



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD, PARA TORRES AGRÍCOLAS DE JENGIBRE EN TIEMPOS DE COVID 19”

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister en Automatización y Control

Presentado por:

Ing. Marcos Ricardo Cevallos Jácome

Ing. Abraham Issac Plua Espinoza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre María Jácome.

Ing. Marcos Cevallos

El presente proyecto lo dedico a mis padres.

Ing. Abraham Plua

AGRADECIMIENTOS

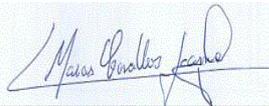
Mi más sincero agradecimiento Dios por darme salud. A mi madre por su apoyo constante. Al director de tesis Msc. Carlos Salazar por su motivación y orientación en el desarrollo de este trabajo.

Ing. Marcos Cevallos

Mi más sincero agradecimiento Dios por darme salud. A mis padres por su apoyo constante. Al director de tesis Msc. Carlos Salazar por su motivación y orientación en el desarrollo de este trabajo Ing. Abraham Plua

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Marcos Ricardo Cevallos Jácome y Abraham Issac Plua Espinoza damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Ing. Marcos Ricardo
Cevallos Jácome

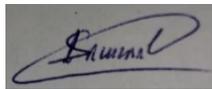


Ing. Abraham Issac Plua
Espinoza

COMITÉ EVALUADOR

PhD. **María Antonieta Álvarez**

SUBDECANO DE LA FIEC



Msc. **Carlos Salazar**

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



MSc. **Holger Cevallos**

MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

RESUMEN

Nuestro trabajo de tesis se distribuye de la siguiente manera:

En el primer capítulo, describe el desarrollo de los sistemas de control utilizados en la agricultura para optimizar el crecimiento de las plantas. El virus del covid 19 en la actualidad constituye el problema de mayor impacto en la economía de la sociedad. La comunidad, al no disponer de una planta medicinal eficaz de bajo costo, intensifica el problema siendo el jengibre, fármaco natural eficaz para combatir el covid 19 como una solución alternativa. Este trabajo focaliza en diseñar un sistema de control automático de temperatura y humedad para el desarrollo del jengibre en un prototipo móvil con torres agrícolas.

En el segundo capítulo se presenta el muestreo de las condiciones de temperatura y humedad del crecimiento del jengibre, se utilizó la identificación de sistemas con Matlab, Simulink para los controladores de temperatura, Arduino para el diseño del control encendido y apagado del sistema con actuadores electromecánicos de posición.

En el tercer capítulo se construye con Freecad el modelo de las torres agrícolas en 3d y demás piezas para el sistema mecánico de motores, ruedas para la movilidad del prototipo. También se estableció los materiales para construir el prototipo.

En el cuarto capítulo se obtiene los resultados para su análisis presentado el cambio de posición en base a la comparación de la temperatura interna de la planta versus la temperatura externa del ambiente. Se observa el sistema de irrigación del control de humedad dependiendo de la necesidad de la planta.

Palabras Clave: Prototipo, Torres, Jengibre, Temperatura, Posición

ABSTRACT

Our thesis work is distributed as follows:

In the first chapter, he describes the development of control systems used in agriculture to optimize plant growth. The covid 19 virus is currently the problem with the greatest impact on the economy of society. The community, not having an effective low-cost medicinal plant, intensifies the problem with ginger, an effective natural drug to combat COVID-19, as an alternative solution. This work focuses on designing an automatic temperature and humidity control system for the development of ginger in a mobile prototype with agricultural towers.

In the second chapter the sampling of the temperature and humidity conditions of the ginger growth is presented, the identification of systems with Matlab, Simulink for the temperature controllers, Arduino for the design of the control on and off of the system with electromechanical actuators was used. position.

In the third chapter, the model of the agricultural towers in 3d and other parts for the mechanical system of engines, wheels for the mobility of the prototype, is built with Freecad. The materials to build the prototype were also established.

In the fourth chapter, the results are obtained for its analysis, presenting the change in position based on the comparison of the internal temperature of the plant versus the external temperature of the environment. The humidity control irrigation system is observed depending on the need of the plant.

Keywords: *Prototype, Towers, Ginger, Temperature, Position*

ÍNDICE GENERAL

COMITÉ EVALUADOR.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICES DE TABLA.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	17
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Descripción del problema.....	18
1.2 Justificación del problema.....	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo General.....	20
1.3.2 Objetivos Específicos.....	20
1.4 Revisión del estado del arte de diseño y prototipado de un sistema de control automático de temperatura y humedad.....	20
CAPÍTULO II.....	25
2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Modelamiento para el diseño de la planta.....	25
2.1.1 Modelo de Caja Blanca.....	28
2.1.2 Modelo de Caja Gris.....	28
2.1.3 Modelo de Caja Negra.....	29
2.1.4 Procedimiento de la obtención del modelo de la planta.....	29

2.1.5	Procedimiento de Identificación del modelo de la planta.....	31
2.2	Ecuaciones de la planta.....	34
2.3	Modelado en simulink de las ecuaciones de la planta.....	34
2.4	Diseño del controlador.....	36
2.5	Selección de sensores y actuadores para valores de crecimiento del cultivo..	38
2.6	Descripción de los sensores.....	40
2.7	Control de los actuadores.....	42
CAPÍTULO III.....		44
3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTOTIPO.....	44
3.1	Diseño del Sistema.....	44
3.1.1	Análisis de la composición de los materiales poliméricos para el prototipado.....	44
3.1.2	Modelado 3D de los componentes del prototipo para el cultivo del jengibre.....	45
3.2	Diseño del control de temperatura y diseño del controlador de humedad.....	47
3.2.1	Control de Temperatura.....	47
3.2.2	Control de humedad.....	51
3.3	Diseño de irrigación del cultivo.....	51
CAPÍTULO IV.....		53
4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	53
4.1	Resultados de la Simulación de los diseños de los controladores.....	53
4.2	Resultados de la Experimentación.....	56
4.3	Costos del Proyecto.....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		64
Conclusiones.....		64
Recomendaciones.....		65

BIBLIOGRAFÍA.....	66
APÉNDICES.....	68

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ADME	Absorción Distribución Metabolismo Excreción
PET	Politereftalato de Etileno
PVC	Cloruro de Polivinilo
CAD	Diseño asistido por computadora
PWM	Modulación por ancho de pulso

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
°C	Grado Celsius
ml/s	Mililitro por Segundo
VDC	Voltaje de Corriente Directa
A	Amperios
%RH	Porcentaje de Humedad Relativa
m	Metro
g	Gramo
PSI	Libras por pulgadas cuadradas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 : Estructura del prototipo invernadero.....	21
Figura 1.2: Arquitectura de control del prototipo invernadero	21
Figura 1.3: Arquitectura de control del prototipo IoT.....	22
Figura 1.4: Estructura del prototipo IoT para fertilizar el suelo	22
Figura 1.5 : Diagrama de entradas y salidas del sistema	23
Figura 1.6: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	23
Figura 1.7: Maqueta del prototipado [10].....	24
Figura 2.1: Diagrama de flujo de la interacción del software	26
Figura 2.2: Lazo de Identificación de sistema.....	27
Figura 2.3: Tipos de modelos matemáticos	28
Figura 2.4: Señales de las entradas y salidas de la planta.....	29
Figura 2.5: Instrumentos para la medición humedad.....	30
Figura 2.6: Transductores de temperatura y Humedad	30
Figura 2.7: Medición de Humedad.....	30
Figura 2.8: Proceso de matrices de datos en iddata object	31
Figura 2.9: Proceso de importación de datos	31
Figura 2.10: Ambiente vs T _{sol}	32
Figura 2.11: Ambiente vs T _{sombra}	33
Figura 2.12: Estimación y validación	33
Figura 2.13: Análisis con varios métodos ARX,ARMAX,BJ,OE.....	34
Figura 2.14: Creación de subsistema con las funciones de transferencias	35
Figura 2.15: Modelamiento de la Planta 1 Entrada / 2Salidas	35
Figura 2.16: Señales de la Planta Scope1	35
Figura 2.17: Señales de la Planta Scope2	36
Figura 2.18: Controladores de la Planta 1 Entrada / 2 Salidas	36

Figura 2.19: Parámetros de los controladores.....	37
Figura 2.20: Temperatura de la planta expuesta al sol.....	37
Figura 2.21: Detalle ampliado Temperatura de la planta expuesta al sol	37
Figura 2.22: Temperatura de la planta en sombra.....	38
Figura 2.23: Bomba Magnética.....	40
Figura 2.24: Sensor/ módulo Humedad relativa y Temperatura DHT11	40
Figura 2.24: Sensor Temperatura.....	41
Figura 2.25: Sensor AMG8833 de matriz de infrarrojos Grid-Eye	41
Figura 2.26: Arreglo de pixeles del Sensor AMG8833 Grid-Eye.....	42
Figura 2.27: Modelado en 3D del motor de paso y acople del sistema prototipo	43
Figura 2.28: Implementación del motor de paso y acople	43
Figura 3.1: Estructura conceptual Polímeros.....	44
Figura 3.1: Diseño del sistema prototipo	45
Figura 3.2: Estructura del sistema prototipo	46
Figura 3.3: Vista frontal del prototipo con servomotores	46
Figura 3.4: Modelado del ensamblaje de una de las piezas con la estructura principal	46
Figura 3.5: Prototipo construido para desarrollo de la planta de jengibre.....	47
Figura 3.6: Esquema de control de temperatura del prototipo.....	47
Figura 3.7: Vista superior del prototipo	48
Figura 3.8: Ubicación del sensor de temperatura exterior en el tornillo sinfín	48
Figura 3.9: Motores de paso, drivers, fuente de prueba y tarjeta de control.....	49
Figura 3.10: Controladores de Velocidad TB6600 [25].....	50
Figura 3.11: Algoritmo para decisión de temperatura	50
Figura 3.12: Algoritmo para movimiento de los motores de paso.....	50
Figura 3.13: Esquema de control de Humedad del prototipo	51
Figura 3.13: Sistema de irrigación del prototipo	51

Figura 3.14: Bandeja colectora de agua para el sistema de irrigación	51
Figura 3.15: Layout del Prototipo Planta de Jengibre	52
Figura 4.1: Motor Eléctrico adptado al prototipo [26]	53
Figura 4.2: Drive Puente H Mosfet IRF3205 [27]	54
Figura 4.3: Fuente de Alimentación	54
Figura 4.4: Adaptación Prototipo Planta de Jengibre	55
Figura 4.5: Desplazamiento inicial posición A del prototipo	56
Figura 4.6: Desplazamiento final posición B del prototipo	56
Figura 4.7: Módulos integrados con controlador tarjeta Arduino Mega.	56
Figura 4.8: Mediciones registradas en la aplicación de Arduino Bluetooth Control	56
Figura 4.9: Mediciones Mínimas de Temperatura y Humedad.	57
Figura 4.10: Mediciones Máximas de Temperatura y Humedad	57
Figura 4.11: Hardware de control y fuente de alimentación.	57
Figura 4.12: Planta de Jengibre en el prototipo para su crecimiento y cultivo	57
Figura 4.13: Herramienta de la Aplicación para monitorear y controlar la posición del prototipo de jengibre	58
Figura 4.14: Herramienta para desplazamiento del prototipo de jengibre	59
Figura 4.15 y 4.16 : Monitoreo de temperaturas exterior y temperatura en la planta de jengibre	60
Figura 4.17: Simulación1, monitoreo de temperaturas con focos 100W.	60
Figura 4.18: Prototipo con sensor capturando las temperaturas externas.	60
Figura 4.19: Simulación 2, monitoreo de temperaturas exterior.	61
Figura 4.20: Prototipo con sensor capturando las temperaturas externas.	61
Figura 4.21: Monitoreo de temperaturas TE (exterior) ,Tp (planta), HUM(humedad de suelo), y MOTOR OFF(estado de la bomba).....	61
Figura 4.22: Desplazamiento Prototipo resultado de la búsqueda de la temperatura adecuada para el jengibre.	61

Figura 4.23: Temperatura promedio registrada por la aplicación Arduino Blue Control.62

Figura 4.24: Humedad registrada por la aplicación Arduino Blue Control.62

INDICES DE TABLA

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas DTH11	39
Tabla 2.2 Especificaciones Técnicas DS18B2[19]	39
Tabla 2.3 Especificaciones Técnicas AMG8833.....	39
Tabla 2.4 Especificaciones Técnicas Bomba ZJMZYM	39
Tabla 3.1 Especificaciones Técnicas Controlador de Velocidad TB6600.....	49
Tabla 4.1 Especificaciones Técnicas Motores ZD1632/2632 120W [26].....	53
Tabla 4.2 Especificaciones Técnicas Drives Puente H MOSFET IRF3205 [27].	54
Tabla 4.3 Especificaciones Técnicas Fuente de Alimentación [28]	54
Tabla 4.4 Listado de Materiales y costo referencial [Fuente Propia]	63

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en los sistemas de control son muy utilizados en la industria, en refrigeración, procesos alimenticios, procesos farmacéuticos y también el sector agrícola.

