



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE
MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE
GUASAVE
T E S I S**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
VARIABLES INTERNAS DE UNA
CASA SOMBRA CON UN ESP32 PARA EL CULTIVO DE
FRESA.**

presentada por

JAIRO ENRIQUE GAMEZ CASTRO

como requisito para la obtención del grado de

INGENIERO MECÁNICO

Director(a) de tesis

M.C. FATSIN ERNESTO COTA COTA



CARTA DE LIBERACIÓN O APROBACIÓN DE TESIS.

AGRADECIMIENTOS.

Primero que nada, quiero dar gracias a Dios porque gracias a él es que despertamos cada día y es quien me brinda la fuerza para seguir adelante cumpliendo con todas las metas que me propongo o estoy por proponerme. Quiero agradecer a la institución, el Instituto Tecnológico Superior de Guasave, por darme la oportunidad de trabajar en sus instalaciones, así como también agradecer a todos los maestros que tuve a lo largo de mi carrera profesional los cuales siempre me brindaron su apoyo y me brindaron los conocimientos que hoy en día me convierten en el profesional que soy. Agradecer del mismo modo a mis compañeros de clases con los cuales también forme una gran amistad y siempre estuvieron para mí cuando los necesité, la carrera no hubiera sido lo mismo sin ellos.

Quiero agradecer a toda mi familia en general por su apoyo y por la enorme confianza que tienen en mí. Muchas gracias a todos.

DEDICATORIA.

Quiero dedicar este trabajo profesional a mis padres, la Sra. Noemi Castro Reyes y el Sr. Abelardo Gámez Bojórquez ya que fueron los encargados de guiarme por el camino correcto todo el tiempo a lo largo no solo de la carrera, sino a lo largo de toda mi vida. Dedico este trabajo a mis hermanos, José, Flor e Itzel. Ya que siempre han estado para mí desde pequeño y que sé que a pesar de las peleas siempre nos tenemos los unos a los otros.

Por último, pero no menos importante, se lo dedico a mis abuelos, a mis tíos y todos mis primos. De verdad que todos son una familia increíble.

RESUMEN.

Este proyecto de tesis titulado Diseño de un sistema de control de variables internas de una casa sombra con un ESP32 para el cultivo de fresa, es un proyecto que se llevó a cabo en una casa sombra que se ubica en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Esta casa sombra cuenta con una malla sombra la cual es abierta y cerrada según las necesidades del cultivo. Se usó como referencia el cultivo de fresa debido a que es la que se encuentra actualmente en producción, sin embargo, el control puede aplicarse a cualquier cultivo que se produzca en la casa sombra. La fresa debe permanecer en temperaturas de entre 2° y 35° C. Mediante el control aplicado, se pretende mantener la fresa con una humedad del 50% al 70% de manera automática, y se sustituyó de esta manera los procesos manuales que se desarrollaban. En esta tesis se definieron las especificaciones del sistema, se dimensionaron los dispositivos necesarios, se elaboró un diseño central del sistema, se desarrolló un código para el microcontrolador ESP32 que contiene la lógica de funcionamiento del sistema de control y se realizó la implementación. El diseño de este sistema de control promueve el avance tecnológico en los cultivos y evita el error humano cuando se habla de controlar las variables internas de éste, gracias a los sensores que harán las lecturas de temperatura y de humedad dentro de la casa sombra.

Palabras clave: Esp32, diseño, automatización.

ABSTRACT

This thesis project entitled Design of a control system for internal variables of a shadow house with an ESP32 for strawberry cultivation, is a project that was carried out in a shadow house that is located in the facilities of the Instituto Tecnológico Superior de Guasave. This shade house has a shade mesh which is open and closed according to the needs of the crop. The strawberry crop was used as a reference because it is the one currently in production, however, the control can be applied to any crop that is produced in the shade house. The strawberry should remain in temperatures between 2° and 35° C. Through the control applied, the aim is to maintain the strawberry with a humidity of 50% to 70% automatically, and in this way the manual processes that were developed were replaced. In this thesis, the system specifications were defined, the necessary devices were sized, a central design of the system was developed, a code for the ESP32 microcontroller that contains the operating logic of the control system was developed, and the implementation was carried out. The design of this control system promotes technological advancement in crops and avoids human error when it comes to controlling its internal variables thanks to the sensors that will take temperature and humidity readings inside the shade house.

Keywords: Esp32, design, automation.

ÍNDICE

CARTA DE LIBERACIÓN O APROBACIÓN DE TESIS.....	i
AGRADECIMIENTOS.	ii
DEDICATORIA.	iii
RESUMEN.	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE.	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.	xi
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
2.1 Justificación.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
3.1 General.	3
3.2 Específicos.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.	4
4.1 Antecedentes	4
4.2 Marco Conceptual	8
4.2.1 Sistemas de control	8
4.2.2 Sistema de control de lazo abierto.....	8
4.2.3 Sistema de control de lazo cerrado.....	9
4.2.4 Control proporcional integral y derivativo PID.....	9
4.2.5 Control por histéresis	9
4.2.6 Sensor	10
4.2.7 Sensor de humedad de suelo Fc-24 Higrómetro	10
4.2.8 Sensor de temperatura LM35	11

4.2.9 Microcontrolador	11
4.2.10 Microcontrolador Esp32	12
4.2.11 Invernadero	13
4.2.12 Casa sombra.....	13
4.2.13 Temperatura.....	14
4.2.14 Humedad	14
4.2.15 Control climático en un invernadero.....	14
4.2.16 Motor de corriente continua	14
4.2.17 Puente H.....	15
4.2.18 Electroválvulas.....	15
4.2.19 Bomba de succión	15
4.2.20 Final de carrera.....	16
4.2.21 Protoboard	16
4.2.22 Circuito en paralelo	16
4.2.23 Relevador solenoide	16
4.2.24 Fuente conmutada	17
4.2.25 Cultivo de fresa	17
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
5.1 Materiales y métodos	18
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
6.1 Diseño de firmware	29
6.2 Análisis de los resultados del control de temperatura	31
6.3 Análisis de los resultados del control de humedad.....	35
6.4 Costos	37
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
7.1 Conclusiones.....	44
7.2 Recomendaciones	44
7.3 Experiencia profesional adquirida	45
VIII. REFERENCIAS.....	46
8.1 Referencias.....	46

IX.	ANEXOS.....	54
9.1	Anexos	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Motor de corriente continua.....	20
Figura 2: Vuelta de cable de acero en el motor.	20
Figura 3: Nudo galvanizado.....	21
Figura 4: Sensor de temperatura LM35.....	21
Figura 5: Malla sombra cerrada.....	22
Figura 6: Puente H	23
Figura 7: Fuente conmutada.	24
Figura 8: Finales de carrera.	24
Figura 9: Sensores de humedad distribuidos.	25
Figura 10: Línea de código para mapear lecturas.	26
Figura 11: Electroválvulas.	26
Figura 12: Transistores con relevadores.	27
Figura 13: Declaración de variables.	29
Figura 14: Definición de los pines.	30
Figura 15: Comportamiento del sistema.....	31
Figura 16: Diagrama eléctrico del control de temperatura.....	32
Figura 17: Conexiones físicas del control de temperatura.....	33
Figura 18: Monitor serie, final de carrera 1 activado.	34
Figura 19: Monitor serie, segundo final de carrera activado.....	34
Figura 20: Diagrama eléctrico del control de humedad.	35
Figura 21: Conexiones físicas del control de humedad.....	36
Figura 22: Electroválvula 1 encendida.	36
Figura 23: Electroválvula 2 encendida.	37

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1:Costos	38
----------------------	----

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se ha tenido un gran avance en tecnologías de automatización y control. Las actualizaciones en la industria no se detienen y por esta razón el Instituto Tecnológico Superior de Guasave no puede quedarse rezagado aplicando métodos tradicionales de forma artesanal, sino al contrario, seguir actualizándose para ser competitivos. En esta tesis se diseñó un sistema de control de las variables internas de temperatura y humedad para el cultivo de fresa. Este proyecto de automatización se diseñó e implementó en la casa sombra que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave, sin embargo, puede ser reproducido en cualquier casa sombra y adaptado a cualquier cultivo. El diseño y la implementación de este tipo de proyectos son de suma importancia para no quedarse estancado en lo convencional y siga avanzando en un mundo altamente competitivo.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Planteamiento del problema

El Instituto Tecnológico Superior de Guasave tiene en sus instalaciones una casa sombra, donde se practican cultivos de muchas variedades y como en todos los cultivos se les brinda agua y se cubre del sol a las plantas según sus necesidades específicas. Esta actividad se realiza de manera manual cada que las plantas tienen la necesidad de riego o de que les dé el sol de manera directa. Desde que el tecnológico tiene una casa sombra el control de las variables internas se realiza de esta manera, por ello, se diseñó un sistema de control de las variables de temperatura y humedad en el actual cultivo de fresa que existe en la casa sombra del instituto. ¿Qué se pretende alcanzar con este proyecto?, cumplir con el control de las variables mencionadas e implementarlo para el actual cultivo y los que se tengan a futuro. Se realizó la automatización para el control de estas dos variables, haciendo uso de un microcontrolador ESP32, esto con la finalidad de evitar el hacer las tareas de manera manual como se acostumbra.

II. JUSTIFICACIÓN.

2.1 Justificación

En la actualidad se está implementando el uso de microcontroladores para automatizar tareas que requieren la constante supervisión de una o más personas, por ello el presente proyecto se realizó con la intención de manejar las variables de humedad y temperatura en una casa sombra, en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Al realizar el diseño del sistema de control de las variables de humedad y temperatura, se pueden obtener cultivos de mayor calidad, debido a que las plantas no dependerán de una persona para activar el riego o para mover la malla sombra que obstruye el paso de la radiación solar directa, sino que en cuanto se necesite más riego automáticamente se abrirá la válvula del agua, del mismo modo, en cuanto se requiera la sombra, se activarán dos motores eléctricos que moverán la malla. De esta manera las variables se mantendrán todo el tiempo en los márgenes establecidos en el sistema, obteniendo de esta manera la humedad y temperatura necesaria para el crecimiento óptimo de la planta de fresa, teniendo mayor confiabilidad y evitando de esa manera el error humano en el cultivo.

III. OBJETIVOS.

3.1 General.

Diseñar un sistema de control de variables internas de una casa sombra en un ESP32 para el cultivo de fresa.

3.2 Específicos.

- Estudiar las necesidades del sistema.
- Definir las especificaciones del sistema.
- Dimensionar los dispositivos.
- Desarrollar el programa del microcontrolador.
- Elaborar el diseño del sistema de control.
- Implementar el sistema de control

IV. MARCO TEÓRICO.

4.1 Antecedentes

Tesis: “Automatización de un cultivo hidropónico NFT para el control de temperatura, riego y mezcla de la solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito”. Rubio Mena, C. (2017).

Con el paso de los años el ser humano ha venido buscando productos que sean cada vez más naturales, la técnica de cultivar sin suelo o también llamados cultivos hidropónicos es una solución para el crecimiento de frutas, hortalizas y vegetales, sin la exposición de su raíz a la contaminación de los suelos, los cuales son contaminados con distintos químicos para su reutilización haciéndolas fértiles después de sus cosechas.

