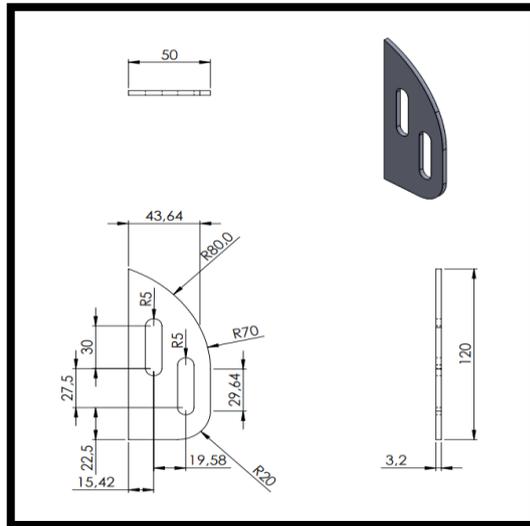
### Planos del de piñón



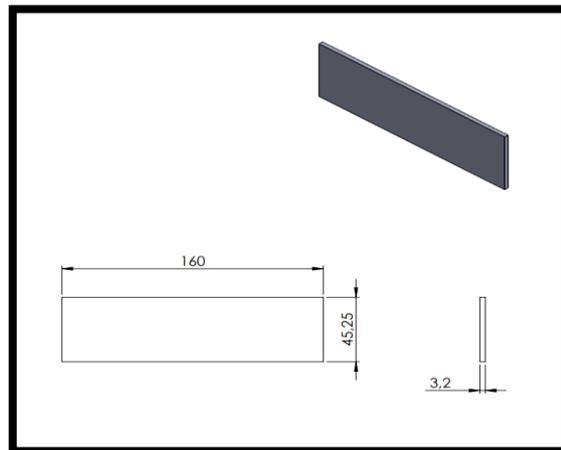
### Plano de la base chumacera



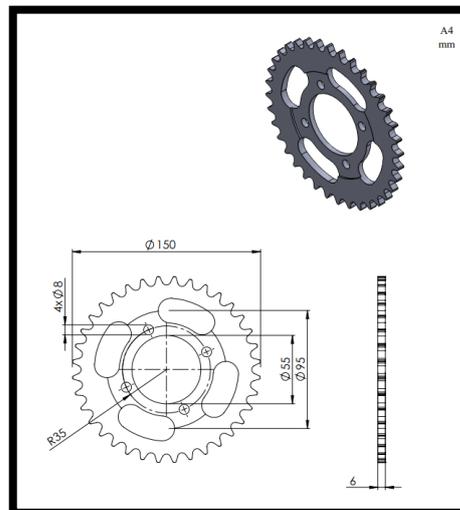
Plano de la base fija a soldar



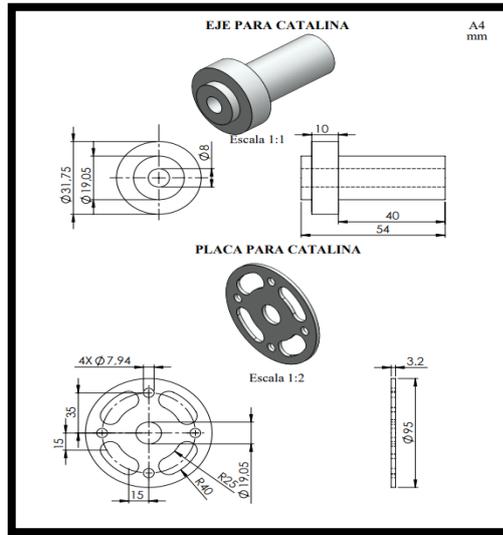
Plano de la base para armar aumento



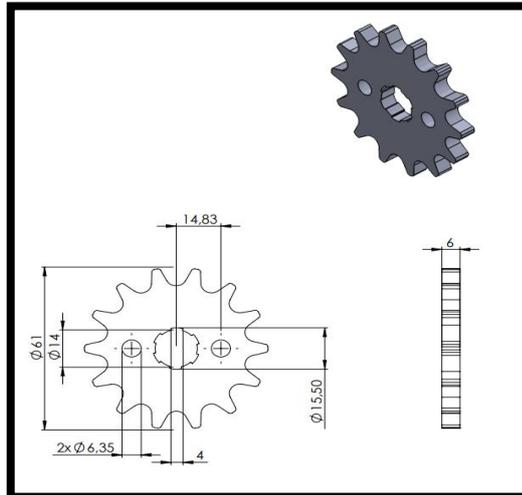
Plano de catalina



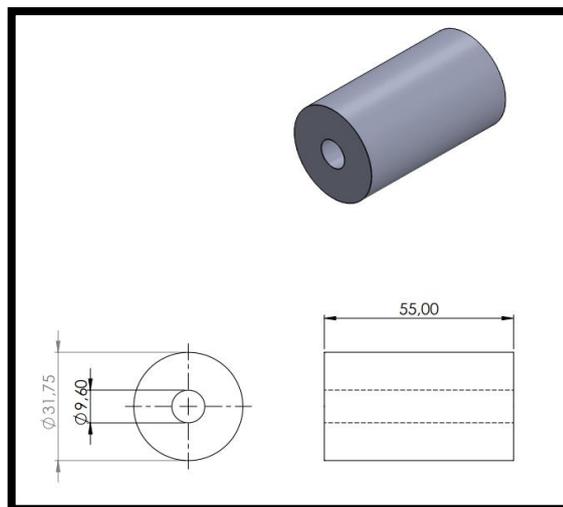
### Plano del eje de acoplamiento de catalina



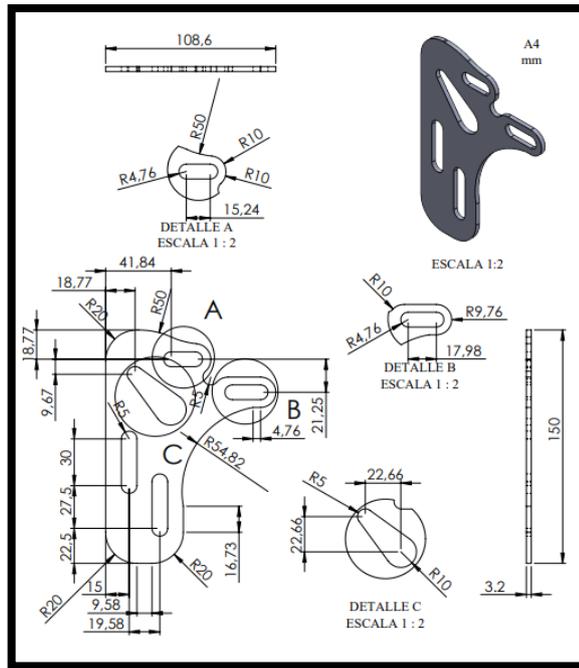
### Plano del piñón



### Plano del rodillo



# Plano del soporte de rodillo



## ANEXO C: HOJA DE DATOS MOTOR TECLE ELÉCTRICO

Congratulations for your excellent choice on our new electric tool which is compliance with the best and reliable standards,ensuring you efficiency and safety for a long period of time

Specification	Method of use	Rated volt (V)	Input power (W)	Rate lifting Weight(kg)	Lifting speed (m/min)	Lifting height (m)	Cable Qty (PCS)	Size (cm)	GW/NW (KG)
PA200	Single hook	110/220	110	100	10	12	1	38*13*24	10/9.5
	Double hook			200	5	6			
PA300	Single hook	110/220	150	150	10	12	1	38*13*24	11/10
	Double hook			300	5	6			
PA400	Single hook	110/220	200	200	10	12	1	44*13*25	13/14
	Double hook			400	5	6			
PA500	Single hook	110/220	250	250	10	12	1	44*13*25	15.5/14.5
	Double hook			500	5	6			
PA600	Single hook	110/220	300	300	10	12	1	44*13*25	16/15
	Double hook			600	5	6			
PA800	Single hook	110/220	400	400	10	12	1	44*13*25	17/16
	Double hook			800	5	6			
PA1000	Single hook	110/220	500	500	10	12	1	50*24*25	20/22
	Double hook			1000	5	6			
PA1200	Single hook	110/220	600	600	10	12	1	50*24*25	20/23
	Double hook			1200	5	6			