En el sector agrícola el principal propósito es optimizar la producción y la calidad de las plantas, como resultado de esto obtener información y trasladarla a repositorios digitales, para tomar decisiones sobre el desarrollo de las plantas.

La tecnología de control permite regular y mantener el desarrollo sostenible de las plantas para el mejoramiento continuo de la calidad de vida de varios sectores de la población mundial.

La herramienta más efectiva para el agricultor es la tecnología para alcanzar niveles de rentabilidad óptimos generalmente en cultivos de gran intensidad. En invernaderos estas soluciones son simples y de bajo costo generando beneficios para agricultor y también para la población que se alimenta con estos productos.

1.1 Descripción del problema

El virus del covid 19 actualmente está influyendo de manera alarmantemente en la población mundial. La cantidad de decesos y el impacto negativo en la situación económica de las familias de todos los estratos sociales y ha paralizado el comercio como nunca antes en la historia. La comunidad urbana carece de alternativas medicinales, al no contar con una planta medicinal eficaz de fácil acceso y de bajo costo, lo cual incrementa aún más el problema.

En la época actual existen plantas medicinales con propiedades curativas como el jengibre (*Zingiber officinale*), el cual es originario de zonas tropicales del sureste asiático, en el área Indomalaya. Luego, la planta fue introducida en Jamaica, África, México y la Florida. Esta planta requiere de un clima tropical húmedo con precipitaciones de 2000 mm de agua, distribuidos a lo largo del período vegetativo. Requiere una temperatura superior a los 30 °C, durante dos tercios del año, y necesita humedad relativa de 80% a 95% [1].

El té de jengibre tiene beneficios medicinales, en la digestión, vías respiratorias alergias y descongestionante, inflamación muscular, y favorece a la circulación sanguínea. En nuestro país, Ecuador el jengibre puede cultivarse en zonas como Manabí, Cotopaxi, Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Guayas, y Pichincha debido al clima [2].

Existen también plantas de efecto antibacteriano como el jengibre posee un mayor efecto sobre cepas de *Porphyromonas gingivalis* mejorando la salud del paciente [3]. El six gingerol derivado del jengibre permite inhibir el crecimiento de tumores cancerígenos beneficioso para el paciente [4]. Adicionalmente el six gingerol es un fitocompuesto, fenólico, bioactivo, se encuentra en el rizoma de jengibre fresco actúa como fármaco posee propiedades farmacocinéticas de ADME, eficaz para el tratamiento del COVID-19 [5]. Para el extracto de estas sustancias se requiere de laboratorios y sistemas de control especializados para el extracto de los mismos.

Por ende, se realiza un diseño de prototipado, con un sistema de control automático para el cultivo del jengibre, donde se consideran variables como son la humedad y la temperatura. El sistema debería activar el actuador, de acuerdo a un control inteligente ajustado a los requerimientos de estas aplicaciones [6].

Para el diseño de prototipado del control de temperatura se propone un controlador de dos estados (encendido/apagado). A fin de asegurar condiciones que fomenten el crecimiento de la planta, se busca controlar la relación de la temperatura y humedad. Las características de este controlador es de captar las mediciones de los sensores fuera de rangos para la temperatura y generar una señal correctiva en los actuadores determinando la acción de control encendido y apagado con histéresis [7].

1.2 Justificación del problema

Este trabajo tiene como finalidad facilitar el cultivo de jengibre, en torres verticales domésticas, para situaciones como la actual pandemia provocada por el COVID-19. Esta investigación se realizará con fines de facilitar la adquisición de jengibre y viabilizar el fortalecimiento del sistema inmune humano. Este trabajo tecnológico tendrá como producto, facilitar la agricultura del jengibre en residencias domiciliaria, de tal manera que se realice de forma sustentable y autónoma, siendo guiado por un sensor de temperatura y un controlador de humedad. Se planteará el uso del programa Matlab-Simulink, software y hardware Arduino para realizar el controlador de humedad y temperatura por el método encendido/apagado. Finalmente se seleccionará la composición de los materiales poliméricos para la impresión 3D de las partes del mismo, permitiendo implementar el sistema y verificar el funcionamiento del mismo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar el sistema de control automático de temperatura y humedad, para las torres de jengibre.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener un modelo del proceso de cultivo de jengibre.
- Diseñar un controlador que permita mantener la humedad del sembrío.
- Diseñar un sistema de optimización de control por temperatura mediante un posicionamiento automático.

1.4 Revisión del estado del arte de diseño y prototipado de un sistema de control automático de temperatura y humedad.

Para el diseño de prototipado de sistema de control automático de temperatura y humedad se tiene varias técnicas.

En la corporación universitaria de Huila, Colombia en el 2017, se realizó la construcción de prototipo de invernadero con ventajas y desventajas. Ventajas: calidad del producto, protección del suelo, alto desempeño, mayor eficiencia del uso del suelo, el agua y fertilizantes. Desventajas: alta inversión inicial y necesidad de personal altamente calificado y monitoreo supervisado continuo. La implementación de una red de sensores de temperatura y humedad y el uso de salida de actuadores extractores e inyectores de aire, nebulizadores, motobombas para controlar la humedad relativa [8].

En la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador en el 2012, se edificó otro prototipo de invernadero fijo el cual depende si el cultivo es pequeño o mediano, por ende se necesita una implementación de una cubierta tipo túnel semicilíndrica con estructura metálica que permita la transmisión de cantidad de luz solar y de un

sistema de control de alto costo [9]. En las figuras 1.1 y 1.2 se detallan la estructura física del prototipo y la arquitectura de control para el desarrollo de plantas.

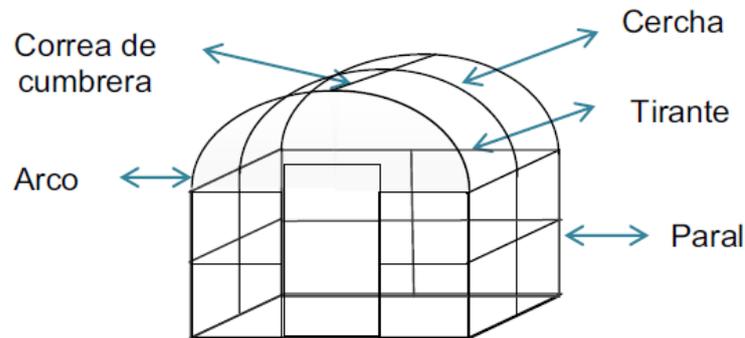


Figura 1.1 : Estructura del prototipo invernadero [9]

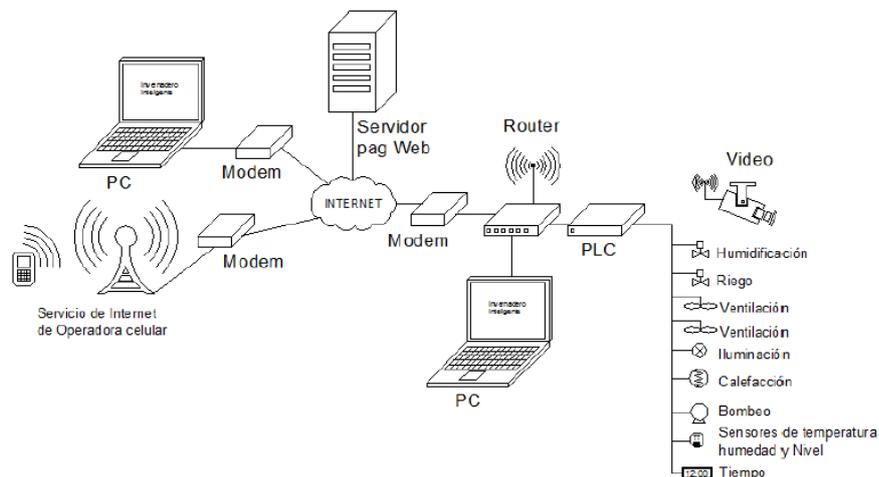


Figura 1.2: Arquitectura de control del prototipo invernadero [9]

En el 2019 la universidad de Telkom Indonesia, implementaron un prototipado en base al internet de las cosas IoT para fertilizar el suelo con métodos anaeróbicos. Los fertilizantes aeróbicos requieren de oxígeno, pero los anaeróbicos necesitan una cantidad menor para fertilizar el suelo [6]. El prototipo fue construido en base a tres criterios:

1. Sistema de monitoreo de temperatura, humedad, pH durante en el proceso de compostaje.
2. Los datos de temperatura, humedad y pH son obtenidos de un sensor y direccionados a un servidor web.

3. El sistema puede activar actuadores de agua pulverizada y motor de agitación automático de acuerdo al control de lógica difusa.

En las figuras 1.3 y 1.4 se detallan la arquitectura de control IoT con procesadores Arduino, Raspberry PI y también tiene una infraestructura más compleja del prototipo para el desarrollo de plantas, cabe recalcar estos prototipos son estáticos.