En el Ecuador la técnica de hidroponía es poco conocida, sin embargo, en los supermercados se ha visto un incremento en la producción de alimentos orgánicos en lo que se refiere a vegetales y frutas. Para lograr una producción que sea capaz de abastecer los supermercados se necesita un crecimiento rápido de los cultivos por lo que las grandes empresas agregan algunos químicos para acelerar el desarrollo de las plantas.

Teniendo en cuenta estos problemas se realizó el diseño e implementación de un invernadero, realizando un adecuado control en la mezcla de solución nutritiva y agua, con la placa de desarrollo Arduino Mega, un sistema de enfriamiento para evitar el marchitamiento de los cultivos controlados por 2 sensores de temperatura, por último, se controló el tiempo de riego necesario para cultivos de hortalizas.

Con la implementación de este invernadero se logró un crecimiento de 5 cm en los cultivos de lechuga comparado a los cultivos hidropónicos sin automatizar, debido a la cantidad de producción por semana de lechugas se puede empezar una mini empresa distribuyendo lechugas a pequeños sectores.

Tesis: “Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas Orgánicas y tomate riñón”. Abalco Haro, C. P. y Vásconez Simbaña, P. D. (2018).

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

Tesis: “Automatización del riego en arándano a partir de las propiedades del sustrato”. López Hernández, N. A. (2020).

El rendimiento y la calidad del fruto del arándano dependen en gran medida del sustrato, y de la aplicación suficiente y oportuna del riego, por esta razón se planteó que proporcionar el requerimiento hídrico en tiempo real, considerando las características del sustrato en el que se desarrolla, favorecería la productividad potencial del cultivo. Ergo, el objetivo general de este trabajo fue proponer un

método de automatización del riego para la producción de arándano con base en las propiedades físicas del sustrato. Para poder alcanzar este objetivo se diseñó una metodología, que se dividió en dos fases. La primera consistió en la selección y generación de sustratos, y en la elaboración del algoritmo para automatizar el riego; y, la segunda en su implementación y evaluación bajo condiciones reales de invernadero, comparando el riego automatizado con un programa de riego diseñado a partir de la estimación de la ETo con el método empírico FAO Penman-Monteith. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con un arreglo de 2 factores (tipo de riego y tipo de sustrato), obteniéndose 8 tratamientos y estableciéndose 6 repeticiones. La variable respuesta fue lecturas SPAD, por ser un indicador del vigor y vitalidad de las plantas de arándano.

Los resultados mostraron que tanto la forma de aplicación del riego como el tipo de sustrato tienen efecto sobre el desarrollo de los arándanos, obteniéndose el mayor valor de lecturas SPAD en los tratamientos que corresponden al riego automatizado y al sustrato generado mediante la técnica de programación lineal Simplex Dual (70 % fibra de coco + 30 % tezontle). La innovación de este proyecto fue generar un prototipo único en su tipo para automatizar el riego de cultivos en sustrato, sin depender de algún método empírico ni de costosos y sofisticados instrumentos como los lisímetros de pesada.

Se concluye que es posible automatizar los sistemas de riego para cultivo de arándano al correlacionar el contenido de humedad de los sustratos con la señal de los sensores capacitivos de humedad del suelo, favoreciendo la vigorosidad de las plantas.

Tesis: “Elaboración del prototipo de un sistema de control de variables atmosféricas automatizado para el cultivo de plantas bajo invernadero en ambiente indoor en la Región Caribe”. Anaya Solano, D. A. y Ojeda Field, L. F. (2020).

El presente proyecto de grado propone un prototipo de invernadero para el cultivo de plantas comestibles, vegetales y frutos en ambientes indoor (situado dentro de

un recinto o bajo cubierta) de forma controlada y automatizada. A través de una tarjeta electrónica ARDUINO, se controla de forma automatizada las variables ambientales más significativas que influyen en el crecimiento de las plantas, tales como, temperatura, humedad del aire, humedad del suelo e iluminación. Asimismo, se desarrolló una aplicación móvil, que permite el monitoreo y control del cultivo o planta en el interior del invernadero. Finalmente, se presentan los análisis de las mediciones proporcionadas por el invernadero, y se exponen conclusiones a partir de las mismas.

Tesis: “AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA NFT PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS”. Inca Sánchez, S. A. (2013).

En el presente proyecto se aplica los conceptos de la Ingeniería Electrónica para el diseño de un Sistema de Control y Automatización para cultivos Hidropónicos que usan la técnica NFT como método de producción.

En el Capítulo 1, se plantea el marco situacional, la problematización y se definen los objetivos principales y generales.

En el Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico de los Cultivos Hidropónicos, incluyendo los conceptos necesarios para entender la importancia del desarrollo del presente proyecto.

En el Capítulo 3, se presentan las principales herramientas que nos proporciona el Software LabVIEW de National Instruments, en el cual está basado nuestro Sistema de Control y Automatización.

En el Capítulo 4, se describe el diseño del sistema de Control y Automatización, incluyendo la lógica de programación y las interfaces entre Hardware y Software de todos los elementos del Sistema.

En el Capítulo 5, se muestran los resultados obtenidos de la implementación del sistema de automatización en una planta construida a escala, obteniendo resultados exitosos que cumplen con el diseño planteado.

Del análisis de la información y de los resultados teóricos – prácticos, se puede decir que el proyecto del Sistema de Automatización y Control del Sistema NFT para Cultivos Hidropónicos se realizó con éxito.

4.2 Marco Conceptual

4.2.1 Sistemas de control

Según Varela (2014) Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada. Es importante resaltar el hecho de que no es necesario conocer el funcionamiento interno, o cómo actúan entre sí los diversos elementos, para caracterizar el sistema. Para ello, sólo se precisa conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso que realiza el mismo (p.11).

Caiza (2015, como se citó de Giraldo, B & Tabares, G. 1997) nos dice que: Un sistema de control puede definirse conceptualmente como un ente que recibe acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida (p.26).

4.2.2 Sistema de control de lazo abierto

Para Torres y Chanoluisa (2015) el control en lazo abierto se caracteriza por que la información o variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección (p.10).

De acuerdo con Colman (2020) cuando el sistema de un proceso conlleva una regulación de las cantidades de salida (tales como posición, velocidad, temperatura, etc.), de acuerdo con una señal de mando a la entrada, se le conoce como sistema de control. Y si la relación entre la respuesta de salida y la señal de mando es fija y no retroalimentada, se define como un Sistema de control en lazo abierto (p.18).

4.2.3 Sistema de control de lazo cerrado

Según Huaranga (2020, Como se citó de Hernández 2010) dicho sistema utiliza un sensor que detecta la respuesta real para compararla, entonces, con una referencia manera de entrada. Por esta razón, los sistemas de lazo cerrado se denominan sistemas retroalimentados. El término retroalimentar significa comparar; en este caso, la salida real se compara con respecto al comportamiento deseado, de tal forma que si el sistema lo requiere se aplica una acción correctora sobre el proceso por controlar (p.18).

Cruz y Alejo (2019) nos dicen que: Este tipo de sistema también se denomina sistema de control retroalimentado. En este lazo de control se introduce al controlador una señal de error, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación, el fin de esta comparación es reducir el error y tener en la salida el valor deseado, el sistema a lazo cerrado permite la compensación de perturbaciones en caso de que exista alguna diferencia entre la entrada y la retroalimentación, el sistema acciona la planta por medio de una señal de control para hacer la corrección (p.4).

4.2.4 Control proporcional integral y derivativo PID

De acuerdo con Peña y Poveda (2015) un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que, aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce (p.33).

4.2.5 Control por histéresis

Según el controlador ON-OFF (2018) la histéresis está definida como la diferencia entre los tiempos de apagado y encendido del controlador. El usar un controlador

de acción de dos posiciones da como resultado una oscilación de la variable controlada, x . Para determinar la regulación del controlador, son importantes los parámetros amplitud y período de tiempo de la oscilación. La oscilación depende de muchos factores, el período de tiempo está en función del tiempo muerto del sistema y la posible histéresis del controlador. La histéresis también está directamente influenciada por la amplitud de la oscilación la cual es adicionalmente dependiente de los valores del factor de histéresis K_{is} y la magnitud del escalón en la variable de entrada (p.2).

4.2.6 Sensor

Para Cortez y Vargas (2020) los sensores son dispositivos electrónicos que tienen la capacidad de medir magnitudes físicas como la temperatura, iluminación, humedad, movimiento, presión, entre otros; y capaz de convertir el valor medido en una señal eléctrica ya sea analógica o digital para su posterior procesamiento (p.33).

4.2.7 Sensor de humedad de suelo Fc-24 Higrómetro

Según Alulema (2021) el sensor de humedad o conocido también como higrómetro de suelo FC-28, es un sensor el cual permite medir la humedad del suelo obteniendo así la medición como valor analógico o como salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral. Los valores obtenidos van desde 0 sumergidos en agua, a 1023 en un suelo muy seco (p.41).

La autora Hidalgo (2020) nos dice que este sensor, también conocido como Higrómetro, es usado ampliamente en el mundo debido a su bajo costo y comercialización, pero no cuenta con la precisión suficiente para realizar una correcta medición de la humedad del suelo, la cual es expresada en una señal analógica con un rango de 0 a 5 Voltios DC, cuenta con un potenciómetro que ayuda a regular la energía con la que funciona el sensor, es susceptible a la corrosión de los electrodos por lo que no es apto para realizar mediciones por largos periodos de tiempo (p.18).

4.2.8 Sensor de temperatura LM35

Según Alvear (2009) el LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a +150°C La salida es lineal y equivale a 10mV/°C por lo tanto:

$$+1500\text{mV} = 150^{\circ}\text{C}$$

$$+250\text{mV} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$-550\text{mV} = -55^{\circ}\text{C (p.5)}$$

4.2.9 Microcontrolador

De acuerdo con Pichucho (2007) un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene internamente todos los componentes de un computador. Este se utiliza para controlar el funcionamiento de una tarea determinada. Sus pines de entradas y salidas se utilizan para conectar motores, relays, actuadores, etc. Una vez que el microcontrolador esté programado, se encargará de ejecutar al pie de la letra la tarea encomendada (p.15).

Las partes básicas de un microcontrolador son las siguientes:

- Memoria ROM (Memoria de solo lectura)
- Memoria RAM (Memoria de acceso aleatorio)
- Líneas de entrada / salida (I/O). También llamados puertos, se utilizan para
- conectar los elementos externos al microcontrolador.
- Lógica de control. Coordina la interacción entre los demás bloques

Según Palma y Sangopanta (2011) un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la estructura (arquitectura) de un microcomputador, o sea CPU (Central Program Unit, Unidad Central de Programación), RAM (Random Access Memory, Memoria de Acceso Aleatorio), ROM (Read Only Memory, Memoria de Solo Lectura) y circuitos de entrada y salida. Los resultados de tipo práctico, que pueden lograrse a partir de estos elementos, son sorprendentes. Algunos microcontroladores más especializados poseen además convertidores análogos

digitales, temporizadores, contadores y un sistema para permitir la comunicación en serie y en paralelo (p.19).