### GENERAL SAFETY RULES

**WARNING!** Before using this electric tool. Carefully read the general safety rules listed below.

- Your sockets must comply with safety rules. In case your sockets are not suitable, it should be checked by a skilled electrician.
- Your sockets plug must absolutely be grounded and your electric system must be supplied with a magneto cut out safety.
  - When the machine is running unattended, be careful that children cannot reach it.
  - Do not pull the electric cable to disconnect the plug.
  - The machine shall be protected from frost and low temperatures.
- In case the machine cannot hoist a load,do not keep pressing the hoisting Push button, this means that the load exceeds the machine maximum capacity.
  - The machine shall not be disassembled when running or connected to power.
  - Do not stand under hoisted weights.
- Before starting the work, make sure that the steel cable is correctly wound around the reel and the pitch is equal to the cable diameter.
- Observe the maximum load indicated on the hoist,not that no the hook!
- Leave at least three turns of cable around the reel,so that the cable connection is not under stress.
  - To avoid any danger, do not wind more than 15 m of cable around the reel
- In case the steel cable is worn,it must be replaced only with a cable of same features manufactured by us. If can be found at all authorized service shops.
- In case the hoist stops during the lowering of a load,it is normal that the load goes down a few centimeters more because of inertia.
- Attention! The hoist electric motor isn't equip with any overload cut-out(to avoid an unexpected and unwanted restart)therefore,if you are unable to hoist a load do not insist and let the motor cool down.

### MAINTENANCE

-- Periodically check that the steel cable is in good conditions.

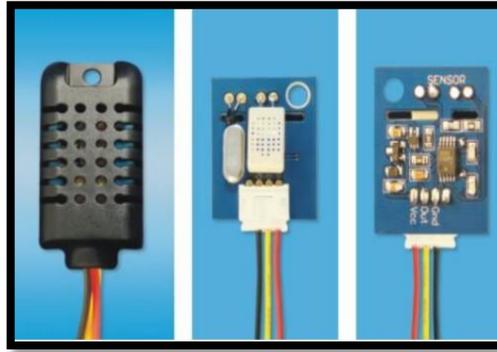
- Check that the screws securing the brackets and reduction gear are well tightened.
- Check the conditions and tightening of the nuts securing the steel cable clamp.
- Regularly check whether the motor stop switch and button switch are in good working condition.

### MICRO ELECTRIC ROPE HOIST

#### INSTRUCTIONS



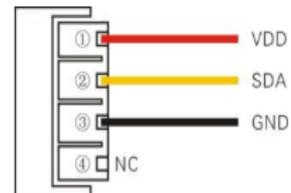
## ANEXO D: HOJA DE DATOS SENSOR AM2301



### 4.1 AM2301 Pin assignments

Table 1: AM2301 Pin assignments

Pin	Color	Name	Description
1	Red	VDD	Power (3.3V–5.2V)
2	Yellow	SDA	Serial data, Dual-port
3	Black	GND	Ground
4		NC	Empty



PIC1: AM2301 Pin Assignment

#### 4.2 Power supply pins (VDD GND)

AM2301 supply voltage range 3.3V – 5.2V, recommended supply voltage is 5V.

#### 4.3 Serial data (SDA)

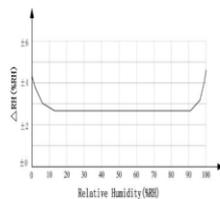
SDA pin is tri structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

### 5. Sensor performance

#### 5.1 Relative humidity

Table 2: AM2301 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution		0.1			%RH
Range		0	99.9		%RH
Accuracy <sup>[1]</sup>	25°C	±3			%RH
Repeatability		±1			%RH
Exchange		Completely interchangeable			
Response <sup>[2]</sup>	1/(t/63%)	<6			S
Sluggish		±0.3			%RH
Drift <sup>[3]</sup>	Typical	<0.5			%RH/yr

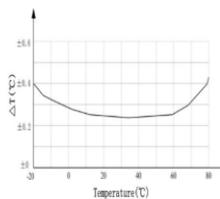


PIC2: At25°C The error of relative humidity

#### 5.2 Temperature

Table 3: AM2301 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution		0.1			°C
n		16			bit
Accuracy		±0.3	±1		°C
Range		-40	80		°C
Repeat		±0.2			°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response	1/(t/63%)	<10			S
Drift		±0.3			°C/yr



PIC3: The maximum temperature error

Table 4: AM2301 DC Characteristics

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.2	V
Power consumption <sup>[4]</sup>	Dormancy	10	15		µA
	Measuring		500		µA
	Average		300		µA
Low level output voltage	$I_{OL}^{[5]}$	0		300	mV
High output voltage	$R_p < 25 \text{ k}\Omega$	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
$R_{pu}^{[6]}$	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		µA
Sampling period		2			S

[1] the accuracy of the factory inspection, the sensor 25 ° C and 5V, the accuracy specification of test conditions, it does not include hysteresis and nonlinearity, and is only suitable for non-condensing environment.