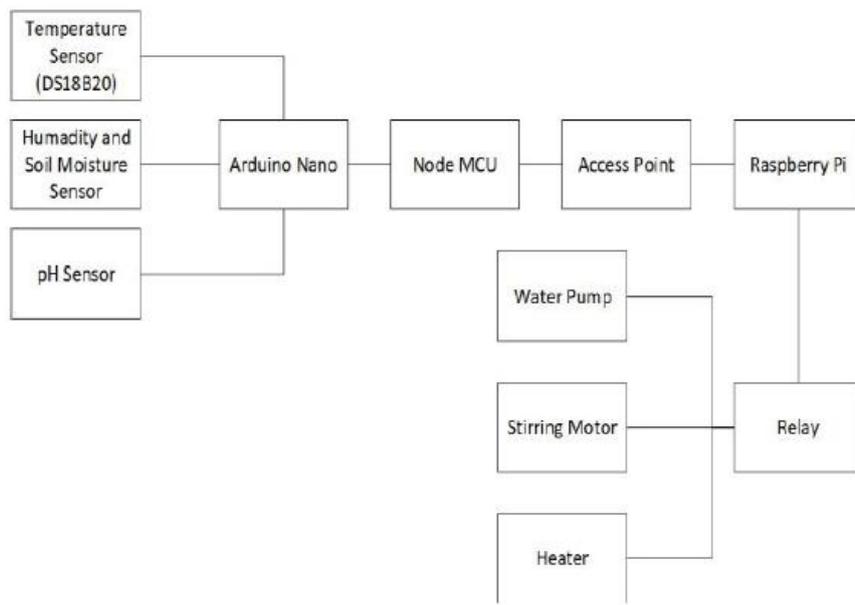


Figura 1.3: Arquitectura de control del prototipo IoT [6]

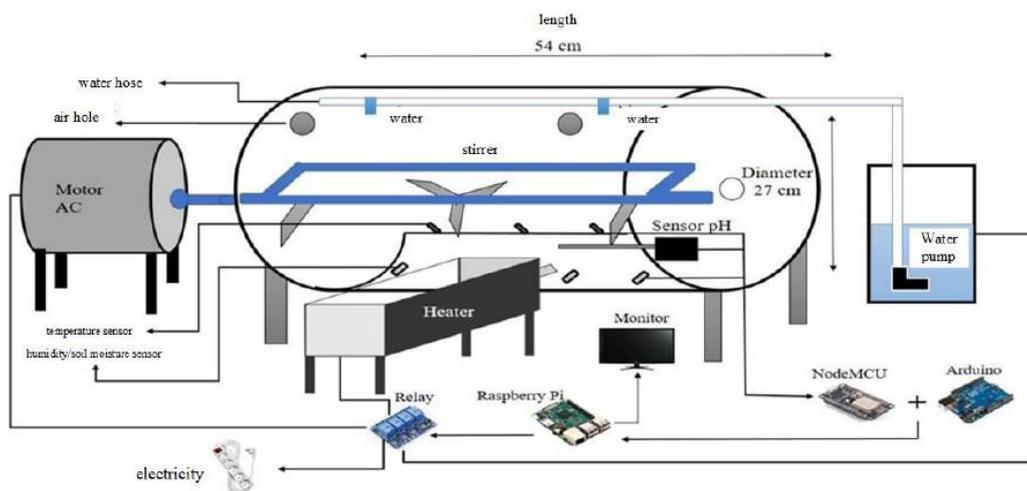


Figura 1.4: Estructura del prototipo IoT para fertilizar el suelo [6]

En el 2019 en la universidad de Malasia presentan otra propuesta de implementación de prototipado de invernadero inteligente automatizado, con monitoreo de temperatura y de agua [10].

En las figuras 1.5 se detallan el esquema de procesamiento en base de arduino y en la figura 1.6 el diagrama de flujo de funcionamiento del sistema y en la figura 1.7 la estructura del prototipo estático.

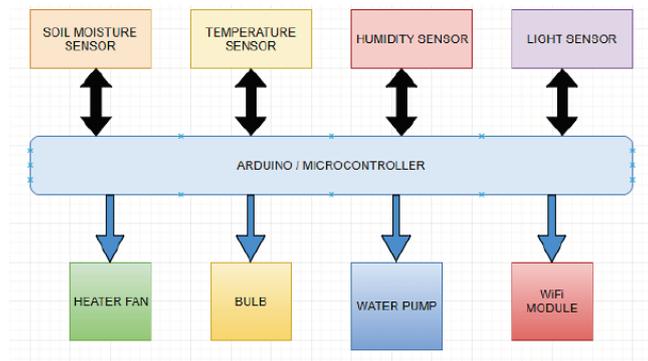


Figura 1.5 : Diagrama de entradas y salidas del sistema [10]

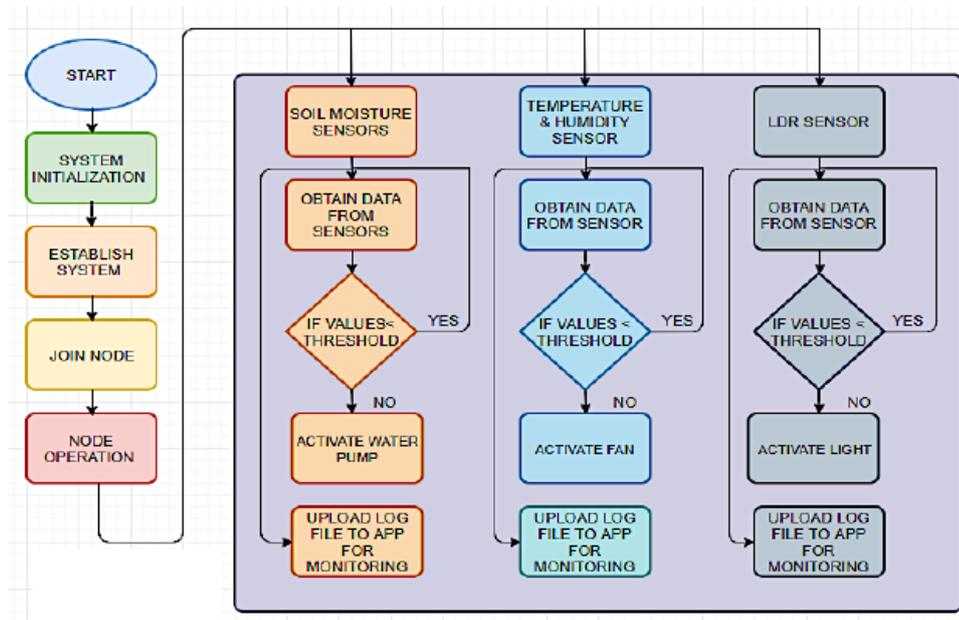


Figura 1.6: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema [10]

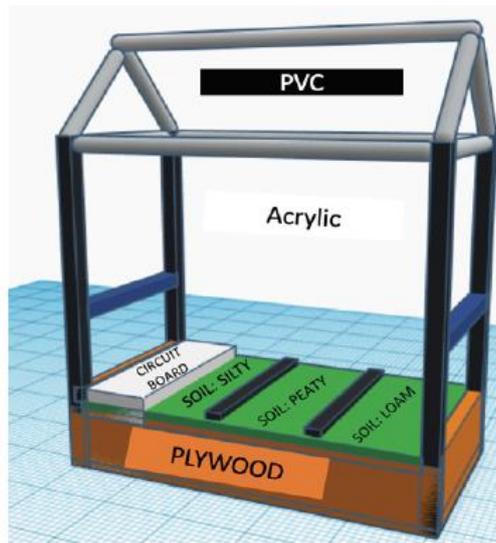


Figura 1.7: Maqueta del prototipado [10].

En el 2020 en Ecuador se diseñó un prototipo automatizado para el jengibre, a base de un sensor local que registra la temperatura en la planta y la compara con el sensor de mayor alcance, como resultado el control enviará señal a un sistema de motores para el desplazamiento a una ubicación donde la temperatura es favorable para el crecimiento de la planta de jengibre. Para el control de humedad de la planta de jengibre el prototipo posee un sistema de irrigación para el desarrollo del jengibre [11].

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Modelamiento para el diseño de la planta.

Para realizar el modelamiento de la planta se debe realizar una identificación del sistema. La definición de identificación del sistema, es la metodología para la construcción de modelos matemáticos de sistemas dinámicos siguiendo la estructura siguiente [12]:

- Mediciones de las señales de entrada y salida del sistema en dominio del tiempo o frecuencia.
- Selección de una estructura de modelo.
- Aplicación de un método de estimación para estimar los valores de parámetros ajustables al sistema.
- Evaluación del modelo estimado para la comprobación del modelo adecuado para las necesidades del sistema y su aplicación.

Para realizar una identificación se requiere de calcular el modelo y evaluar sus propiedades. Actualmente se encuentran en paquetes de identificación disponibles en programas como Matlab, por lo general contienen las siguientes rutinas [13]:

- Manejo de datos, trazado y filtrado de datos.
- Métodos de identificación no paramétrica, estimación de covarianzas, transformadas de Fourier, correlación y análisis espectral.
- Métodos de estimación paramétrica, cálculo de estimaciones en diferentes estructuras de modelo.
- Presentación de modelos, simulación de modelo, estimación y trazado de polos y ceros, cálculo de funciones de frecuencia, trazado de diagramas de bode.
- Validación del modelo, cálculo de residuos, comparación entre diferentes modelos.

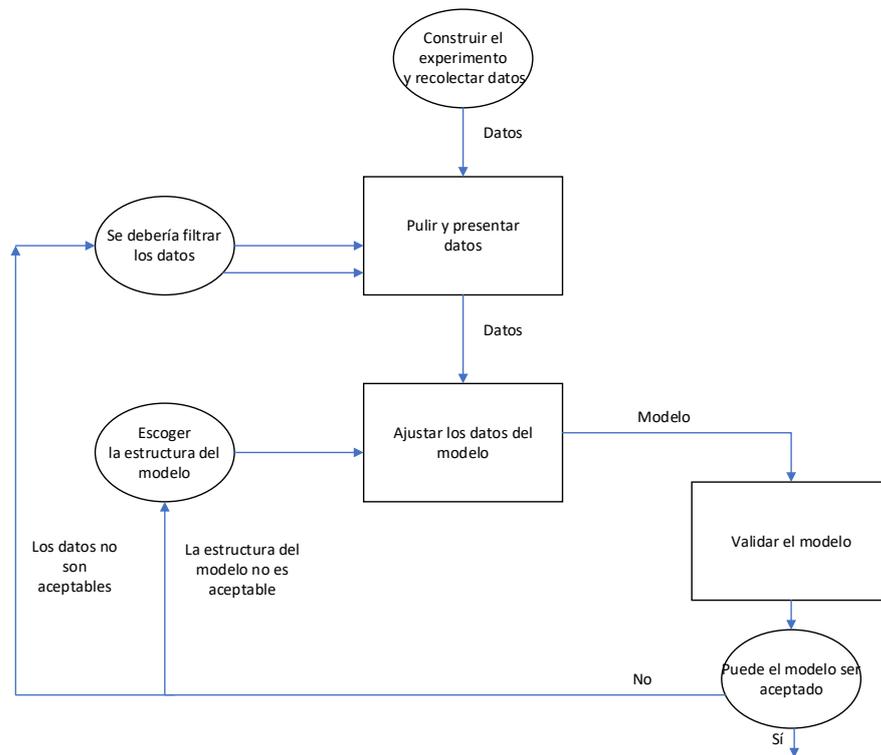


Figura 2.1: Diagrama de flujo de la interacción del software [13]

El modelado de un sistema, es siempre una aproximación del sistema real. En la práctica la complejidad del sistema, el conocimiento previo limitado del sistema y la disponibilidad incompleta de los datos observados no permiten una matemática exacta para la descripción del sistema. Por el contrario, si se tiene la información y datos del sistema, una descripción detallada del sistema con frecuencia no es recomendable porque el modelo se comportaría demasiado complejo para ser usado en una aplicación. Por lo tanto la identificación del sistema es un modelo aproximado para la aplicación sobre los datos observados y conocimientos previos del sistema tratado [14].