4.2.10 Microcontrolador Esp32

De acuerdo con Morales y Turcios (2021) ESP32-WROOM-32D y ESP32-WROOM-32U son módulos de MCU (Microcontroller unit) WiFi + BT + BLE genéricos y potentes que tienen como objetivo una amplia variedad de aplicaciones, que van desde redes de sensores de baja potencia hasta las tareas más exigentes, como codificación de voz, transmisión de música y decodificación de MP3(p.15).

Lista de características principales:

- En el núcleo de los dos módulos se encuentra el chip ESP32-D0WD que pertenece a la serie de chips ESP32 *. El chip embedded está diseñado para ser escalable y adaptable.
- Hay dos núcleos de CPU que se pueden controlar individualmente, y la frecuencia del reloj de la CPU se puede ajustar de 80 MHz a 240 MHz.
- El chip también tiene un bajo consumo. Coprocesador que se puede usar en lugar de la CPU para ahorrar energía mientras se realizan tareas que no requieren mucha potencia de cálculo, como la monitorización de periféricos.
- ESP32 integra un amplio conjunto de periféricos, que van desde sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, interfaz de tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I²S e I²C.
- La integración de Bluetooth®, Bluetooth LE y Wi-Fi garantiza que se pueda dirigir una amplia gama de aplicaciones, y que el módulo sea versátil: el uso de Wi-Fi permite un gran alcance físico y una conexión directa a Internet a través de un enrutador Wi-Fi, mientras que el uso de Bluetooth permite al usuario conectarse cómodamente al teléfono o transmitir Balizas de baja energía para su detección.
- La corriente de reposo del chip ESP32 es inferior a 5 μ A, lo que lo hace adecuado para Aplicaciones de electrónica portátil y con pilas. El módulo admite una velocidad de datos de hasta 150 Mbps, y una potencia de salida de 20 dBm en la antena para garantizar el rango físico más amplio.

- Como tal, el módulo ofrece especificaciones líderes en la industria y el mejor rendimiento para integración electrónica, rango, consumo de energía, y conectividad.

Según Llor y Álvarez (2022) el microcontrolador ESP-32 es un SoC (System on Chip) desarrollado por la empresa china Espressif y fabricado por TSMC. Integra un procesador Tensilica Xtensa de doble núcleo de 32 bits a 160 MHz (potencialmente hasta 240 MHz) en un solo chip con conectividad Wi-Fi y Bluetooth. El módulo ESP32 es un paquete completo de Wi-Fi/Bluetooth certificado para proporcionar un procesador integrado con radio inalámbrica y conectividad entre varios elementos. El procesador posee 2 núcleos de procesamiento de datos cuya frecuencia de funcionamiento se puede controlar libremente entre los 80 (MHz) y 240 (MHz). Los elementos que se pueden conectar al procesador permiten una fácil realización de tareas (p.12).

4.2.11 Invernadero

Para Mantilla (2008) un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro del cual es posible obtener ambientes artificiales de climatización del producto y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas (p.18).

4.2.12 Casa sombra

De acuerdo con Chambi (2013) la casa malla o casa sombra tiene como función el sombreado de los cultivos, disminuyendo la incidencia de los rayos solares durante el día y modera la temperatura durante noches frías. Por lo general las casa malla son estructuras que permiten el sostén de mallas anti-insectos, otro de los objetivos por los que se instalan este tipo de estructuras es el de evitar que los insectos ataquen a los cultivos. Además de la reducción de quemaduras solares, se reduce la evapotranspiración y evaporación superficial, provocando un uso eficiente de agua y fertilizantes. Favorece condiciones para el desarrollo del cultivo y por ende aumentar su producción (p.18).

4.2.13 Temperatura

Es el parámetro más importante en el manejo del ambiente dentro de un invernadero y casa sombra con malla, ya que controla las tasas de reacciones metabólicas que dan lugar al crecimiento y desarrollo de la planta.

Según López (2010, como se citó en Jovicich, 2000) La temperatura en el interior del invernadero y casa sombra, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm. El aumento de la temperatura en el interior y el material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que al traspasar el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando la casa sombra (p.3).

4.2.14 Humedad

De acuerdo con Ortega (2017) la humedad relativa es una relación entre la capacidad máxima de retención de vapor de agua del aire contra la que es capaz de retener a una temperatura determinada. La humedad relativa es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones (p.22).

4.2.15 Control climático en un invernadero

Para Garcés y Torres (2002) En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos de un invernadero. Generalmente estos sistemas se basan en el empleo de un ordenador central al que se conectan un conjunto de sensores, que recogen las variaciones de los distintos parámetros (p.6).

4.2.16 Motor de corriente continua

Según León (2012) Los motores de corriente directa son maquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Impulsan dispositivos tales como ventiladores, bombas, prensas punzadoras y carros. Estos dispositivos pueden tener características de par o momento de torsión-velocidad muy definida

(como una bomba o un ventilador) o una extremadamente variable (como un automóvil). A diferencia de los motores paso a paso y los servomecanismos, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite (p.34).

4.2.17 Puente H

De acuerdo con WIKI POWER (2015) El puente H (H-Bridge) es un circuito en puente que permite cambiar rápidamente la polaridad del voltaje en una carga. Este tipo de circuito se utiliza comúnmente para controlar motores de corriente continua con escobillas, permitiendo que giren en sentido horario o antihorario. Debido a que su estructura se asemeja a la letra "H", se le llama circuito del puente H. Un puente H consta de cuatro interruptores, donde S1 y S3 forman los interruptores de alta tensión (High-Side Switch) del puente H, generalmente son transistores MOSFET de tipo P o transistores bipolares PNP, y S2 y S4 forman los interruptores de baja tensión (Low-Side Switch) del puente H, generalmente son transistores MOSFET de tipo N o transistores bipolares NPN.

4.2.18 Electroválvulas

Según Arévalo (2011) Las electroválvulas son un tipo de válvulas que actúan al cerrarse el circuito eléctrico y las cuales funcionan normalmente con 12 o 24 voltios. Se utilizan para la automatización de instalaciones como riego por goteo, sistemas de aspersión y micro aspersión, ya sea domiciliarios, parques, hoteles o en la agricultura en general (p.24).

4.2.19 Bomba de succión

Para Ramos y Pardo (2017) Las bombas de succión son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y

embalses. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento son una ventaja adicional (p.11).

4.2.20 Final de carrera

Según Morales (2020) El final de carrera o limited switch manda señales binarias. Se compone de un cabezal, un cuerpo de interruptor, un bloqueo de contacto y una base (p.18).

4.2.21 Protoboard

De acuerdo Anchundia (2021) el protoboard es una tableta con agujeros, en la que se implantan dispositivos electrónicos y cables jumper para el montaje de circuitos. Tal como menciona su nombre, esta tabla sirve para ensayar con circuitos electrónicos, con lo que se certifica el buen trabajo del mismo (p.20).

4.2.22 Circuito en paralelo

Para Norato (2017) son circuitos en los que sus dispositivos deben estar conectados a una sola toma de carga, todas las terminales de entrada de los elementos coinciden entre sí. Por consiguiente, los receptores de la carga de un circuito se conectan de manera que se tengan trayectorias diferentes de corriente se dice que los elementos están conectados en paralelo (p.11).

4.2.23 Relevador solenoide

Según Alonso y Molina (2014) los relevadores son el tipo más sencillo de protección. Como lo indica su nombre, se trata de un dispositivo diseñado para operar cuando se presenta un excesivo valor de corriente en el equipo o circuito protegido. El relevador de sobre corriente instantáneo opera de manera inmediata cuando la corriente excede el valor de ajuste. Dependiendo del modelo y marca, su tiempo de operación puede variar entre 0.016 segundos y 0.4 segundos. De acuerdo con las normas ANSI, su número de función es el 50 (p.29).

4.2.24 Fuente conmutada

De acuerdo con Peñafiel y Ramón (2013) las fuentes de alimentación se han convertido en un eslabón necesario entre la red de distribución y la carga para la mayoría de equipos electrónicos usados en la actualidad ya sea a nivel doméstico o industrial. El desarrollo de una gran variedad de equipos que requieren fuentes conmutadas es cada vez mayor, el incremento en el uso de celulares, computadoras, routers, computadoras personales, etc.; hacen que exista un constante mejoramiento de este tipo de fuentes haciéndolas cada vez más eficientes y que las perturbaciones que ocasionen en la red sean mínimas (p.8).

4.2.25 Cultivo de fresa

Para Gutiérrez (2015) la fresa cultivada comercialmente debe su origen a dos especies, *F. chiloensis* y *F. virginiana*, nativas del Nuevo Mundo. *F. chiloensis* es nativa de la costa oeste de Norte y Sudamérica, mientras que *F. virginiana* es nativa de la costa este de Norteamérica. Estas fueron llevadas a Europa donde accidentalmente formaron híbridos a mediados del siglo XVIII. La fresa regresó a América del Norte como híbrido domesticado y, con mejoramiento genético adicional, se produjeron variedades con el fruto moderno de gran tamaño y sabor excelente, que ahora se cultivan en todo el mundo. Las fresas comprenden varias especies de plantas rastreras del género *Fragaria*, nombre que se relaciona con la fragancia que posee (fraga, en latín), cultivadas por su fruto comestible (p.6).

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Materiales y métodos

El Instituto Tecnológico Superior de Guasave cuenta con una casa sombra en sus instalaciones, con un área de 9x9 m² y en la cual se han trabajado varios tipos de cultivos, de los cuales actualmente se tiene el cultivo de fresa.

La casa sombra cuenta sobre los rieles donde está la fresa una malla sombra, esta malla sombra está dividida en dos secciones y cada sección cubre una mitad del cultivo la cual cierra y abre manualmente con una cuerda, esto para cada sección.

También cuenta con una bomba de agua que trabaja con 110 Volts de corriente alterna, la cual está conectada a tres depósitos de fertilizantes y agua, los cuales dan paso a los líquidos por medio de válvulas de globo, una vez se encendía la bomba, esta dirige los fertilizantes al sistema de riego de la casa sombra.

Una vez analizadas las dimensiones de la casa sombra, se ideó la manera de controlar las variables internas de temperatura y humedad. La temperatura se controló con el cierre y la apertura de la malla sombra utilizando un sensor de temperatura y la variable de humedad por medio de sensores de humedad que controlarían el encendido de la bomba de succión. La lógica del sistema se programó con el IDE de Arduino compatible con el microcontrolador ESP32. Una vez teniendo el código de programación listo, se elaboró el diagrama eléctrico en Proteus de todo lo que se necesitó para la instalación.