[2] to achieve an order of 63% of the time required under the conditions of 25 ° C and 1m / s airflow.

[3] in the volatile organic compounds, the values may be higher. See the manual application to store information.

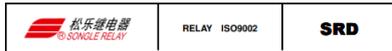
[4] this value at VDD = 5.0V when the temperature is 25 ° C, 2S / time, under the conditions of the average.

[5] low output current.

[6] that the pull-up resistor.

# ANEXO E: HOJA DE DATOS REGLETA DE RELÉS

## SONGLE RELAY



### 1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

### 2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc. ( Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

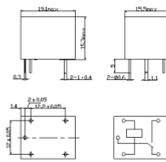
### 3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	01, 05, 06, 09, 12, 24, 48VDC	S: Sealed type T: Flux free type	L: 0.5W	A: 1 form-A B: 1 form-B C: 1 form-C

### 4. RATING

CCC	FILE NUMBER: CH0052885-2000	7A/240VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: CH0038746-99	10A/250VDC
TUV	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R993789	10A/240VAC 28VDC

### 5. DIMENSION (unit:mm) DRILLING (unit:mm) WIRING DIAGRAM



### 6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) ±10%	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max. Allowable Voltage (VDC)
SRD High Sensitivity	03	03	120	25	abt. 0.36W	75% Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
SRD (Standard)	24	24	15	1600				
	48	48	7.5	6400	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	69.3	55				
	06	06	75	60				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

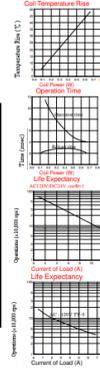
### 7. CONTACT RATING

Item	Type	SRD FORM C	SRD FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load (cosφ=1)		10A 125VAC	10A 240VAC
		7A 240VAC	5A 28VDC
Inductive Load (cosφ=0.4 L/R<7msec)		5A 125VAC	5A 28VDC
		3A 28VDC	5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power		300VA/240W	120VA/300W
Contact Material		Ag-Cd	Ag-Cd

### 8. PERFORMANCE (at initial value)

Item	Type	SRD
Contact Resistance		100mΩ Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength		500VAC 50/60Hz (1 minute)
Between coil & contact		1000VAC 50/60Hz (1 minute)
Between contacts		1000VAC 50/60Hz (1 minute)
Insulation Resistance		100 MΩ Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching		
Mechanically		300 operation/min
Electrically		30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration		
Endurance		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Error Operation		10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock		
Endurance		100G Min.
Error Operation		10G Min.
Life Expectancy		10 <sup>7</sup> operations Min. (no load)
Mechanically		10 <sup>7</sup> operations Min. (at rated coil voltage)
Electrically		10 <sup>7</sup> operations Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10gpc.

### 9. REFERENCE DATA



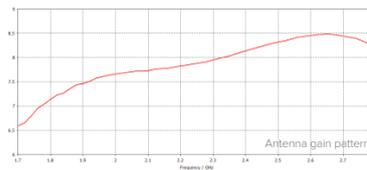
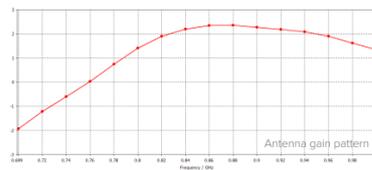
# ANEXO F: HOJA DE DATOS ANTENAS MIKROTIK

## Specifications

Product code	RBSXTR&R11e-LTE	RBSXTR&R11e-LTE-US
CPU	QCA9531 650 MHz	
Size of RAM	64 MB	
Storage	16 MB Flash	
10/100 Ethernet ports	2	
LTE antenna gain	9 dBi	
Antenna beam width	60°	
LTE category	4 (150Mbps Downlink, 50Mbps Uplink)	
3G category	R7 (2Mbps Downlinks, 5.76Mbps Uplink)	R8 (Cat24 - 42.2Mbps Downlink) R7 (Cat14 - 21Mbps Downlink)
2G category	Class12	-
SIM slot	2 (Micro SIM)	
PoE in	Yes, on Ether1	
PoE out	Yes, on Ether2, max out per port output (input < 30 V): 600 mA, max out per port output (input > 30 V): 400 mA max total out (A): 600 mA	
Supported input voltage	18 - 57 V (Passive PoE, 802.3af/at on Ether2)	
Dimensions	140 x 140 x 103 mm	
Operating temperature	-40°C - +60°C tested	
License level	3	
Operating System	RouterOS	
Max Power consumption	6 W	