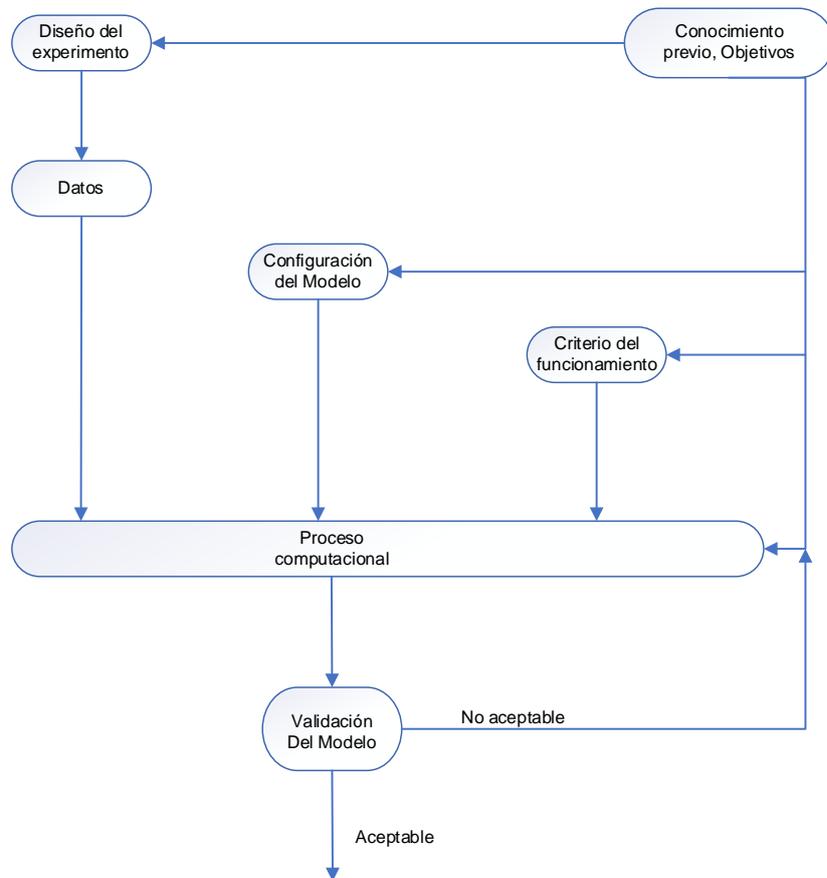


Figura 2.2: Lazo de Identificación de sistema [14]

Para el modelamiento existen dos tipos de métodos teórico y experimental, también se puede realizar la combinación entre los dos métodos para mejorar el comportamiento del sistema. Por medio de este procedimiento podemos inferir varias formas de modelos de acuerdo a la cantidad de datos de información y complementar el modelo teórico con el modelo experimental al aumentar la información afinando el desempeño del sistema a modelar [15].

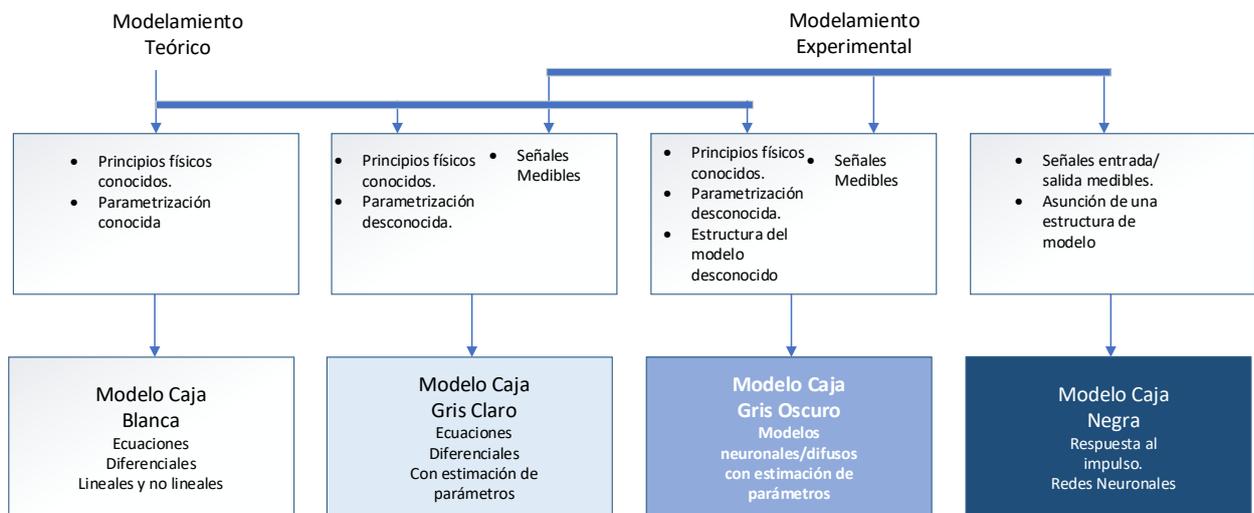


Figura 2.3: Tipos de modelos matemáticos [15]

2.1.1 Modelo de Caja Blanca

Modelo de Caja Blanca, se conoce como modelo teórico y se basa a los conocimientos fundamentales en ciencia e ingeniería. Los parámetros en caja blanca representan el comportamiento dinámico de un sistema puede ser obtenido mediante la medición en el sistema real, referido a la hoja de datos o manual del sistema. La ventaja del modelo de caja blanca proporciona información sobre el comportamiento del sistema según las leyes fundamentales de la ciencia. Desventaja cuando se tiene parámetros desconocidos el sistema que se va a modelar es difícil y en ocasiones imposible de medir [16].

2.1.2 Modelo de Caja Gris.

Modelo de Caja Gris, se conoce como un modelo semi empírico o modelo híbrido, es la combinación del modelo caja blanca y caja negra el conjunto de ecuaciones describen un comportamiento dinámico del modelo se edifica básicamente con el conocimiento de la ciencia y la ingeniería, mientras que los parámetros desconocidos en las ecuaciones se estiman en base a los datos de relación entrada (s) y salida (s) producidos por el sistema. El modelo de caja gris se puede simular dentro del rango operativo fuera del rango de los datos [16].

2.1.3 Modelo de Caja Negra.

Modelo de Caja Negra, se conoce como modelo empírico o modelo basado en datos, es desarrollado mediante ajuste de parámetros en un conjunto de ecuaciones lineales o no lineales para mapear la relación entre entrada(s) y la salida(s) de un sistema. Por ejemplo los modelos Auto Regresivos (AR), el modelo de media móvil (MA), el modelo auto modelo de media móvil regresivo (ARMA). El modelo de una red neuronal artificial (ANN). Una de las ventajas del modelo de caja negra cuando las entradas y salidas están disponibles, pero la teoría se desconoce [16].

Al igual que otros modelos la caja negra tiene desventajas no puede ser simulado dentro de la condición de funcionamiento que está fuera de rango de los datos que se utilizan y no proporciona información física sobre el conocimiento teórico del sistema [16].

2.1.4 Procedimiento de la obtención del modelo de la planta.

Para el modelamiento de la planta, se procedió con la toma de muestras de datos de temperatura de ambiente, la temperatura en la planta expuesta al sol, la temperatura en la planta expuesta a la sombra, humedad del ambiente y humedad del terreno. Refiérase al Apéndice A1.



Figura 2.4: Señales de las entradas y salidas de la planta [Fuente propia].

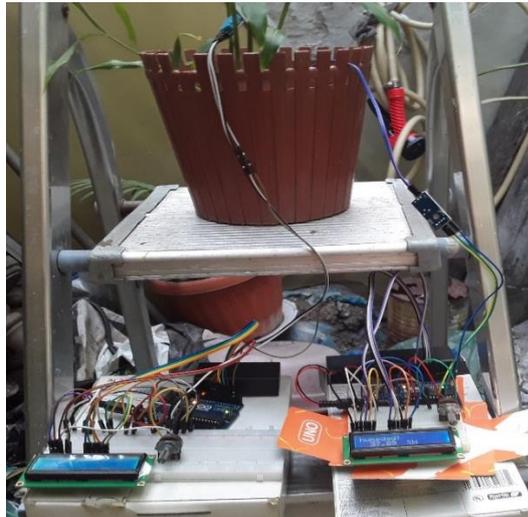


Figura 2.5: Instrumentos para la medición humedad [Fuente propia].



Figura 2.6



Figura 2.7

Figura 2.6: Transductores de temperatura y Humedad [Fuente propia].

Figura 2.7: Medición de Humedad [Fuente propia].

De acuerdo a las Figuras 2.5,2.6,2.7 mostradas se utilizó 2 tarjetas de Arduino uno, para observar los valores de temperatura ambiente, planta jengibre expuesta el sol y planta en sombra. Adicionalmente de aplicativo de clima de app 'Clima Diario' para la temperatura ambiente.

Posteriormente estos datos fueron digitalizados en una tabla de Excel para su exportación hacia el software de MATLAB vs. 2020 para el procedimiento de Identificación en las secciones anteriores. Los datos de muestreo se convirtieron en matrices y estos en un iddata object encapsulando los datos de medición de entrada y salida para la obtención del modelo de la planta.

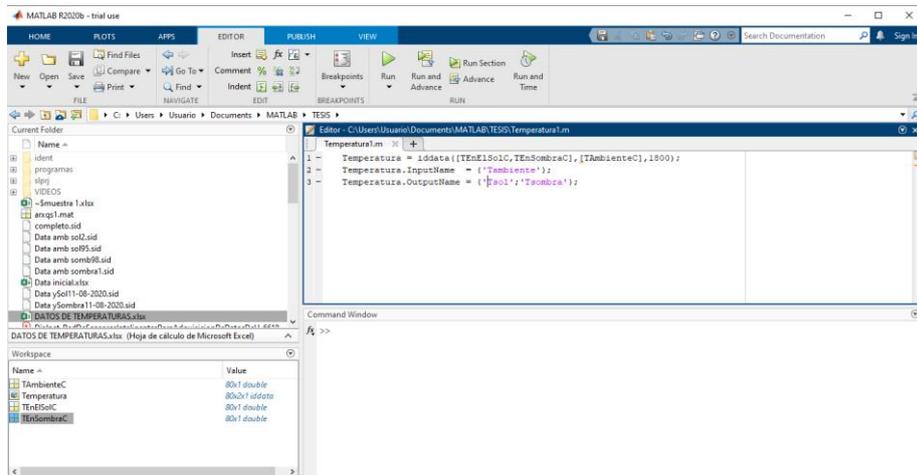


Figura 2.8: Proceso de matrices de datos en iddata object [Fuente propia].

2.1.5 Procedimiento de Identificación del modelo de la planta.

Para la identificación del modelo se empleó la herramienta Ident con un tiempo de muestro de 1800 segundos.

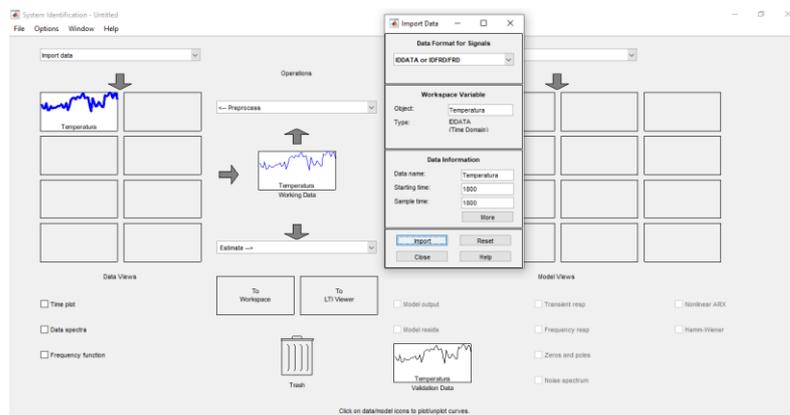


Figura 2.9: Proceso de importación de datos [Fuente propia].