Los materiales y herramientas que se necesitaron son:

- 1 microcontrolador ESP32
- 3 sensores de humedad Fc-28 Higrómetro
- 3 electroválvulas de 12 Volts
- 4 transistores B6547
- 4 relevadores de 5 Volts
- 1 fuente conmutada de 12 Volts a 20 Amperios
- 1 cargador con salida de 12 Volts

- 1 cargador con salida de 5 Volts
- 4 resistencias de 1000 ohm
- 1 sensor de temperatura LM35
- 2 finales de carrera Me-8108
- 1 Puente H BTS7960 43 AMPS
- 2 motores de corriente continua de 12 Volts y 6 Amperios
- 30 metros de cable calibre 14
- 50 metros de alambre estañado calibre 22
- 3 protoboard
- 1 multicontacto
- 1 rollo de cable de acero 1/16'', 7x7 hilos, 75 m.
- 2 nudos galvanizados ranurados 1/4''.
- 2 trozos de madera de 10 cm X 20 cm X1'.
- 6 pijas para madera número 8 de 1' 1/2''.
- 4 pijas punta broca de 2'.
- 6 reductores roscado de 1' a 1/2'' de PVC.
- 1 pegamento para PVC.
- 1 taladro con punta estrella, punta dado 3/8'' y broca de 1/4''.
- 1 dado 5/16''.

Una vez con todos los materiales y herramientas se implementó el sistema. Se comenzó con el proceso instalando dos motores de corriente continua, a 40 cm debajo de la malla, se colocaron en una base de madera y dichas bases se fijaron al PTR de la casa sombra con dos pijas punta broca. Una vez colocadas las bases de madera en ambos extremos de la casa sombra se instalaron los motores de corriente continua uno en cada base, y se unieron con pijas para madera del número 8 de 1 1/2'.



Figura 1: Motor de corriente continua.

Para mover la malla sombra, se tensó un cable de acero de 1/16" pasaba por la malla sombra y por las garruchas que ya estaban instaladas y se le daba una vuelta al motor.



Figura 2: Vuelta de cable de acero en el motor.

Después, se unieron ambos extremos, funcionando el cable como banda de transmisión, la unión de los cables se realizó con un nudo galvanizado. Y se hizo de ambos lados de la malla, uno para cada motor.



Figura 3: Nudo galvanizado.

Una vez colocado el cable en la malla y los motores, se conectaron por arriba de la malla ambos motores en paralelo con cable de calibre 14.

Para el control de la variable de temperatura se utilizó un sensor de temperatura LM35, con el cual se tomaron las mediciones de temperatura que se usaran para controlar el sistema.

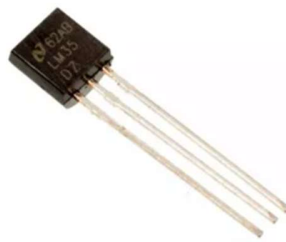


Figura 4: Sensor de temperatura LM35.

Se utilizaron los dos motores de corriente continua en cada extremo de la malla sombra, y el cable de acero se unió de tal modo que cuando el motor gira en una dirección, ambas secciones de la malla sombra se mueven en esa dirección, cerrando la malla y bloqueando el paso de la luz solar.



Figura 5: Malla sombra cerrada.

Cuando los motores giran en el otro sentido la malla sombra se recorre hacia el lado opuesto abriéndola y dejando pasar los rayos del sol. En la programación se sentenció que cuando la temperatura sobre pase un umbral establecido, los motores de corriente continua van a girar en una dirección cerrando de esta manera la malla sombra, y seguirá girando hasta que el microcontrolador reciba una entrada por parte de un final de carrera, y cuando la temperatura baje de dicho umbral el motor deberá de girar hacia el otro sentido, abriendo la malla sombra.

Del mismo modo los motores no se detendrán hasta que se detecte la entrada que enviará un segundo final de carrera. El umbral de temperatura tendrá del mismo modo que la humedad una histéresis de 2, para que el sistema no encienda y apague en un mismo valor.

El sensor de temperatura LM35 se conectó a la alimentación del Esp32 el primer pin al Vcc y el tercero a la GND del microcontrolador, el pin del medio se conectó al pin analógico 34. Para controlar el giro de los motores de corriente directa se utilizó

un puente H BTS7960 43 AMPS, el cual tiene 12 pines, 8 por un lado y 4 borneras para ajustar cables de mayor calibre, por el lado de los 8 pines, en el puente H están señalados los nombres de cada pin, los primeros dos, son el Vcc y la GND, estos dos pines se conectaran a la alimentación del Esp32, los dos pines que le siguen son los pines R_LS y L_LS los cuales no se conectaran a nada, los siguientes dos que le siguen son R_EN y L_EN y ambos se conectaran al Vcc del microcontrolador.

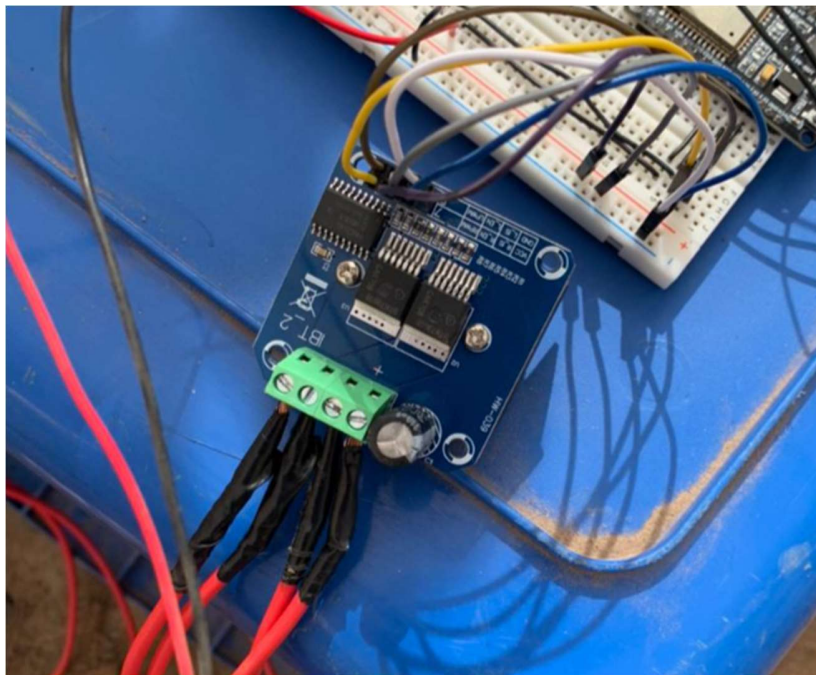


Figura 6: Puente H.

Los dos pines que restan en ese lado, son RPMW y LPMW y esos son los pines que reciben las salidas del Esp32 para ordenar al puente H que gire en un sentido o en otro, el RPWM se conecta al pin digital 13 del microcontrolador y el LPWM al pin 12, cuando el motor gire en un sentido el pin 13 mandará señal y el 12 no, cuando se requiera girar hacia el otro sentido, el pin que mandará señal será el 12 y el 13 se mantendrá desactivado.

Los cuatro pines restantes del puente H son las que tienen borneras ajustables, y las 4 están nombradas en el puente H, M+ se conectó con el positivo de los motores de corriente continua con un cable de calibre 14, el M- se conectó con el mismo tipo

de cable al negativo de los motores y los pines restantes, B- y B+ se conectaron a el positivo y al negativo de una fuente de alimentación conmutada de 12 Volts a 20 Amperes, los motores de corriente continua se conectaron en paralelo, para que ambos giren hacia el mismo sentido y se dividan el consumo de corriente entre los dos.



Figura 7: Fuente conmutada.

Ya para finalizar y para detener los motores, se instalaron dos finales de carrera de tal modo, que la malla al abrirse accione uno y al cerrarse accione el segundo.



Figura 8: Finales de carrera.

El primero se conectó usando la configuración normalmente cerrada, y se conectó un pin, al pin 14 digital del Esp32 y el otro extremo a la tierra del microcontrolador, el segundo final de carrera se conectó de la misma manera solo que en el pin 27 digital del Esp32. De esa manera quedo el control de la temperatura.

Para el control de la variable de humedad, se cortó el tubo de PVC de 1'' de los tubos que van de los depósitos hacia la bomba de succión que se encuentra en la casa sombra. Se colocaron con unos reductores de roscado de 1'' a ½'' y se acoplaron las electroválvulas de ½'' una para cada deposito.

Se colocaron los sensores de humedad donde se podrían obtener las mejores mediciones, en total fueron tres sensores de humedad, uno en cada extremo de los rieles y uno en el medio, se conectaron con alambre estañado calibre 22 la Vcc, la GND y el COM hasta el Esp32, y se repitió el procedimiento para los otros dos, el Vcc se conectó en el voltaje del Esp32 de 3.3 Volts y la GND a su respectiva tierra del microcontrolador, para los otros sensores se repitió la operación, y la única diferencia fue el COM, el cual se conectó cada uno en un pin de entrada analógica distinto, el primero al pin 15, el segundo en el pin 2 y el tercero se conectó en el pin 4 del Esp32, en el código de programación se estableció que las tres entradas analógicas se iban a sumar y luego a dividir entre el número de sensores, esto para saliera un promedio de medición, usando mediciones de distintos puntos de la casa sombra.



Figura 9: Sensores de humedad distribuidos.

Dicha medición promedio se mapeo, de 100 a 0, para obtener un porcentaje de humedad.

```
return map((valorSensor1 + valorSensor2 + valorSensor3) / 3, 0, 4092, 100, 1);
```

Figura 10: Línea de código para mapear lecturas.

En el código se estableció que cuando la humedad este por debajo de un umbral establecido se activarán cuatro salidas del Esp32, tres que serán para las tres electroválvulas y la salida restante para encender la bomba del agua. Y cuando la humedad este por arriba del umbral, las salidas se desactivarán. Dichas salidas fueron programadas en secuencia, 10 segundos una después de la otra constantemente hasta que el umbral haya sido sobrepasado, con excepción de la salida de la bomba, la cual siempre esta encendida durante la secuencia.



Figura 11: Electroválvulas.

En el programa también se le agrego una histéresis de 10 para que sistema se mantuviera oscilando y no encendiendo y apagando en un solo valor. Las electroválvulas utilizadas se activan cuando les llega un voltaje de 12 Volts y la bomba un voltaje de 110 Volts de corriente alterna, por ello para activarlas se utilizó un conjunto de relevadores, transistores, resistencias y cargadores con salidas de

5 y 12 volts. Para las electroválvulas, se conectaron las salidas del Esp32 de los pines 5, 18 y 19, dichas salidas son de un voltaje de 3.3 volts lo cual no abastecía ni los relevadores, para ello se usaron transistores B6547, se utilizó el mismo procedimiento para las tres electroválvulas, la salida se conectó a una resistencia de 1000 ohm, de la resistencia a la base del transistor, se conectó el colector a la tierra del Esp32 y el emisor a un pin de la bobina del relevador, para continuar se conectó en una parte del protoboard las salidas de 5 volts de un cargador, y se tomó ese voltaje para conectarlo a la otra pata de la bobina y se puenteo la tierra del cargador de 5 Volts a la tierra del Esp32, de esa manera al llegarle al transistor la salida de 3.3 Volts del microcontrolador se activaba la bobina del relevador. Dicho relevador era conectado a la electroválvula, la cual se activaba con 12 Volts, por ello, en otro protoboard se conectaron las salidas de un cargador de 12 Volts, se conectó del positivo de los 12 Volts a el pin común del relevador, y se conectó del pin normalmente cerrado a un pin de la electroválvula, para finalizar se conectó el otro pin de la electroválvula a la tierra de los 12 Volts.