RBSXTR&R11e-LTE	
LTE (FDD) bands	1(2100)/2(1900)/3(1800)/7(2600)/8(900)/20(800)
LTE (TDD) bands	38(2600)/40(2300)
3G bands	1(2100)/2(1900)/5(850)/8(900)
2G bands	2(1900)/3(1800)/5(850)/8(900)

RBSXTR&R11e-LTE-US	
LTE (FDD) bands	2(1900)/4(1700)/5(850)/12(700)
3G bands	2(1900)/5(850)



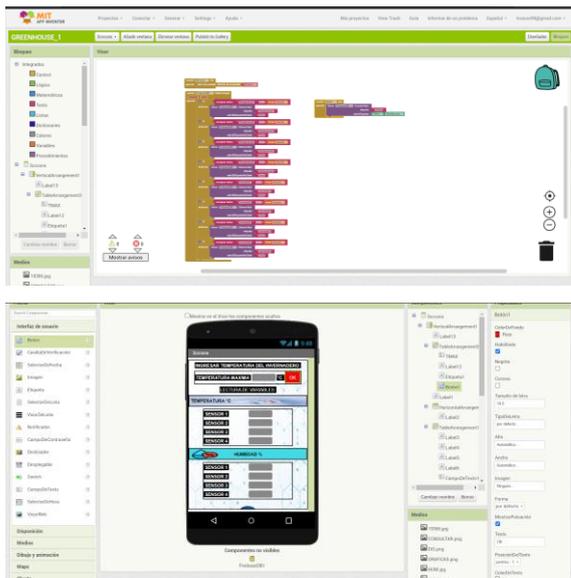




## Pantalla de cortinas

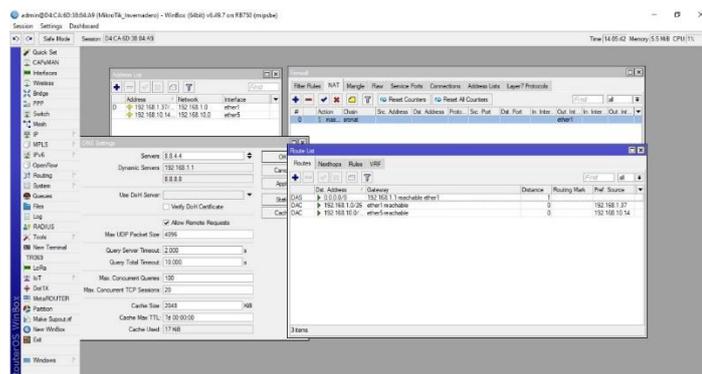


## Pantalla de consultar



## ANEXO I: CONFIGURACIÓN DE ANTENAS

### Configuración del router.



Conexion entre las antenas y ya hay comunicacion del enlace

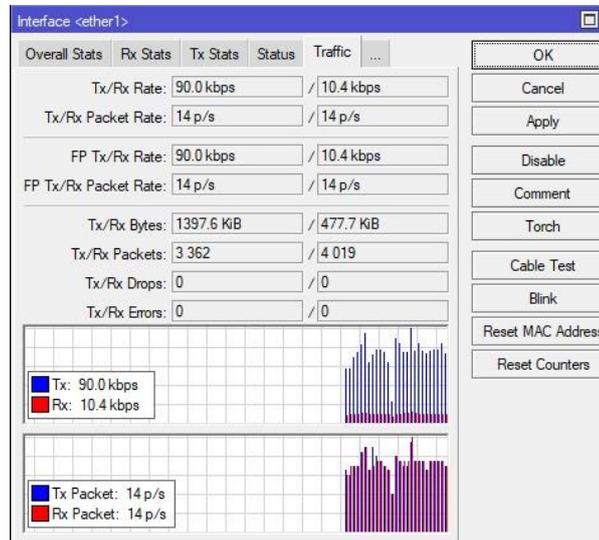
Radio Name	MAC Address	Interface	Uptime	AP	WDS	Last Activ...	Tx/Rx Signal Strength (dBm)	Tx Rate	Rx Rate
MIKRO_A	74:4D:28:4A:13:52	wlan1	01:32:54	yes	no	1.000	-17.27	130Mbps...	6Mbps

Prueba de conectividad al servidor dns desde la antena.