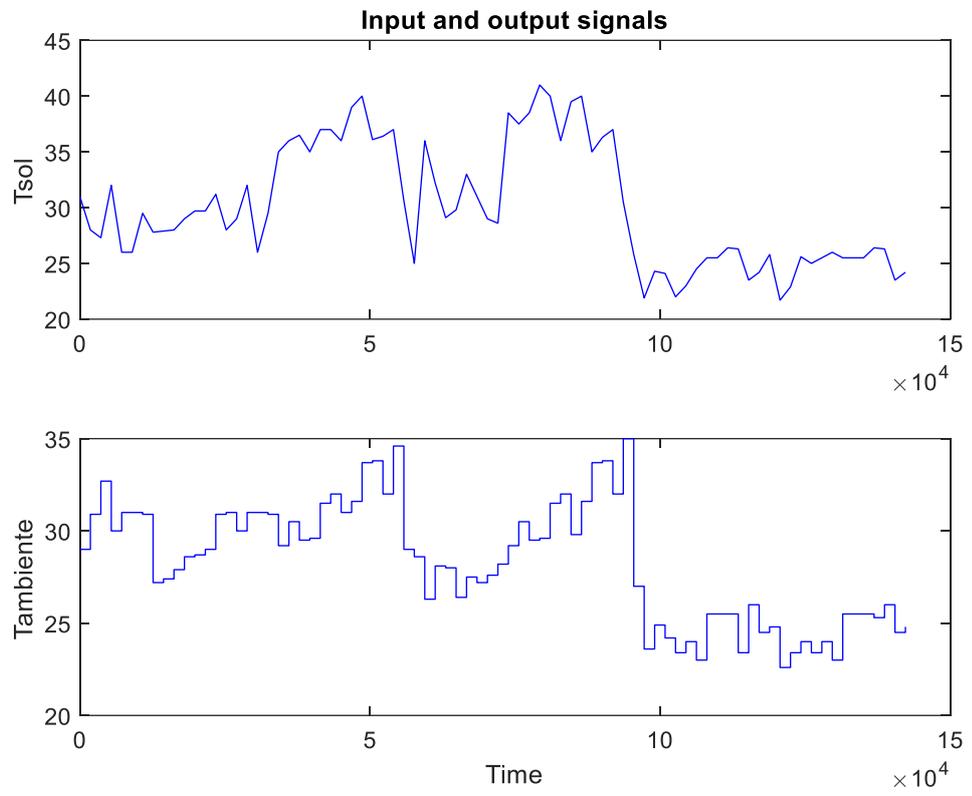
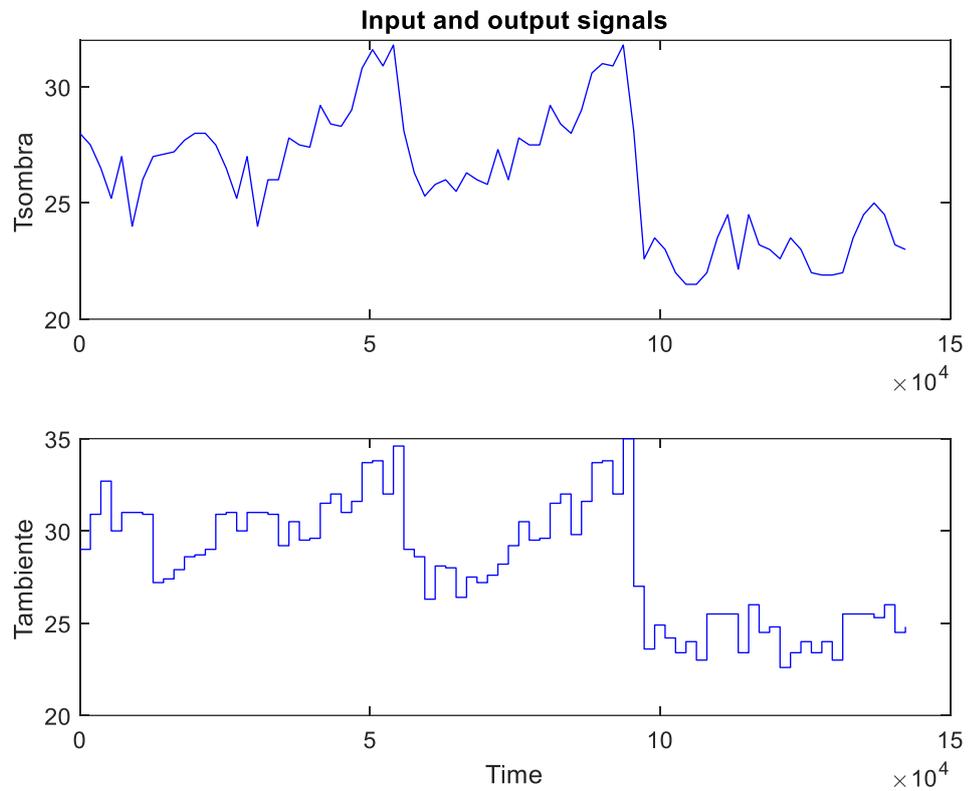


Figura 2.10: Tambiente vs Tsol [Fuente propia].



Unidad en x y y

Figura 2.11: Ambiente vs Tsombra [Fuente propia].

En el proceso se analizó los datos en un rango de la curva de muestreo y en otro rango se validó el modelo. Por medio de varios métodos se analizó la estimación ARX, ARMAX, OE, BJ, sin resultados favorables en la estimación.

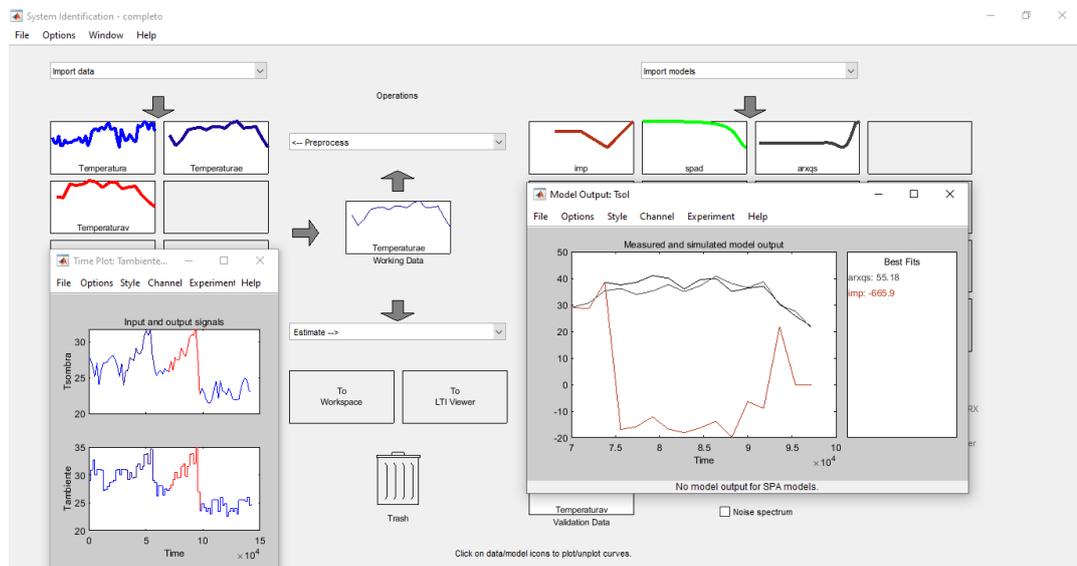


Figura 2.12: Estimación y validación [Fuente propia].

Con los análisis mencionados se obtuvo una estimación del 55.19 % de efectividad del modelo, luego se exporta a workspace para la determinación de la función de transferencia y ecuación de la planta.

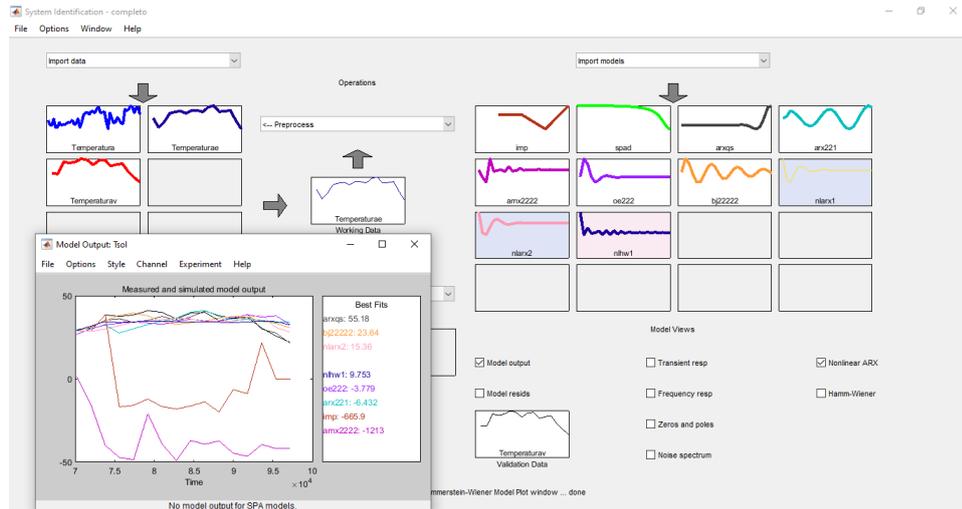


Figura 2.13: Análisis con varios métodos ARX,ARMAX,BJ,OE [Fuente propia].

2.2 Ecuaciones de la planta.

De la identificación y mediante la exportación a workspace se obtuvieron las siguientes ecuaciones que modelan la planta.

$T_{sol} =$

$$\frac{1.227 s^8 + 0.002872 s^7 + 6.476e-06 s^6 + 7.463e-09 s^5 + 8.265e-12 s^4 + 5.233e-15 s^3 + 3.357e-18 s^2 + 8.22e-22 s + 3.868e-25}{s^8 + 0.0006564 s^7 + 3.855e-06 s^6 + 1.304e-09 s^5 + 4.213e-12 s^4 + 9.182e-16 s^3 + 1.223e-18 s^2 + 9.856e-23 s + 3.33e-25} \quad (2.1)$$

$T_{sombra} =$

$$\frac{0.2517 s^8 + 0.0006708 s^7 + 4.094e-07 s^6 + 4.062e-10 s^5 + 6.581e-13 s^4 - 3.911e-16 s^3 + 4.467e-19 s^2 + 1.521e-22 s + 3.056e-25}{s^8 + 0.0006564 s^7 + 3.855e-06 s^6 + 1.304e-09 s^5 + 4.213e-12 s^4 + 9.182e-16 s^3 + 1.223e-18 s^2 + 9.856e-23 s + 3.33e-25} \quad (2.2)$$

2.3 Modelado en simulink de las ecuaciones de la planta.

Se modeló en simulink las ecuaciones de la planta. Temperatura ambiente entrada Temperatura planta expuesta al sol salida, y Temperatura planta en sombra salida.