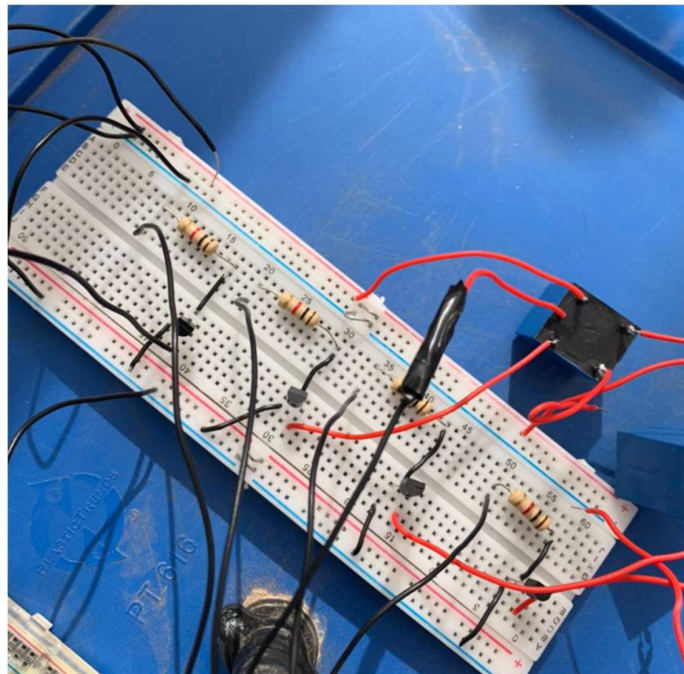


Figura 12: Transistores con relevadores.

Con dichas conexiones se activaron las electroválvulas usando la salida de 3.3 volts del Esp32, el procedimiento se repitió para las tres electroválvulas, y en parte también para la salida de la bomba, lo único que cambio, fue que, en lugar de conectar los 12 volts al relevador, se conectaron 110 volts de la corriente alterna. Para ello se elaboró una extensión usando una clavija, un contacto y cable calibre 14, el motor de la bomba se conectó al contacto, el negativo del contacto se conectó al negativo de la clavija y del positivo del contacto se conectó a el pin común de un relevador, y del pin normalmente cerrador se conectó a la clavija, esto para dar paso a la corriente alterna una vez excitada la bobina. Para terminar, se conectó un pin de la bobina al emisor de un transistor y el otro pin a el positivo de la salida de 5 Volts del cargador. Las salidas del Esp32 a los transistores fueron las salidas de los pines 5, 18 y 19 para las electroválvulas y la salida 22 para la bomba. Los cargadores tanto el de 5 Volts como el de 12, la fuente conmutada de 12 Volts a 20 Amperes y la extensión para la corriente alterna fueron conectadas a un multicontacto de 6 entradas.

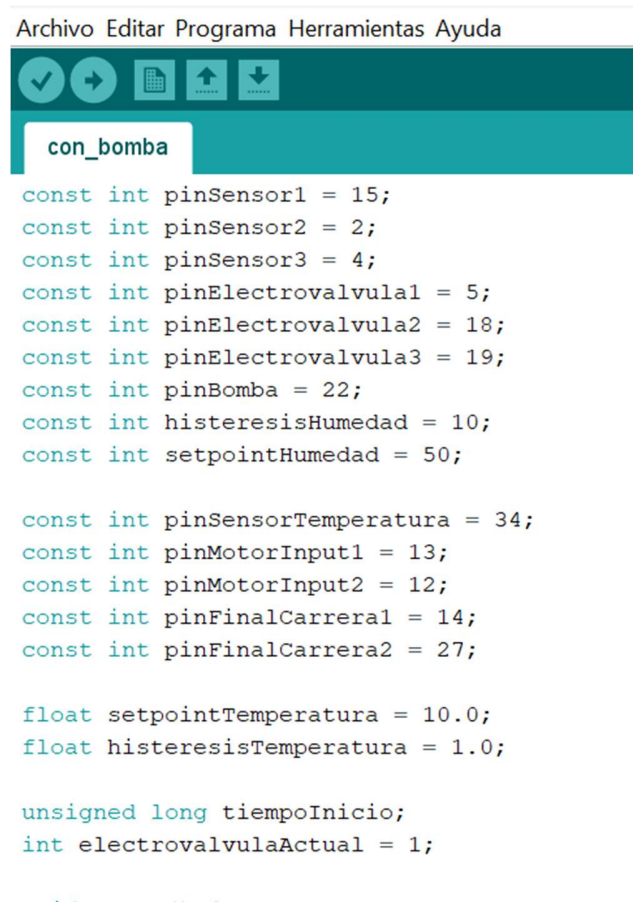
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Diseño de firmware

Para la implementación del firmware se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE, el cual es compatible con el microcontrolador ESP32, utilizando librerías para la compatibilidad. El lenguaje de programación utilizado es el C++. El entorno de desarrollo, compila las líneas de código para comprobar si este escrito correctamente y sube el código al microcontrolador.

El código contiene 174 líneas de programación en las cuales se declaran las variables, se definen los pines y se escribe el comportamiento que tendrá el sistema.

Declaración de variables:



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
con_bomba
const int pinSensor1 = 15;
const int pinSensor2 = 2;
const int pinSensor3 = 4;
const int pinElectrovalvula1 = 5;
const int pinElectrovalvula2 = 18;
const int pinElectrovalvula3 = 19;
const int pinBomba = 22;
const int histeresisHumedad = 10;
const int setpointHumedad = 50;

const int pinSensorTemperatura = 34;
const int pinMotorInput1 = 13;
const int pinMotorInput2 = 12;
const int pinFinalCarrera1 = 14;
const int pinFinalCarrera2 = 27;

float setpointTemperatura = 10.0;
float histeresisTemperatura = 1.0;

unsigned long tiempoInicio;
int electrovalvulaActual = 1;
```

Figura 13: Declaración de variables.

Definición de los pines:



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

con_bomba

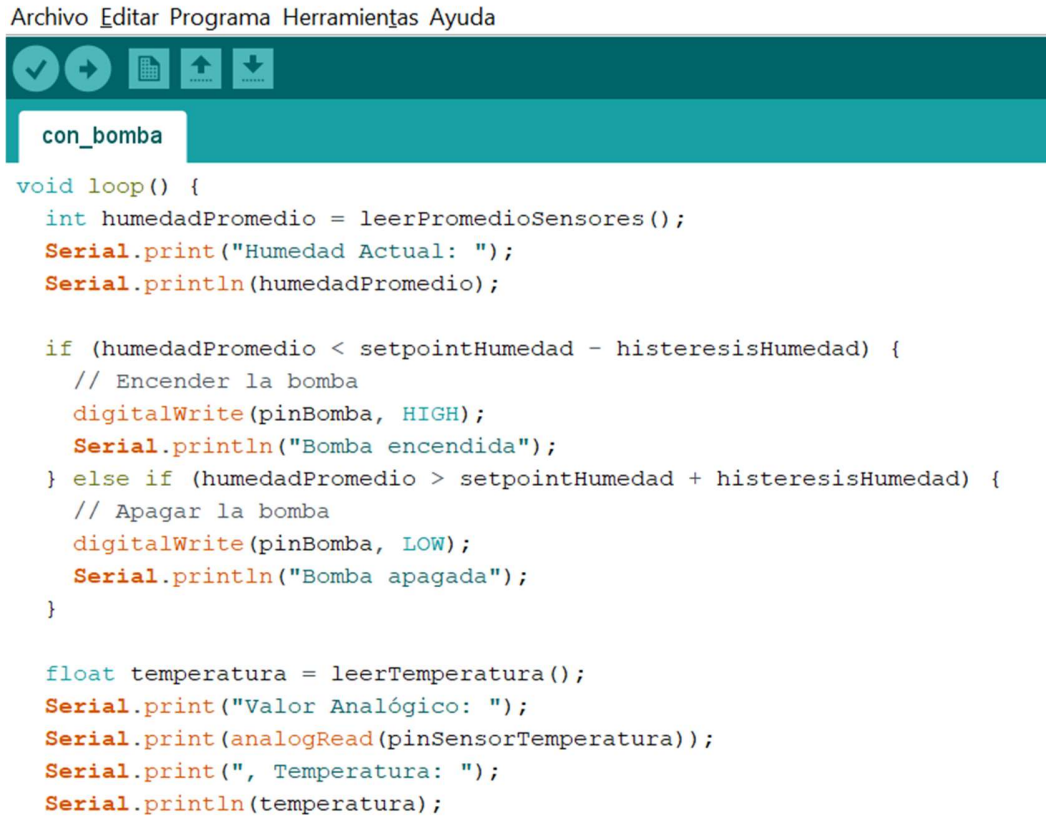
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(pinBomba, OUTPUT);
  pinMode(pinSensor1, INPUT);
  pinMode(pinSensor2, INPUT);
  pinMode(pinSensor3, INPUT);
  pinMode(pinElectrovalvula1, OUTPUT);
  pinMode(pinElectrovalvula2, OUTPUT);
  pinMode(pinElectrovalvula3, OUTPUT);

  pinMode(pinSensorTemperatura, INPUT);
  pinMode(pinMotorInput1, OUTPUT);
  pinMode(pinMotorInput2, OUTPUT);
  pinMode(pinFinalCarrera1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinFinalCarrera2, INPUT_PULLUP);

  // Apagar las electroválvulas y el motor al inicio
  apagarElectrovalvulas();
  detenerMotor(pinMotorInput1);
  detenerMotor(pinMotorInput2);
}
```

Figura 14: Definición de los pines.

Comportamiento del sistema (ver código completo en anexos):



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
con_bomba

void loop() {
  int humedadPromedio = leerPromedioSensores();
  Serial.print("Humedad Actual: ");
  Serial.println(humedadPromedio);

  if (humedadPromedio < setpointHumedad - histeresisHumedad) {
    // Encender la bomba
    digitalWrite(pinBomba, HIGH);
    Serial.println("Bomba encendida");
  } else if (humedadPromedio > setpointHumedad + histeresisHumedad) {
    // Apagar la bomba
    digitalWrite(pinBomba, LOW);
    Serial.println("Bomba apagada");
  }