Seq #	Host	Time	Reply Size	TTL	Status
0	8.8.8.8	23ms	50	116	
1	8.8.8.8	22ms	50	116	
2	8.8.8.8	22ms	50	116	
3	8.8.8.8	22ms	50	116	
4	8.8.8.8	22ms	50	116	
5	8.8.8.8	22ms	50	116	
6	8.8.8.8	22ms	50	116	

7 items 7 of 7 packets rec... 0% packet loss Min: 22 ms Avg: 22 ms Max: 23 ms

Tráfico que pasa por la interfaz del router



## ANEXO J: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

```
#include <WiFi.h>
#include "FirebaseESP32.h"
#include "DHT.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <addons/RTDBHelper.h>
#define SAMPLE_SIZE 10

int lcdColumns = 16;
int lcdRows = 2;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, lcdColumns, lcdRows);

#define FIREBASE_HOST "https://esp32s-365d4-default-rtdb.firebaseio.com/"
#define FIREBASE_AUTH "OosGogRyBKJlhnriKCeI7rP8qOVh5KNqWFD7c4EX"
FirebaseData MiniCurso;

const String ruta = "GREENHOUSE2";
const String apiKey = "INT2IKW1EJ159Q5M";

const char* ssid = "Invernadero_Tomates";
const char* pass = "77033727";
const char* server = "api.thingspeak.com";

#define DHTPIN1 32
#define DHTPIN2 33
#define DHTPIN3 25
#define DHTPIN4 26

#define DHTTYPE DHT21 // DHT21 (AM2301)

DHT dht1 (DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2 (DHTPIN2, DHTTYPE);
DHT dht3 (DHTPIN3, DHTTYPE);
DHT dht4 (DHTPIN4, DHTTYPE);

WiFiClient client;

int i, j, x, y=0, Tp=20;
bool value=false;

void setup() {
  //valores atipicos
  int samples[SAMPLE_SIZE];
  int index = 0;
  pinMode(17, OUTPUT);
  pinMode(16, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(0, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(15, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(18, OUTPUT);

  digitalWrite(18, HIGH); //1
  digitalWrite(5, HIGH); //2
  digitalWrite(17, HIGH); //3
  digitalWrite(16, HIGH); //4
  digitalWrite(4, HIGH); //5
  digitalWrite(0, HIGH); //6
  digitalWrite(2, HIGH); //7
  digitalWrite(15, HIGH); //8
```

```
| lcd.init();  
  lcd.backlight();  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("T: ");  
  lcd.setCursor(11,0);  
  lcd.print("gC");  
  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("H: ");  
  lcd.setCursor(11,1);  
  lcd.print("%");  
  
  Serial.begin(115200);  
  WiFi.begin(ssid, pass);  
  
  Serial.print("Se esta conectando a la red Wifi ");  
  Serial.println(ssid);  
  
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
  
    Serial.print(".");  
  }  
  
  Serial.println("");  
  Serial.println("WiFi Conectado");  
  Serial.println("Dirección IP: ");  
  Serial.println(WiFi.localIP());
```

```
    Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
    Firebase.reconnectWiFi(true);

    dht1.begin();
    dht2.begin();
    dht3.begin();
    dht4.begin();

}

String Ci = "0";
String S1 = "0";
String S2 = "0";
String Tpp = "0";

void apagado() {
    digitalWrite(18, HIGH); //1
    digitalWrite(5, HIGH); //2
    digitalWrite(17, HIGH); //3
    digitalWrite(16, HIGH); //4
    digitalWrite(4, HIGH); //5
    digitalWrite(0, HIGH); //6
    digitalWrite(2, HIGH); //7
    digitalWrite(15, HIGH); //8
}

void loop() {

    float h1 = dht1.readHumidity();
    float t1 = dht1.readTemperature();
    float f = dht1.readTemperature(true);
```

```

float h2 = dht2.readHumidity();
float t2 = dht2.readTemperature();
float f2 = dht2.readTemperature(true);

float h3 = dht3.readHumidity();
float t3 = dht3.readTemperature();
float f3 = dht3.readTemperature(true);

float h4 = dht4.readHumidity();
float t4 = dht4.readTemperature();
float f4 = dht4.readTemperature(true);

String postStr = apiKey;
postStr += "&field1=";
postStr += String(t1);
postStr += "&field2=";
postStr += String(t2);
postStr += "&field3=";
postStr += String(t3);
postStr += "&field4=";
postStr += String(t4);

postStr += "&field5=";
postStr += String(h1);
postStr += "&field6=";
postStr += String(h2);
postStr += "&field7=";
postStr += String(h3);
postStr += "&field8=";
postStr += String(h4);
postStr += "\r\n\r\n";

float mayor = t1; // Asignar el valor de 'a' como el valor mayor inicialmente

// Usar un ciclo for para comparar los valores y actualizar la variable 'mayor' si se encuentra un valor mayor
for (int i = 1; i < 4; i++) {
float valor; // Variable para almacenar el valor a comparar en cada iteración

// Asignar el valor correspondiente a la variable 'valor' en cada iteración
if (i == 1) {
    valor = t2;
} else if (i == 2) {
    valor = t3;
} else if (i == 3) {
    valor = t4;
}

// Comparar el valor actual con el valor mayor actual y actualizar la variable 'mayor' si se encuentra un valor mayor
if (valor > mayor) {
    mayor = valor;
}
}

float mayorh = h1; // Asignar el valor de 'a' como el valor mayor inicialmente

// Usar un ciclo for para comparar los valores y actualizar la variable 'mayor' si se encuentra un valor mayor
for (int i = 1; i < 4; i++) {
float valorh; // Variable para almacenar el valor a comparar en cada iteración