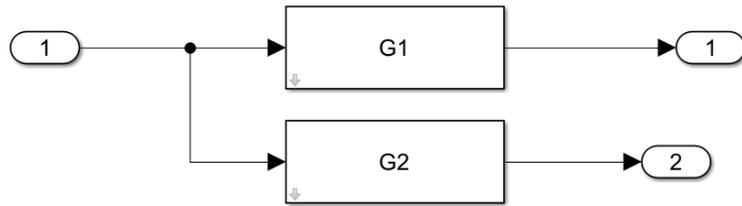


Figura 2.14: Creación de subsistema con las funciones de transferencias [Fuente propia].

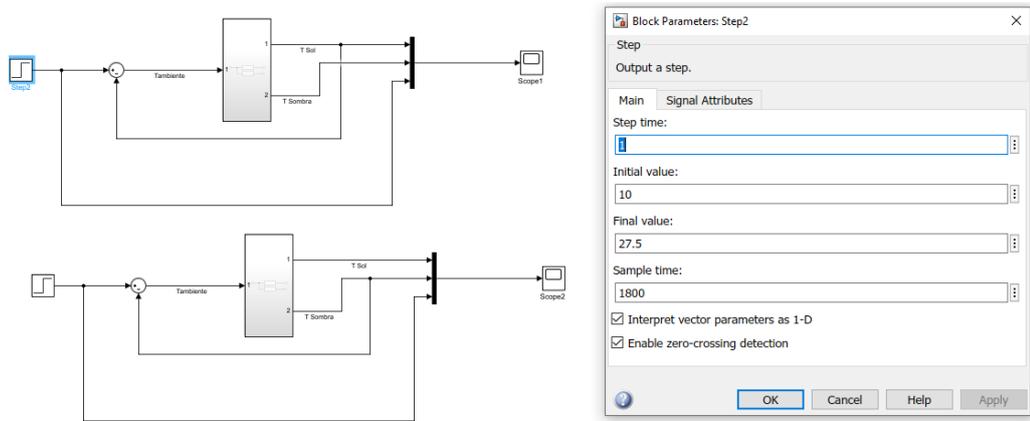


Figura 2.15: Modelamiento de la Planta 1 Entrada / 2Salidas [Fuente propia].

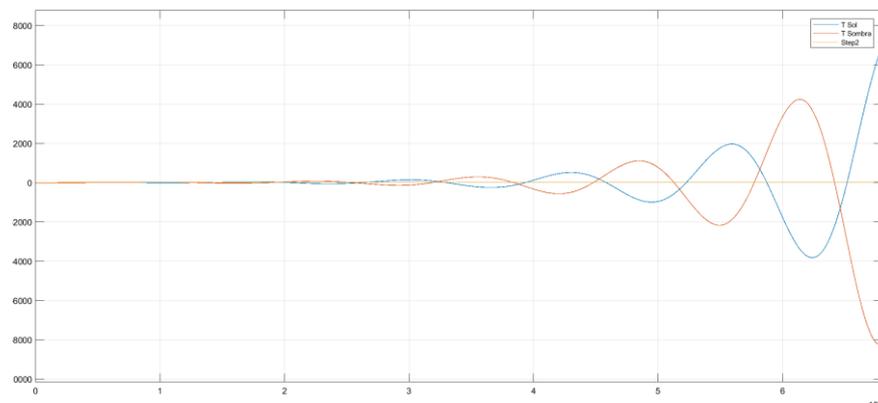


Figura 2.16: Señales de la Planta Scope1 [Fuente propia].

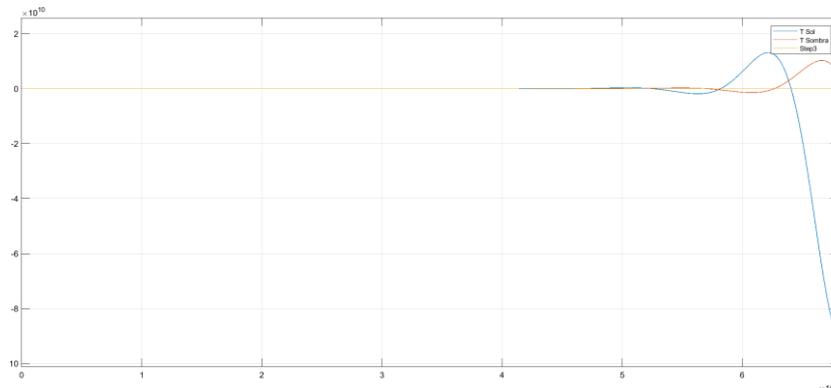


Figura 2.17: Señales de la Planta Scope2 [Fuente propia].

2.4 Diseño del controlador.

Se diseñó el controlador en base las salidas controlando una a la vez, inicialmente la T_{sol} y luego T_{sombra}, como se observó en la figura 2.15.

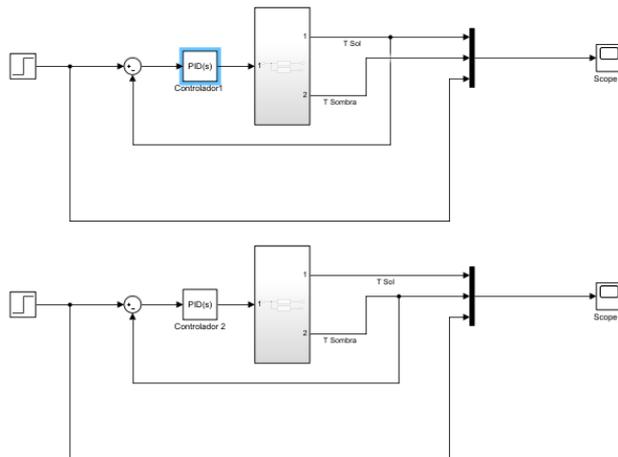


Figura 2.18: Controladores de la Planta 1 Entrada / 2 Salidas [Fuente propia].

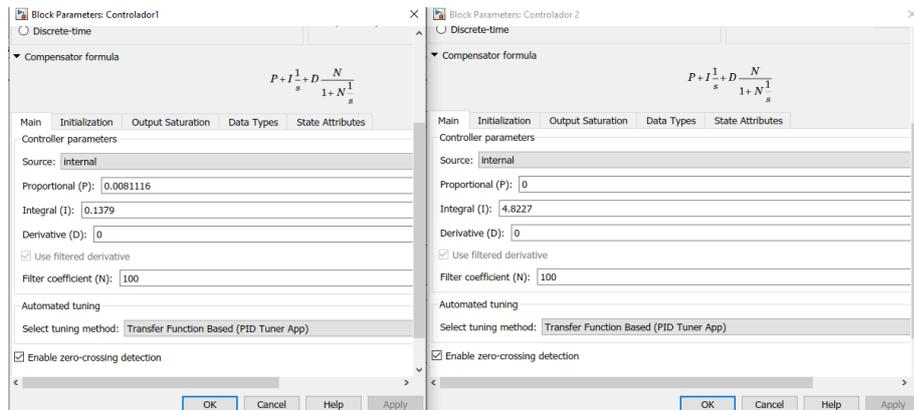


Figura 2.19: Parámetros de los controladores [Fuente propia].

En la figura 2.20. se muestra que el diseño del controlador permite mantener la temperatura de la planta expuesta al sol de acuerdo al setpoint de 27.5°C óptima para el desarrollo del jengibre [17].

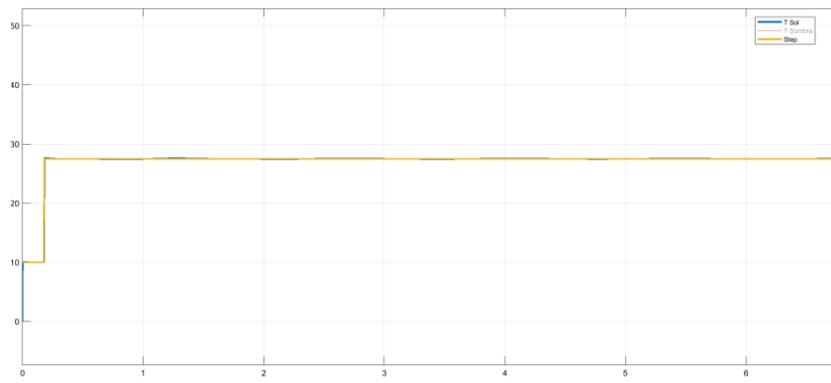


Figura 2.20: Temperatura de la planta expuesta al sol [Fuente propia].

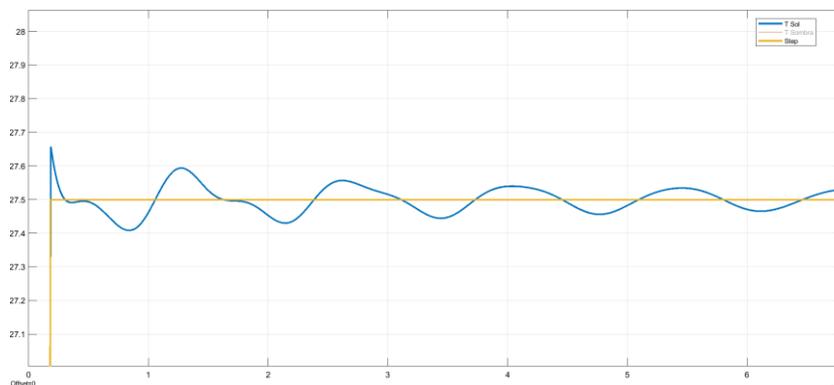


Figura 2.21: Detalle ampliado Temperatura de la planta expuesta al sol [Fuente propia].

En la figura 2.22. se muestra que el diseño del controlador no permite mantener la temperatura de la planta en sombra de acuerdo al setpoint de 27.5°C [17]. Por este motivo se procedió a realizar un diseño de un controlador Encendido / Apagado.

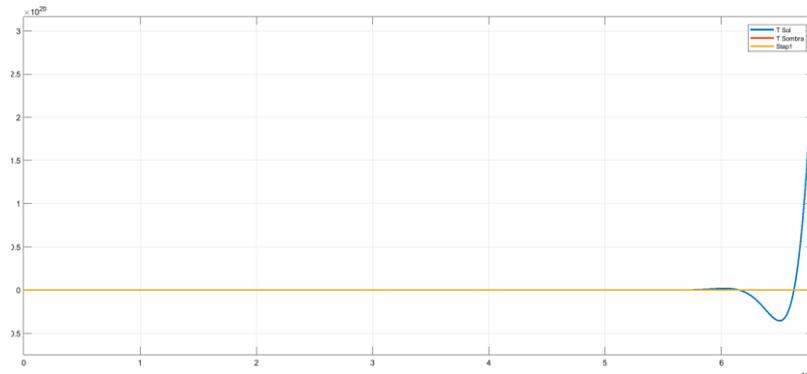


Figura 2.22: Temperatura de la planta en sombra [Fuente propia].

2.5 Selección de sensores y actuadores para valores de crecimiento del cultivo.

Para los sensores ó transductores de Temperatura y Humedad se utilizó en el muestreo el modelo DHT11, y el modelo AMG8833 8x8 Thermal Camera Sensor. En la selección del modelo DHT11 se seleccionó de acuerdo a la fuente de alimentación y rango de medición, y precisión en las primeras pruebas establecidos en la tabla 2.1. Los sensores ó transductores y actuadores se mostrará su ubicación en el sistema en el capítulo IV.

Posteriormente se seleccionó el modelo DS18B20 se seleccionó de acuerdo a la fuente de alimentación, composición de silicio, mayor rango de temperatura que el DTH11, y precisión en las primeras pruebas establecidos en la tabla 2.2.