  float temperatura = leerTemperatura();
  Serial.print("Valor Analógico: ");
  Serial.print(analogRead(pinSensorTemperatura));
  Serial.print(", Temperatura: ");
  Serial.println(temperatura);
}
```

Figura 15: Comportamiento del sistema.

6.2 Análisis de los resultados del control de temperatura

Para el control de temperatura se acopló el cable de acero a los motores de corriente continua y a la malla sombra, al energizar los motores la malla se movió según el sentido de giro del motor. Los motores movieron la malla con facilidad, y el motor solo se barrió un poco cuando va a la mitad del recorrido, pero continua con su camino hacia el final de carrera.

Al momento de elaborar las conexiones no se presentó ningún inconveniente, por lo que el mecanismo de la malla con los motores funcionó de manera correcta.

El control de temperatura se conectó de la siguiente manera en el sistema:

Y las conexiones físicas de la siguiente manera:

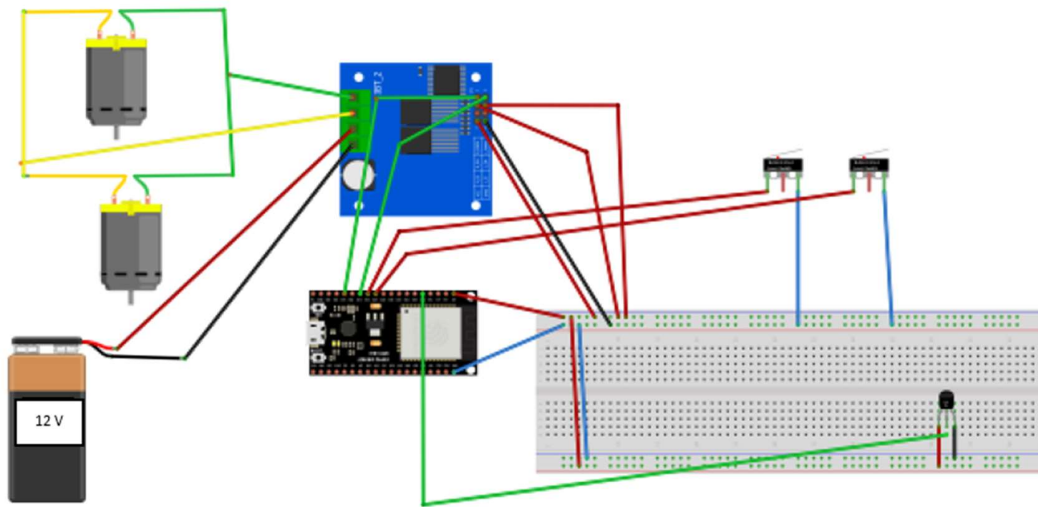


Figura 17: Conexiones físicas del control de temperatura.

El funcionamiento del sistema funcionó como se esperaba y se probó el funcionamiento del control de la variable mostrando la lectura del sensor de temperatura LM35 en el monitor serie. En la cual se muestra cuando el final de carrera se activa y la temperatura que se tiene en el momento.

Valor Analógico: 448, Temperatura: 22.40
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 448, Temperatura: 22.40
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 448, Temperatura: 22.40
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 444, Temperatura: 22.40
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 448, Temperatura: 22.25
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 448, Temperatura: 22.40
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 441, Temperatura: 22.40
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 440, Temperatura: 22.10
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 441, Temperatura: 22.05
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 438, Temperatura: 21.90
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 436, Temperatura: 21.70
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 436, Temperatura: 21.80
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 442, Temperatura: 21.70
Final de Carrera 1 Activado
Humedad Actual: 56
Valor Analógico: 436, Temperatura: 21.80
Final de Carrera 1 Activado

Figura 18: Monitor serie, final de carrera 1 activado.

Así como también cuando el segundo final de carrera es activado.

Valor Analógico: 412, Temperatura: 20.80
Final de Carrera 2 Activado
Humedad Actual: 55
Valor Analógico: 416, Temperatura: 20.70
Final de Carrera 2 Activado
Humedad Actual: 55
Valor Analógico: 416, Temperatura: 20.70
Final de Carrera 2 Activado
Humedad Actual: 55
Valor Analógico: 416, Temperatura: 20.80
Final de Carrera 2 Activado
Humedad Actual: 55
Valor Analógico: 416, Temperatura: 20.80
Final de Carrera 2 Activado

Figura 19: Monitor serie, segundo final de carrera activado.

6.3 Análisis de los resultados del control de humedad

Para el control de la variable de humedad no se presentó ningún problema, solo se unieron las reducciones al sistema de riego que ya estaba en la casa sombra, de 1' a ½ '' para poder acoplar las electroválvulas, una vez energizadas con 12 Volts, las válvulas se abrían y daban paso al fertilizante que está conectado a la electroválvula abierta.

Para las conexiones, del mismo modo, no hubo percance alguno, las conexiones que se hicieron son las siguientes:

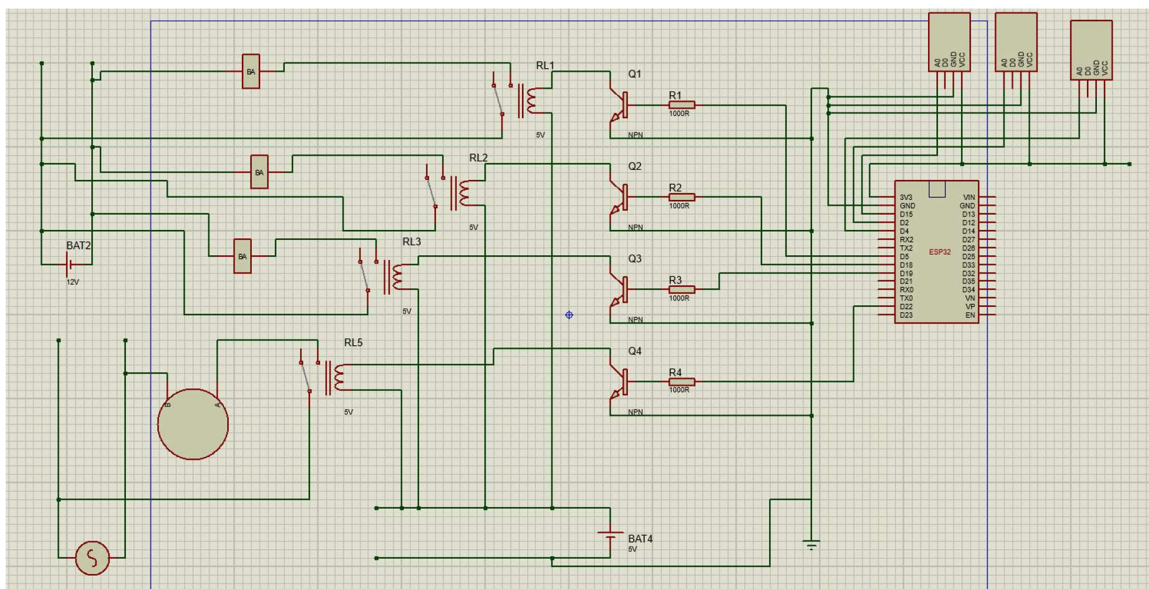


Figura 20: Diagrama eléctrico del control de humedad.

Y para apreciar mejor los componentes, se muestran las conexiones físicas:

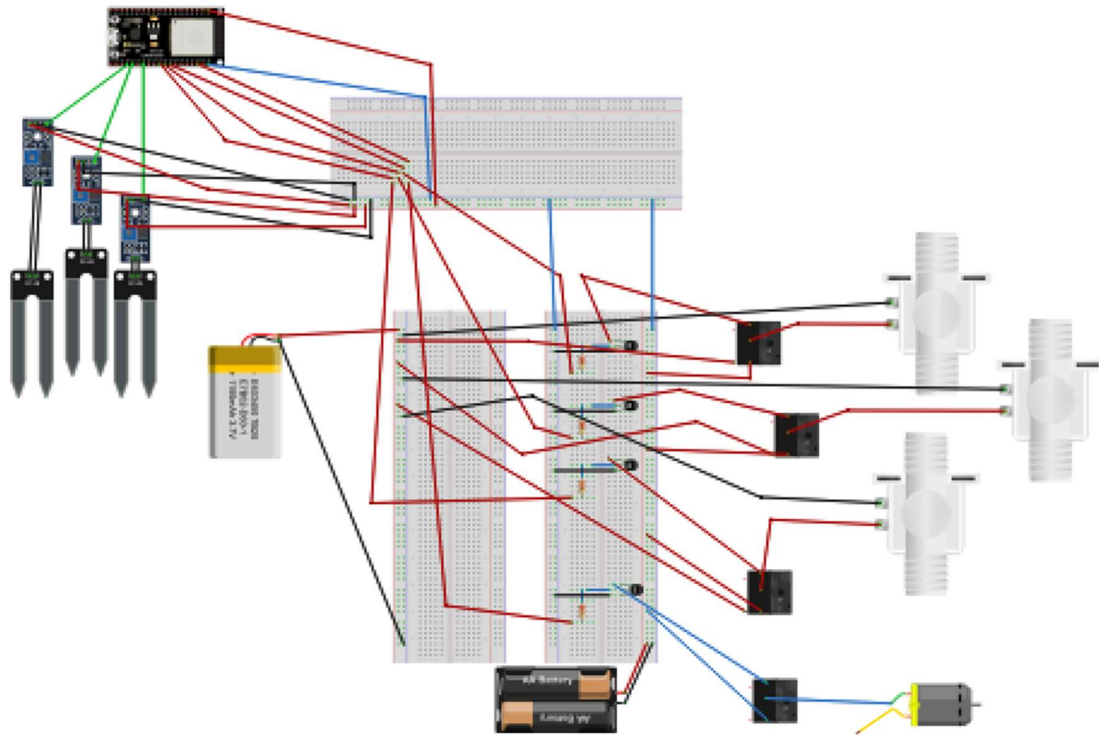


Figura 21: Conexiones físicas del control de humedad.

El funcionamiento del control de humedad se activó como se esperaba, 10 segundos cada electroválvula y la bomba junto con la secuencia. Se comprobó el funcionamiento y las lecturas de los sensores con el monitor serie:

```
Bomba encendida  
Valor Analógico: 480, Temperatura: 23.80  
Electroválvula 3 Apagada  
Electroválvula 1 Encendida  
Humedad Actual: 20  
Bomba encendida  
Valor Analógico: 534, Temperatura: 26.60  
Humedad Actual: 20  
Bomba encendida  
Valor Analógico: 530, Temperatura: 26.60
```

Figura 22: Electroválvula 1 encendida.

Se comprobó, el funcionamiento de la secuencia de las electroválvulas una cada 10 segundos con la bomba encendida durante todo el lapso.