```

```

// Asignar el valor correspondiente a la variable 'valor' en cada iteración
if (i == 1) {
    valorh = h2;
} else if (i == 2) {
    valorh = h3;
} else if (i == 3) {
    valorh = h4;
}

// Comparar el valor actual con el valor mayor actual y actualizar la variable 'mayor' si se encuentra un valor mayor
if (valorh > mayorh) {
    mayorh = valorh;
}
}

String AA = String(mayor, 2);
String BB = String(mayorh, 2);

lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(AA);

lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(BB);

if (client.connect(server, 80)) // "184.106.153.149" or api.thingspeak.com
{
    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print("Connection: close\n");
    client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
    client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
    client.print("Content-Length: ");
    client.print(postStr.length());
    client.print("\n\n");
    client.print(postStr);

    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Temperatura1", t1);
    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Temperatura2", t2);
    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Temperatura3", t3);
    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Temperatura4", t4);

    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Humedad1", h1);
    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Humedad2", h2);
    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Humedad3", h3);
    Firebase.setInt(MiniCurso, ruta + "/Humedad4", h4);

    if (Firebase.RTDB.getString(&MiniCurso, ruta + "/Cortina"))
        Ci = MiniCurso.stringData();
    if (Firebase.RTDB.getString(&MiniCurso, ruta + "/Switch1"))
        S1 = MiniCurso.stringData();
    if (Firebase.RTDB.getString(&MiniCurso, ruta + "/Switch2"))
        S2 = MiniCurso.stringData();

    if (Firebase.RTDB.getString(&MiniCurso, ruta + "/TemMaxi"))
        Tpp = MiniCurso.stringData();
}

```

```

Serial.print("VALOR DE TEM MAXI: ");
Serial.print(Tpp);
Serial.println();

int Tp = Tpp.substring(Tpp.indexOf("TemMaxi") + 3, Tpp.indexOf("TemMaxi")+5).toInt();
Serial.print("VALOR DE TEM MAI: ");
Serial.print(Tp);
Serial.println();

// String peticion = client.readString();
// if (peticion.indexOf("TMAX")>=0)
//{
//
//
// analogWrite(Tp, consigna);
// }

Serial.print("Valor de Tp: ");
Serial.print(Tp);
Serial.println(" ");

if ((Ci == "1" && S1 == "2") || (Ci == "2" && S1 == "2") || (Ci == "3" && S1 == "2") || (Ci == "4" && S1 == "2") || (S2 == "2"))
{
digitalWrite(18, HIGH); //1
digitalWrite(5, HIGH); //2
digitalWrite(17, HIGH); //3
digitalWrite(16, HIGH); //4
digitalWrite(4, HIGH); //5
digitalWrite(0, HIGH); //6
digitalWrite(2, HIGH); //7
digitalWrite(15, HIGH); //8

if (Ci == "4" && S1 == "1" && S2 == "1") //arriba IZQ
{
digitalWrite(18, HIGH); //1
digitalWrite(5, LOW); //2
digitalWrite(17, HIGH); //3
digitalWrite(16, LOW); //4
digitalWrite(4, HIGH); //5
digitalWrite(0, HIGH); //6
digitalWrite(2, HIGH); //7
digitalWrite(15, HIGH); //8
delay(2000);
apagado();
}
else if (Ci == "3" && S1 == "1" && S2 == "1") //abajoIZQ
{

digitalWrite(18, LOW); //1
digitalWrite(5, HIGH); //2
digitalWrite(17, LOW); //3
digitalWrite(16, HIGH); //4
digitalWrite(4, HIGH); //5
digitalWrite(0, HIGH); //6
digitalWrite(2, HIGH); //7
digitalWrite(15, HIGH); //8
delay(2000);
apagado();
}

if (Ci == "2" && S1 == "1" && S2 == "1") //arribader
{
digitalWrite(18, HIGH); //1
digitalWrite(5, HIGH); //2
digitalWrite(17, HIGH); //3
digitalWrite(16, HIGH); //4