Los mismos criterios para el AMG8833 8x8 Thermal Camera Sensor, con un parámetro adicional la distancia del prototipo debe apuntar hasta el objetivo para tomar la decisión de desplazamiento de 7 m, de acuerdo a la tabla 2.3.

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas DTH11 [18]

Característica	Unidades
Fuente de Alimentación	3-5.5 VDC
Rango de Medición	Humedad 20-90 %RH; Temperatura 0 – 50 °C
Precisión	Humedad +-4 %RH (Max +- 5%RH); Temperatura +-2.0 °C

Tabla 2.2 Especificaciones Técnicas DS18B2[19]

Característica	Unidades
Fuente de Alimentación	3-5.5 VDC
Rango de Medición	Temperatura -55 a +125 °C
Precisión	Temperatura +-0.5 de (-10°C a+85°C);

Tabla 2.3 Especificaciones Técnicas AMG8833 [20]

Característica	Desempeño	
	Ganancia Alta	Ganancia Baja
Fuente de Alimentación	3.3 VDC ± 0.3 VDC	5.0 VDC ± 0.5 VDC
Rango de medición	0 °C a 80 °C	-20 °C a 100 °C
Precisión	Típica ± 2.5 °C	Típica ± 3.0 °C
Distancia de detección	7 m ó menos (valor de referencia)	

Para el actuador de riego se seleccionó una bomba magnética centrífuga y silenciosa de gran eficiencia de acuerdo a sus dimensiones, consumo de corriente, marca ZJMZYM, mostrado en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Especificaciones Técnicas Bomba ZJMZYM [21].

Característica	Unidades
Fuente de Alimentación	8-12 VDC
Corriente con carga	0.2 A
Caudal	65 ml/s
Diámetro de entrada	14.5 mm
Diámetro de salida	8 mm
Longitud	73.5 mm
Ancho	43 mm



Figura 2.23: Bomba Magnética [21].

2.6 Descripción de los sensores.

En la descripción del modelo DHT11 que utilizó para el muestreo de acuerdo a la figura 2.24. Este sensor recolecta señales digitales con tecnología de detección de humedad permitiendo asegurar estabilidad y confianza en la medición. Con respecto a la temperatura este modelo posee compensación de la variable de medición cada dato se almacena en la memoria interna de lectura OTP (One Time Programmable). El diseño físico del dispositivo es de tamaño pequeño, de bajo consumo con una excelente alcance de transmisión de hasta 20 m [18].

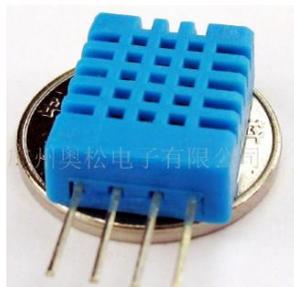


Figura 2.24: Sensor/ módulo Humedad relativa y Temperatura DHT11 [18] .

En la descripción del modelo DS18B2 que se utilizó para el muestreo de acuerdo a la figura 2.24. Este sensor para la medición de temperatura tiene 4 componentes principales : ROM, sensor de temperatura, alarma de temperatura no volátil y un

registro de configuración, para el resultado de la medición de temperatura, la lectura se almacenará en la memoria del dispositivo [19].

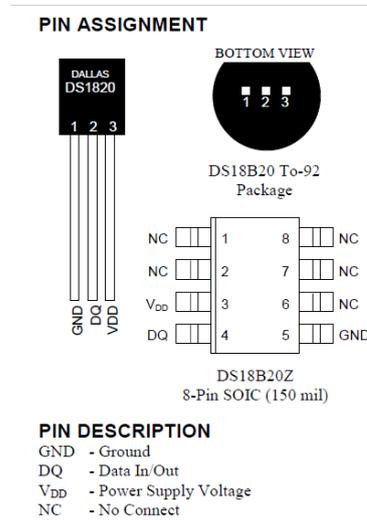


Figura 2.24: Sensor Temperatura DS18B2 [19] .

Para la descripción del AMG8833 8x8 Thermal Camera Sensor, puede funcionar dentro de la temperatura ambiente utilizando la humedad ambiental. En este dispositivo la humedad varía según la temperatura. Este sensor detecta la cantidad de rayos infrarrojos bajo condiciones de precisión de temperatura tiene una detección de temperatura de área bidimensional: 8x8 ,64 pixeles, es utilizado en puertas de elevadores.



Figura 2.25: Sensor AMG8833 de matriz de infrarrojos Grid-Eye [20].

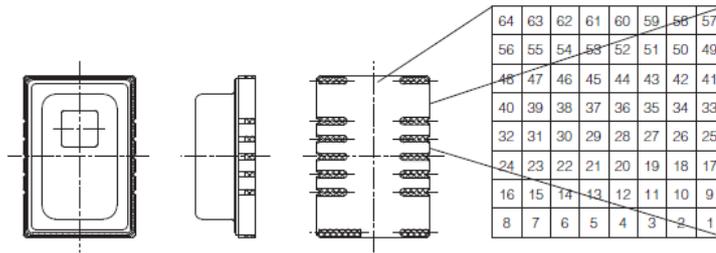


Figura 2.26: Arreglo de pixeles del Sensor AMG8833 Grid-Eye [20].

2.7 Control de los actuadores

Para los actuadores se utilizó motores de paso para el cambio de posición del prototipo. Importancia del motor y estrategia de control.

Un motor de paso es un dispositivo electromecánico que gira un ángulo de paso discreto cuando el motor es energizado. El ángulo de paso suele ser fijo para un motor en particular y por lo tanto proporciona un medio para posicionar el motor con precisión de manera uniforme y repetible. Los ángulos de paso típicos varían desde 0.720° hasta 90° . Los tipos de motores de paso son diseñados por solenoide rotativos, reluctancia variable, imán permanente e híbrido. Variaciones de estos tipos pueden combinarse con engranajes hidráulicos amplificadores para proporcionar un mayor par de salida [22].

Funcionamiento del motor de paso se produce cuando el rotor de un imán permanente se alinea con el campo de un polo N del rotor y con el polo S del estator. La rotación del motor paso a paso, se logra cambiando las polaridades del campo del estator a la posición del siguiente paso logrando la rotación siguiente [23].

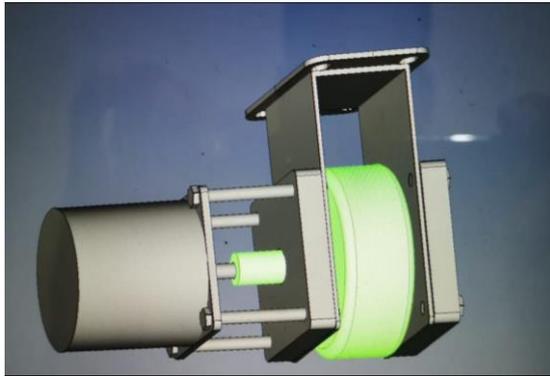


Figura 2.27



Figura 2.28

Figura 2.27: Modelado en 3D del motor de paso y acople del sistema prototipo [Fuente propia].

Figura 2.28: Implementación del motor de paso y acople [Fuente propia].

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTOTIPO

3.1 Diseño del Sistema

Para el diseño del sistema de prototipo se seleccionó el material de acuerdo a la siguiente clasificación mostrada en la figura 3.1

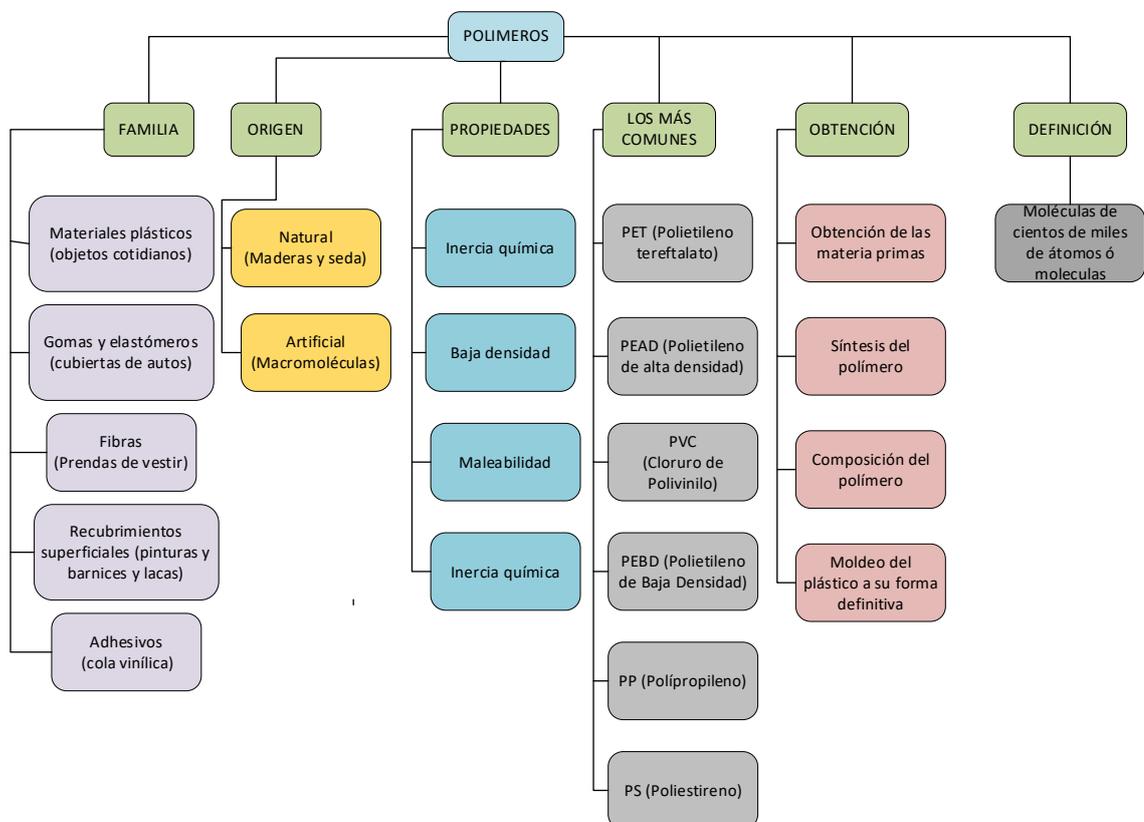


Figura 3.1: Estructura conceptual Polímeros [24].

De esta clasificación se seleccionó el PET y el PVC para las piezas del sistema prototipo [24].

3.1.1 Análisis de la composición de los materiales poliméricos para el prototipado.

Para la estructura del sistema prototipo se utilizó un polímero de uso común plástico, material de fácil moldeo de comportamiento mecánico, material que permitió realizar deformaciones después de someter a esfuerzos mecánicos. Este

material fue seleccionado por su simplicidad, de bajo costo, reducción de peso, reducción de ruido [24].

El material PVC se determinó en el modelo del prototipado que apto para la construcción de la estructura del sistema por su dureza y peso.

3.1.2 Modelado 3D de los componentes del prototipo para el cultivo del jengibre.

Para este diseño se utilizó el software de free CAD 0.18 y se realizó una estructura para ubicar las plantas de jengibre. En la estructura se modeló la plataforma y ubicación del banco de baterías, el actuador de irrigación, la torre para el sensor de temperatura bidimensional, y las tarjetas de control temperatura, humedad y movimiento. La estructura tiene una altura 909.20 mm y una extensión de 507.29 mm detallado en la figura 3.1.