```

Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 530, Temperatura: 26.60
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 528, Temperatura: 26.40
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 528, Temperatura: 26.40
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 528, Temperatura: 26.20
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 522, Temperatura: 26.25
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 520, Temperatura: 26.10
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 524, Temperatura: 26.05
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 516, Temperatura: 26.00
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 522, Temperatura: 25.90
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 524, Temperatura: 25.85
Electroválvula 1 Apagada
Electroválvula 2 Encendida
Humedad Actual: 20
Bomba encendida
Valor Analógico: 497, Temperatura: 24.45

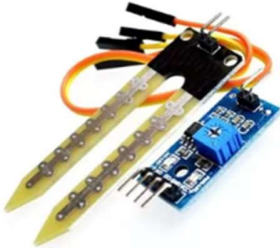
```

Figura 23: Electroválvula 2 encendida.

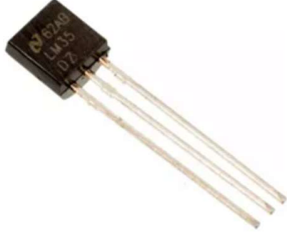
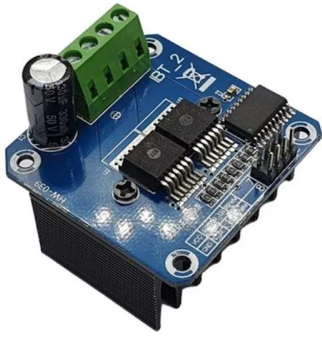
6.4 Costos

Se utilizó un presupuesto total de \$4407.00 pesos para la elaboración del sistema de control, los lugares donde se compraron los productos fueron en línea como en tiendas físicas: Mercado libre, tiendas de electrónica y ferreterías. A continuación se presentan los precios de cada material y la cantidad que se utilizó para la elaboración del sistema (las herramientas no están en la tabla porque estas fueron prestadas por la institución educativa en la que se implementó el sistema de control).

Tabla 1:Costos.

Material	Cantidad	Precio	Costo total
ESP32 	1	\$147.00 pesos	\$147.00 pesos
Sensor de humedad Fc-28 Higrómetro 	3	\$55.00 pesos	\$165.00 pesos
Electroválvula de 12 Volts 	3	\$160.00 pesos	\$480.00 pesos
Transistor B6547 	4	\$7.00 pesos	\$28.00 pesos

Relevador de 5 Volts 	4	\$40.00 pesos	\$160.00 pesos
Fuente conmutada de 12 Volts a 20 Amperios 	1	\$293.00 pesos	\$293.00 pesos
Cargador con salida de 12 Volts 	1	\$107.00 pesos	\$107.00 pesos
Cargador con salida de 5 Volts 	1	\$99.00 pesos	\$99.00 pesos
Resistencia de 1000 ohm	4	\$3.00 pesos	\$12.00 pesos

			
Sensor de temperatura LM35 	1	\$50.00 pesos	\$50.00 pesos
Final de carrera Me-8108 	2	\$70.00 pesos	\$140.00 pesos
Puente H BTS7960 43 AMPS 	1	\$200.00 pesos	\$200.00 pesos
Motor de corriente continua de 12 Volts y 10 Amperios	2	\$500.00 pesos	\$1000.00 pesos

			
Cable calibre 14 	30 metros	\$10.00 pesos x metro	\$300.00 pesos
Alambre estañado calibre 22 	50 metros	\$4.00 pesos x metro	\$200.00 pesos
Protoboard 	3	\$70.00 pesos	\$210.00 pesos
Multicontacto	1	\$70.00 pesos	\$70.00 pesos

			
Nudo galvanizado ranurados 1/4" 	2	\$6.00 pesos	\$12.00 pesos
Rollo de cable de acero 1/16", 7x7 hilos, 75 metros 	1	\$450.00 pesos	\$450.00 pesos
Pija para madera número 8 de 1 1/2" 	6	\$3.00 pesos	\$18.00 pesos
Pija punta broca de 2"	6	\$5.00 pesos	\$30.00 pesos

			
Pegamento para PVC 	1	\$86.00 pesos	\$86.00 pesos
Reductor roscado de 1" a ½" de PVC 	6	\$25.00 pesos	\$150.00 pesos
	Total		\$4047.00 pesos

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones

Para realizar este proyecto de tesis se visitó el lugar y se estudiaron las necesidades que se tenían para la automatización de la casa sombra, de este modo se identificó lo que el proyecto iba a requerir para su funcionamiento. Con el fin de seleccionar los sensores, motores y herramientas, se definieron las especificaciones necesarias para el sistema, así como también se dimensionaron los dispositivos que se requerían para elaborar el diseño.

Se desarrolló el programa en el microcontrolador ESP32 con el entorno de desarrollo IDE de Arduino gracias a la instalación de una librería de compatibilidad que existe para que el entorno de desarrollo de Arduino funcione en el ESP32. Con todo lo anterior se elaboró el diseño del sistema de control tomando en cuenta cada componente seleccionado y la programación realizada previamente. Una vez con el diseño finalmente se implementó el sistema de control de variables internas en la casa sombra tomando en cuenta las dimensiones del lugar de instalación y revisando que cada componente cumpliera con su función, finalizando con el correcto funcionamiento del sistema.

7.2 Recomendaciones

1. Se recomienda proteger el cableado con algún tipo de tubo corrugado o manguera.
2. Se recomienda darle mantenimiento a las poleas que tiene la malla sombra para que no se atore al avanzar.
3. Se recomienda al sistema de control una pantalla y un teclado para cambiar directamente los umbrales de temperatura, humedad y sus respectivas histéresis.

7.3 Experiencia profesional adquirida

En esta tesis se aplicaron conocimientos de electricidad al manejar corriente alterna con un relevador, conocimientos de electrónica al utilizar el microcontrolador y de automatización al terminar el sistema, así como de diseño y selección de componentes con un presupuesto limitado, al redactar el documento se aplicaron también los conocimientos de investigación que se adquirieron a lo largo de la carrera. Se manejaron herramientas como el taladro y se instalaron tuberías para colocar las electroválvulas. A lo largo de la implementación se presentaron dificultades que se tuvieron que afrontar y resolver, lo que fue una buena experiencia que me enseñó lo que es trabajar en un ambiente laboral real y lo cual solo me capacita para afrontar dificultades futuras en el mundo laboral.

VIII. REFERENCIAS.

8.1 Referencias

Inca Sánchez, S. A. (2013) AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA NFT PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS[Tesis para optar por el grado de ingeniero Electrónico]

https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/405/Inca_sa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anaya Solano, D. A. y Ojeda Field, L. F. (2020) Elaboración del prototipo de un sistema de control de variables atmosféricas automatizado para el cultivo de plantas bajo invernadero en ambiente indoor en la Región Caribe[Tesis para optar por el grado de ingeniero Eléctrico]

<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/6072/Elaboraci%C3%B3n%20del%20prototipo%20de%20un%20sistema%20de%20control%20de%20variables%20atmosf%C3%A9ricas%20automatizado%20para%20el%20cultivo%20de%20plantas%20bajo%20invernadero%20en%20ambiente%20indoor%20en%20la%20Regi%C3%B3n%20Caribe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López Hernández, N. A. (2020) Automatización del riego en arándano a partir de las propiedades del sustrato[Tesis para optar por el grado de Doctora en ciencias, COLEGIO DE POSTGRADUADOS]

http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4339/Lopez_Hernandez_NA_DC_Edafologia_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Abalco Haro, C. P. y Vásconez Simbaña, P. D. (2018) Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas Orgánicas y tomate riñón[Tesis para optar por el grado de ingeniero en electrónica, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS]

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14424/T-ESPE-057734.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Rubio Mena, C. (2017) Automatización de un cultivo hidropónico NFT para el control de temperatura, riego y mezcla de la solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito [Tesis de grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SELESIANA DE QUITO]

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14533/1/UPS%20-%20ST003193.pdf>

Varela Aldás, J. L. (2014) Sistema de Control Automático para el Posicionamiento de una Silla de Ruedas Eléctricas [Tesis para obtener el grado de Ingeniero, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]

https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7342/1/Tesis_t881id.pdf

Caiza Lema, L. F. (2015) SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO ABIERTO Y CERRADO DE VOLTAJE PARA DETERMINAR EL ERROR EN ESTADO ESTABLE A DIFERENTES PULSOS DE ENTRADA EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA FICM [Proyecto de grado, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/13426/1/Tesis%20I.M.%20294%20-%20Caiza%20Lema%20Luis%20Fabi%20c3%a1n.pdf>

Chanoluisa Martínez, X. S. y Torres Capuz J. L. (2015) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN UNA PLANTA DE LLENADO DE TANQUES A ESCALA USANDO UN TRANSMISOR DE NIVEL Y ALGORITMO PID PARA PRUEBA EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL [Tesis para optar por el grado de ingeniero, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SELESIANA SEDE GUAYAQUIL]

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10414/1/UPS-GT001470.pdf>

Colman Godoy, A. S. (2020) PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO PARA BANCO DIDÁCTICO DE HIDRÁULICA TRANSPARENTE[Trabajo de titulación para optar al Título de Ingeniero, UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR]
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/49401/3560901068876UTFSM.pdf?seq>

Huaranga Camargo, R. (2020) Diseño de un sistema de control para el monitoreo de la temperatura de un motor de bomba de agua de 0.75 kW[Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica]
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7328/3/IV_FIN_109_TE_Huaranga_Camargo_2020.pdf

Alejo Adame, D. y Cruz García, C. I. (2019) Implementación de un lazo de control de flujo[Tesis para optar por el título de ingenieros, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL]
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/30736/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Peña Devia, F. E. y Poveda Ramírez, O. J. (2015) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL E INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN PLANTA DIDÁCTICA DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE LA FACULTAD TECNOLÓGICA[Tesis para obtener el grado de ingeniero, Universidad Distrital “Francisco José De Caldas”]
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7357/PovedaRamirezOscarJavier2015.pdf;jsessionid=3517D60B580F96AEF9DC751AD1F61FBB?sequence=1>

EI

controlador

ON-OFF.(2018)

https://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2019/iii/guia-8.pdf

Cortes Cadavid, V y Vargas García, M. F. (2020) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES MEDIANTE IOT EN LOS CULTIVOS URBANOS DE LA FUNDACIÓN MUJERES EMPRESARIAS MARIE POUSSEPIN[Trabajo de grado para obtener grado de ingeniero, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA]

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dbe9100-e30b-4c32-a627-a0492baa7f56/content>

Alulema Taipe, N. V. (2021) Implementación de un sistema automatizado de riego por goteo controlado mediante Arduino UNO y un sensor higrómetro de humedad de suelo para un invernadero de producción de tomate riñón[Monografía de grado, UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS]

<https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/26219/M-ESPEL-ENT-0401.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hidalgo Ajata, R. C. (2020) DISEÑO DE UN CIRCUITO DE MEDICIÓN DE AGUA DEL SUELO BASADO EN ARDUINO PARA RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO[Tesis de grado, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE AGRONOMÍA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA]

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/25322/T-2791.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alvear peña, P. J. (2009) CONTROL INTELIGENTE DE TEMPERATURA DE UN DEPARTAMENTO PROTOTIPO POR VENTILACIÓN NATURAL[Proyecto de grado, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1238/1/CD-2644.pdf>

- Pichucho Bombón, J. A. (2007) MÓDULO PARA VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS PROGRAMAS GRABADOS EN EL PIC 16F84A[Proyecto de grado, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL] <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1307/1/CD-0616.pdf>
- Palma Pozo, L. F. y Sangopanta Ardila, S. E. (2011) Diseño de un PLC con Microcontrolador PIC 16F873[Tesis de grado, Universidad de Pinar del Río] <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1049/1/T-UTC-1272.pdf>
- Morales Solís, J. F. y Turcios Betanco, J. C. (2021) Propuesta de Sistema de control utilizando microcontrolador ESP-32 para Aires acondicionados en SINSA CEDI, como medida de ahorro energético en el 1er semestre del año 2021[seminario de graduación, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, MANAGUA] <https://repositorio.unan.edu.ni/17011/1/17011.pdf>
- Álvarez Saltos, H. X. y Loor Torres, A. P. (2022) Desarrollo de un banco de pruebas utilizando el chip ESP-32 y el asistente virtual Alexa para el laboratorio de domótica[Trabajo de grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SELESIA SEDE GUAYAQUIL] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24026/1/UPS-GT004158.pdf>
- Mantilla Paredes, P. D. C. (2008) MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y HUMEDAD DEL SUELO EN UN INVERNADERO DE TOMATE RIÑÓN UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA[Proyecto de grado para obtener el grado de ingeniero, ESCUELA POLITECNICA NACIONAL] <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/700/1/CD-1648%282008-08-05-09-47-33%29.pdf>
- Chambi Palomino, J. L. (2013) AUTOMATIZACIÓN DE UNA CASA MALLA PARA EL CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LA ESTRATIFICACIÓN DE SEMILLAS

Y ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE HORTÍCOLAS[Tesis para optar por el grado de ingeniero, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN]
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/500816d8-2974-41d5-9646-e32d694a6607/content>

López Espinoza, S. T. (2010) ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE MALLA SOMBRA DE COLOR SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE Y OTROS CULTIVOS HORTÍCOLAS[Requisito para obtener el grado de especialidad, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA]
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/423/1/Sayani%20Teresa%20Lopez%20Espinosa.pdf>

Ortega Álvarez, E. D. (2017) SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS EN INVERNADEROS AUTOMATIZADOS[Tesis para obtener el grado de ingeniero, INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL]
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/24334/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20DE%20TEMPERATURA%20Y%20HUMEDAD%20PARA%20LA%20PRODUCCI%C3%93N%20DE%20CULTIVOS%20HIDROP%C3%93NICOS%20EN%20INVERN%20protegido.pdf>

Garcés Villacís, J. S. y Torres Castro, H. O. (2002) CONTROL Y MONITOREO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN UN AMBIENTE DE INVERNADERO[Proyecto de grado para obtener el grado de ingeniero, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9229/3/T1967.pdf>

León Mercado, C. A. (2012) CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA POR MEDIO DE ZIGBEE[Tesis de grado para optar por el título de ingeniero Mecatrónico]

<http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/945/1/leonmercado-carlos-alberto.pdf>

WIKIPOWER (2015) Fundamentos del puente H. <https://wiki-power.com/es/%E7%9B%B4%E6%B5%81%E6%9C%89%E5%88%B7%E7%94%B5%E6%9C%BA%E9%A9%B1%E5%8A%A8%E7%9A%84%E8%AE%BE%E8%AE%A1/>

Arévalo Gavilanes, M. D. (2011) DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA MEJORAR EL SISTEMA DE RIEGO EN LA HACIENDA “GAVILANES”, UBICADA EN EL CANTÓN QUERO[Tesis de grado, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADO SEDE AMBATO]
<https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/203/1/75330.pdf>

Ramos Santillán, J. L. y Pardo Ullaguari, D. F. (2017) DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO, CAPTANDO EL AGUA DEL RÍO KATUN YACU PARA EL ESTADIO DE LA COMUNIDAD DE AGATO CANTÓN OTAVALO[Proyecto de grado para obtener el título de ingeniero Mecánico, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14752/4/UPS-KT01434.pdf>

Morales Cortés, S. F. (2020) ASISTENTE ERGONÓMICO PARA COLOCACIÓN DEL COMPLET TUBE[Tesis para optar por el grado de ingeniero electrónico, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. GUZMÁN]
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/6003/1/14290401%20Electr%C3%B3nica.pdf>

Anchundia Padilla, D. E. (2021) PLACA DE PRUEBA COMO RECURSO DIDÁCTICO EN LAS PRÁCTICAS DE CIRCUITO DIGITALES DE LA CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ[Proyecto para optar por el

grado de ingeniero en sistemas computacionales, UNIVERSIDAD ESTATAL
DEL SUR DE MANABÍ]
[https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3122/1/TESIS%20-
%20ANCHUNDIA%20PADILLA%20DOLORES%20ELIZABETH.pdf](https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3122/1/TESIS%20-%20ANCHUNDIA%20PADILLA%20DOLORES%20ELIZABETH.pdf)

Norato Montenegro, L. E. (2017) ELABORACIÓN DE CIRCUITOS PARA LA
COMPRENSIÓN DE LA LEY DE OHM[Tesis de grado, UNIVERSIDAD
RAFAEL LANDÍVAR]
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2018/05/86/Norato-Luis.pdf>

Alonso Silverio, M. A. y Molina Avila, I. (2014) SIMULADOR DE UN INTERRUPTOR
DE POTENCIA MEDIANTE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
(PLC)[Tesis para optar por el grado de ingeniero Eléctrico-Electrónico]
[http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/RepoFi/18448/1/Tesis.p
df](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/RepoFi/18448/1/Tesis.pdf)

Peñafiel Cáceres, D. P. y Ramón Flores, P. F. (2013) Diseño y montaje de fuente
conmutada para alimentación de convertidor multinivel[Tesis para optar por
el grado de ingeniero Electrónico, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SELESIANA] [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4287/1/UPS-
CT002620.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4287/1/UPS-CT002620.pdf)

Gutiérrez Roque, H. R. (2015) SISTEMA INTENSIVO DE PRODUCCIÓN DE
FRESA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO[Tesis para optar por el
grado de maestro en ciencias, Colegio de postgraduados]
[http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4052/Gutier
rez_Roque_HR_MC_Genetica_2015.pdf;jsessionid=CF27BFBAC88AD002
B2D2DDDE3D78D1D9?sequence=1](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/4052/Gutierrez_Roque_HR_MC_Genetica_2015.pdf;jsessionid=CF27BFBAC88AD002B2D2DDDE3D78D1D9?sequence=1)

IX. ANEXOS.

9.1 Anexos

Código del sistema completo:

```
const int pinSensor1 = 15;
const int pinSensor2 = 2;
const int pinSensor3 = 4;
const int pinElectrovalvula1 = 5;
const int pinElectrovalvula2 = 18;
const int pinElectrovalvula3 = 19;
const int pinBomba = 22;
const int histeresisHumedad = 10;
const int setpointHumedad = 50;

const int pinSensorTemperatura = 34;
const int pinMotorInput1 = 13;
const int pinMotorInput2 = 12;
const int pinFinalCarrera1 = 14;
const int pinFinalCarrera2 = 27;

float setpointTemperatura = 30.0;
float histeresisTemperatura = 1.0;

unsigned long tiempoInicio;
int electrovalvulaActual = 1;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(pinBomba, OUTPUT);
  pinMode(pinSensor1, INPUT);
  pinMode(pinSensor2, INPUT);
```

```

pinMode(pinSensor3, INPUT);
pinMode(pinElectrovalvula1, OUTPUT);
pinMode(pinElectrovalvula2, OUTPUT);
pinMode(pinElectrovalvula3, OUTPUT);

pinMode(pinSensorTemperatura, INPUT);
pinMode(pinMotorInput1, OUTPUT);
pinMode(pinMotorInput2, OUTPUT);
pinMode(pinFinalCarrera1, INPUT_PULLUP);
pinMode(pinFinalCarrera2, INPUT_PULLUP);

// Apagar las electroválvulas y el motor al inicio
apagarElectrovalvulas();
detenerMotor(pinMotorInput1);
detenerMotor(pinMotorInput2);
}

void loop() {
    int humedadPromedio = leerPromedioSensores();
    Serial.print("Humedad Actual: ");
    Serial.println(humedadPromedio);

    if (humedadPromedio < setpointHumedad - histeresisHumedad) {
        // Encender la bomba
        digitalWrite(pinBomba, HIGH);
        Serial.println("Bomba encendida");
    } else if (humedadPromedio > setpointHumedad + histeresisHumedad) {
        // Apagar la bomba
        digitalWrite(pinBomba, LOW);
        Serial.println("Bomba apagada");
    }
}

```

```

float temperatura = leerTemperatura();
Serial.print("Valor Analógico: ");
Serial.print(analogRead(pinSensorTemperatura));
Serial.print(", Temperatura: ");
Serial.println(temperatura);

if (humedadPromedio < setpointHumedad - histeresisHumedad) {
    activarSecuencia();
} else {
    detenerSecuencia(humedadPromedio);
}

if (temperatura < setpointTemperatura - histeresisTemperatura) {
    encenderMotor(pinMotorInput1, pinMotorInput2);
    if (digitalRead(pinFinalCarrera1) == LOW) {
        detenerMotor(pinMotorInput1);
        Serial.println("Final de Carrera 1 Activado");
    }
} else if (temperatura > setpointTemperatura + histeresisTemperatura) {
    encenderMotor(pinMotorInput2, pinMotorInput1);
    if (digitalRead(pinFinalCarrera2) == LOW) {
        detenerMotor(pinMotorInput2);
        Serial.println("Final de Carrera 2 Activado");
    }
} else {
    // Si la temperatura está dentro de los márgenes, mantener el motor activo.
}

delay(1000);
}

```

```

int leerPromedioSensores() {
    int valorSensor1 = analogRead(pinSensor1);
    int valorSensor2 = analogRead(pinSensor2);
    int valorSensor3 = analogRead(pinSensor3);

    return map((valorSensor1 + valorSensor2 + valorSensor3) / 3, 0, 4092, 100, 1);
}

```

```

float leerTemperatura() {
    int valorAnalogo = analogRead(pinSensorTemperatura);
    float temperatura = (valorAnalogo * 0.05);
    return temperatura;
}

```

```

void activarSecuencia() {
    unsigned long tiempoTranscurrido = millis() - tiempoInicio;

    if (tiempoTranscurrido >= 10000) {
        apagarElectrovalvula(electrovalvulaActual);
        electrovalvulaActual++;
        if (electrovalvulaActual > 3) {
            electrovalvulaActual = 1;
        }
        encenderElectrovalvula(electrovalvulaActual);
        tiempoInicio = millis();
    }
}

```

```

void encenderElectrovalvula(int numElectrovalvula) {
    switch (numElectrovalvula) {

```

```

case 1:
    digitalWrite(pinElectrovalvula1, HIGH);
    Serial.println("Electroválvula 1 Encendida");
    break;
case 2:
    digitalWrite(pinElectrovalvula2, HIGH);
    Serial.println("Electroválvula 2 Encendida");
    break;
case 3:
    digitalWrite(pinElectrovalvula3, HIGH);
    Serial.println("Electroválvula 3 Encendida");
    break;
}
}

```

```

void apagarElectrovalvulas() {
    digitalWrite(pinElectrovalvula1, LOW);
    digitalWrite(pinElectrovalvula2, LOW);
    digitalWrite(pinElectrovalvula3, LOW);
    Serial.println("Electroválvulas Apagadas");
}

```

```

void apagarElectrovalvula(int numElectrovalvula) {
    switch (numElectrovalvula) {
        case 1:
            digitalWrite(pinElectrovalvula1, LOW);
            Serial.println("Electroválvula 1 Apagada");
            break;
        case 2:
            digitalWrite(pinElectrovalvula2, LOW);
            Serial.println("Electroválvula 2 Apagada");

```

```

        break;
    case 3:
        digitalWrite(pinElectrovalvula3, LOW);
        Serial.println("Electroválvula 3 Apagada");
        break;
    }
}

```

```

void detenerSecuencia(int humedadPromedio) {
    if (humedadPromedio > setpointHumedad + histeresisHumedad) {
        apagarElectrovalvula(electrovalvulaActual);
        electrovalvulaActual = 1;
    }
}

```

```

void encenderMotor(int pinEncendido, int pinApagado) {
    digitalWrite(pinEncendido, HIGH);
    digitalWrite(pinApagado, LOW);
}

```

```

void detenerMotor(int pinMotor) {
    digitalWrite(pinMotor, LOW);
}

```