```

```

digitalWrite(4, HIGH); //5
digitalWrite(0, LOW); //6
digitalWrite(2, HIGH); //7
digitalWrite(15, LOW); //8
delay(2000);
apagado();
}
else if (Ci == "1" && S1 == "1" && S2 == "1") //abajoder
{
digitalWrite(18, HIGH); //1
digitalWrite(5, HIGH); //2
digitalWrite(17, HIGH); //3
digitalWrite(16, HIGH); //4
digitalWrite(4, LOW); //5
digitalWrite(0, HIGH); //6
digitalWrite(2, LOW); //7
digitalWrite(15, HIGH); //8
delay(2000);
apagado();
}
delay(10);

Serial.print("VALOR MAS ALTO DE TEMP: ");
Serial.print(mayor);
Serial.println(" ");

while(S2=="2"){ //AUTOMATICO
Serial.println(S2);
Serial.println("MODO AUTOMATICO");

while((mayor>Tp) && (value==false)){//SUBE SUBE
Serial.println("SUBIENDO CORTINA DERECHA");
digitalWrite(18, HIGH); //1
digitalWrite(5, LOW); //2
digitalWrite(17, HIGH); //3
digitalWrite(16, LOW); //4
digitalWrite(4, HIGH); //5
digitalWrite(0, HIGH); //6
digitalWrite(2, HIGH); //7
digitalWrite(15, HIGH); //8
delay(16000);
apagado();

Serial.println("SUBIENDO CORTINA IZQUIERDA");
digitalWrite(18, HIGH); //1
digitalWrite(5, HIGH); //2
digitalWrite(17, HIGH); //3
digitalWrite(16, HIGH); //4
digitalWrite(4, HIGH); //5
digitalWrite(0, LOW); //6
digitalWrite(2, HIGH); //7
digitalWrite(15, LOW); //8
delay(16000);
apagado();
value=true;
}
}

```

```
while ((mayor<Tp) && (value==true)) { //BAJA BAJA
  Serial.println("BAJANDO CORTINA DERECHA");
  digitalWrite(18, LOW); //1
  digitalWrite(5, HIGH); //2
  digitalWrite(17, LOW); //3
  digitalWrite(16, HIGH); //4
  digitalWrite(4, HIGH); //5
  digitalWrite(0, HIGH); //6
  digitalWrite(2, HIGH); //7
  digitalWrite(15, HIGH); //8
  delay(14000);
  apagado();
  Serial.println("BAJANDO CORTINA IZQUIERDA");
  lcd.print("BAJA CORT IZQ");
  digitalWrite(18, HIGH); //1
  digitalWrite(5, HIGH); //2
  digitalWrite(17, HIGH); //3
  digitalWrite(16, HIGH); //4
  digitalWrite(4, LOW); //5
  digitalWrite(0, HIGH); //6
  digitalWrite(2, LOW); //7
  digitalWrite(15, HIGH); //8
  delay(14000);
  apagado();
  value=false;
}
s2="0";
}

client.stop();
delay(100);

}
```

---



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27/03/2022

<b>INFORMACIÓN DE LOS AUTORES</b>
Nombres – Apellidos: Kerly Mishell Vaca Vallejo.
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
Facultad: Informática y Electrónica.
Carrera: Electrónica y Automatización.
Título a optar: Ing. Ramiro Isa.
f. Analista de Biblioteca responsable:  Ing. Fernanda Arévalo M.



1394-DBRAI-UPT-2023