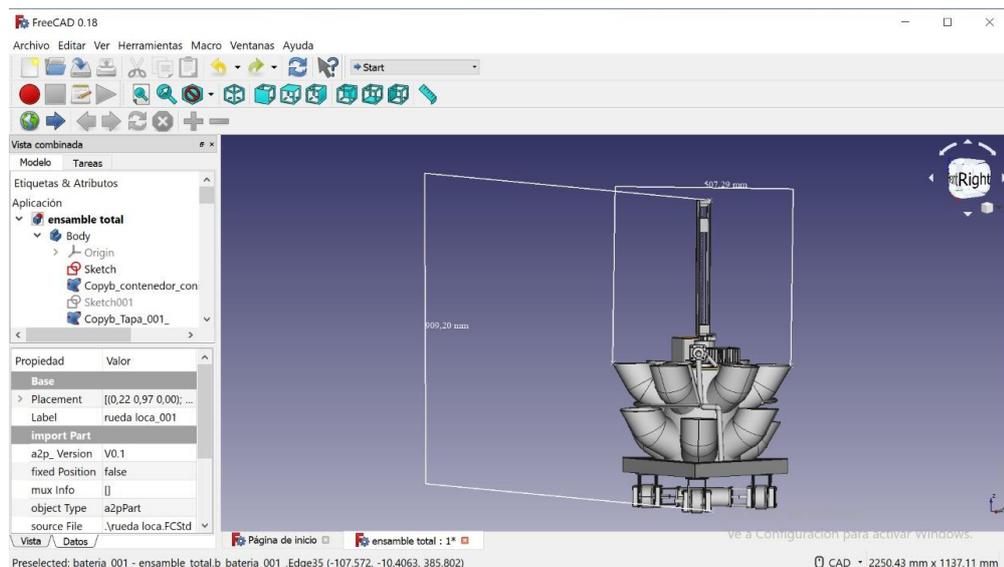


Figura 3.1: Diseño del sistema prototipo [Fuente propia].

La tarjeta de control de movimiento interactúa con los motores de paso en función del mapeo de temperatura.

Para el modelado se diseñó estructuras que permitió al jengibre desarrollarse libremente para su cultivo y posterior cosecha del rizoma.



Figura 3.2

Figura 3.2: Estructura del sistema prototipo [Fuente propia].

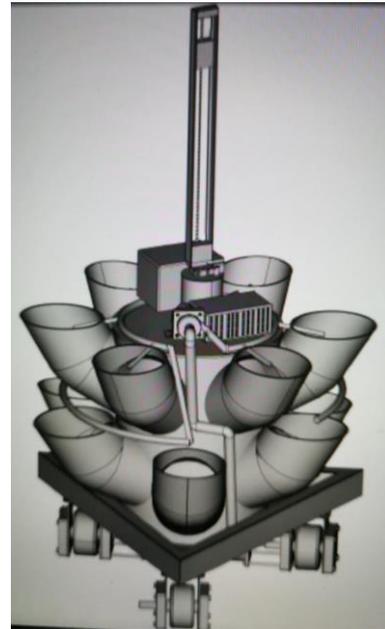


Figura 3.3

Figura 3.3: Vista frontal del prototipo con servomotores [Fuente propia].



Figura 3.4: Modelado del ensamblaje de una de las piezas con la estructura principal [Fuente propia].

Para la construcción del sistema se utilizó materiales de polímero terminado disponible en el mercado, para optimizar el costo de montaje, sin embargo, se imprimió piezas en 3D para las chumaceras de las ruedas. En la figura 3.5 se observa el prototipado desarrollado de acuerdo al diseño en la etapa de modelación.



Figura 3.5: Prototipo construido para desarrollo de la planta de jengibre [Fuente propia].

3.2 Diseño del control de temperatura y diseño del controlador de humedad.

3.2.1 Control de Temperatura

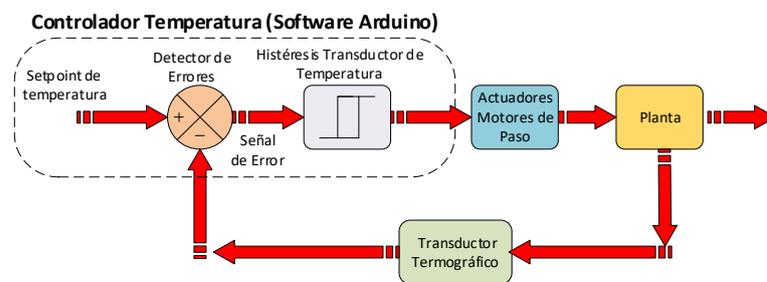


Figura 3.6: Esquema de control de temperatura del prototipo [Fuente propia].

Para el diseño del control de temperatura se utilizó el software de Arduino y un procesador de Arduino Mega, con sensores de temperatura y humedad como entradas y motores de paso como salida del sistema, para el diseño mecánico del equipo nos basamos en un sistema electromecánico de agricultura para plantas [11] . En la planta de jengibre se midió la temperatura la cual debe estar en 27.5° C, esta medición es comparada en una matriz de datos almacenada por otro sensor de temperatura ubicado en la parte central y una altura de 72cm del piso superior del prototipo.



Figura 3.7

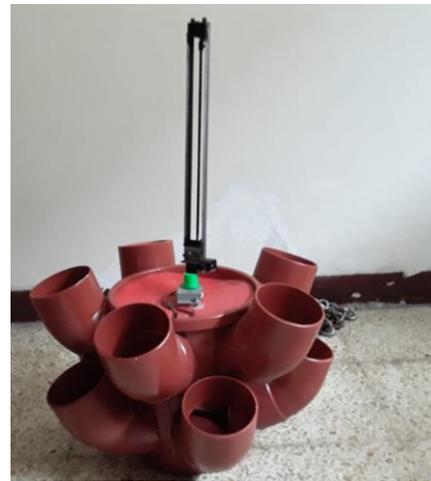


Figura 3.8

Figura 3.7: Vista superior del prototipo [Fuente propia].

Figura 3.8: Ubicación del sensor de temperatura exterior en el tornillo sinfín [Fuente propia].

Esto permitió tomar mediciones de temperatura cada 90 grados en el ambiente externo, si la temperatura de la planta es mayor de 27.5° C, se enviará una señal para que los motores de paso para el movimiento y el prototipo se dirija a un sitio con temperatura para el desarrollo óptimo de la planta de jengibre.



Figura 3.9: Motores de paso, drivers, fuente de prueba y tarjeta de control [Fuente propia].

Para los controladores de velocidad de los motores, se seleccionó un controlador de motor de paso a paso sinusoidal tipo troceador PWM el TB6600. El control rotacional para avance y retroceso se puede configurar de 2 fases, 1-2 fases, W1-2fases, 2W1-2 fases y 4W1-2 fases. Con este controlador se puede habilitar con una señal de reloj de baja vibración y alta eficiencia [25]. El controlador TB6600, permite ajustar la corriente de salida a las necesidades del motor debido a que posee un optoacoplador óptico de alta velocidad 6N137 desarrollando una alta velocidad sin perder el paso [25].

Tabla 3.1 Especificaciones Técnicas Controlador de Velocidad TB6600 [25].

Característica	Unidades
Fuente de Alimentación	12-25 VDC
Corriente de Salida	0 – 4.5 A
Acoplamiento óptico de alta velocidad	6N137
Protecciones	Contra sobre corriente y cortocircuito. Apagado en caso de falla térmica.
Dimensiones	80 x 50 x 35 mm
Peso	110 g

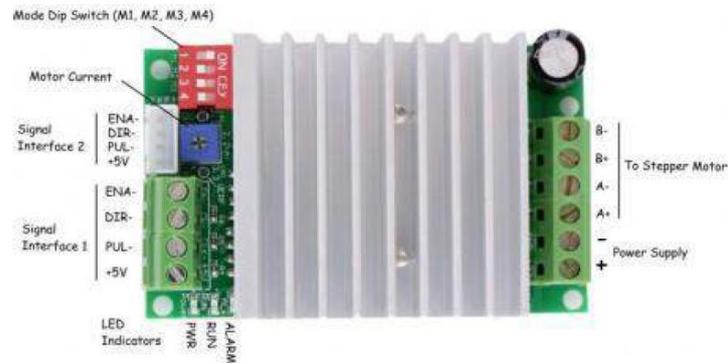


Figura 3.10: Controladores de Velocidad TB6600 [25].

En la parte del tornillo sinfín se controló la elevación y descenso del sensor de temperatura exterior por medio de un control manual, en caso de obstaculizar el muestreo con el crecimiento de la planta de jengibre.

```

CAMARA_V3 Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

CAMARA_V3

delay(1000);

if ( t>27.5 ){
//tomo una muestra de la temperatura cada 90° o en cuatro posiciones diferentes
//posicion 1
for(int i=1; i<=64; i++){
  suma=(pixels[i-1])+suma;
  prom1=suma/64;
}
suma=0;
delay(2000);

//posicion 2
for(int i=1; i<=64; i++){
  suma=(pixels[i-1])+suma;
  prom2=suma/64;
}

```

Figura 3.11: Algoritmo para decisión de temperatura [Fuente propia].

```

CAMARA_V3 Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

CAMARA_V3

for(int i=0; i<=3; i++){
  if ((sum[i]) > maximo){
    maximo=(sum[i]);
  }
}
Serial.println(maximo);

if (maximo == prom1){
  stepper1.setSpeed(400);
  stepper1.runSpeed();
  stepper2.setSpeed(400);
  stepper2.runSpeed();
}

}

```

Figura 3.12: Algoritmo para movimiento de los motores de paso [Fuente propia].

3.2.2 Control de humedad.

Para el diseño del control de humedad se utilizó el software de Arduino y el procesador de Arduino uno, con sensores de humedad. En la planta de jengibre se midió la humedad la cual debe estar en 90%, si no es así se energizará una bomba para la irrigación de las plantas.

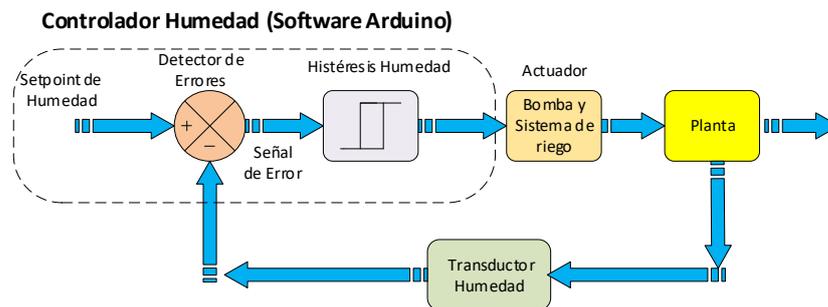


Figura 3.13: Esquema de control de Humedad del prototipo [Fuente propia].

3.3 Diseño de irrigación del cultivo.

Para el diseño de irrigación de las plantas se realizó mediante una bomba de succión que recoge agua de la bandeja ubicada en la parte inferior, y mediante un sistema de mangueras se alimentará de agua a todas las plantas del prototipo. Las mangueras soportan una presión 0.75 psi y tiene un control manual con una válvula tipo check.



Figura 3.13



Figura 3.14

Figura 3.13: Sistema de irrigación del prototipo [Fuente propia].

Figura 3.14: Bandeja colectora de agua para el sistema de irrigación [Fuente propia].

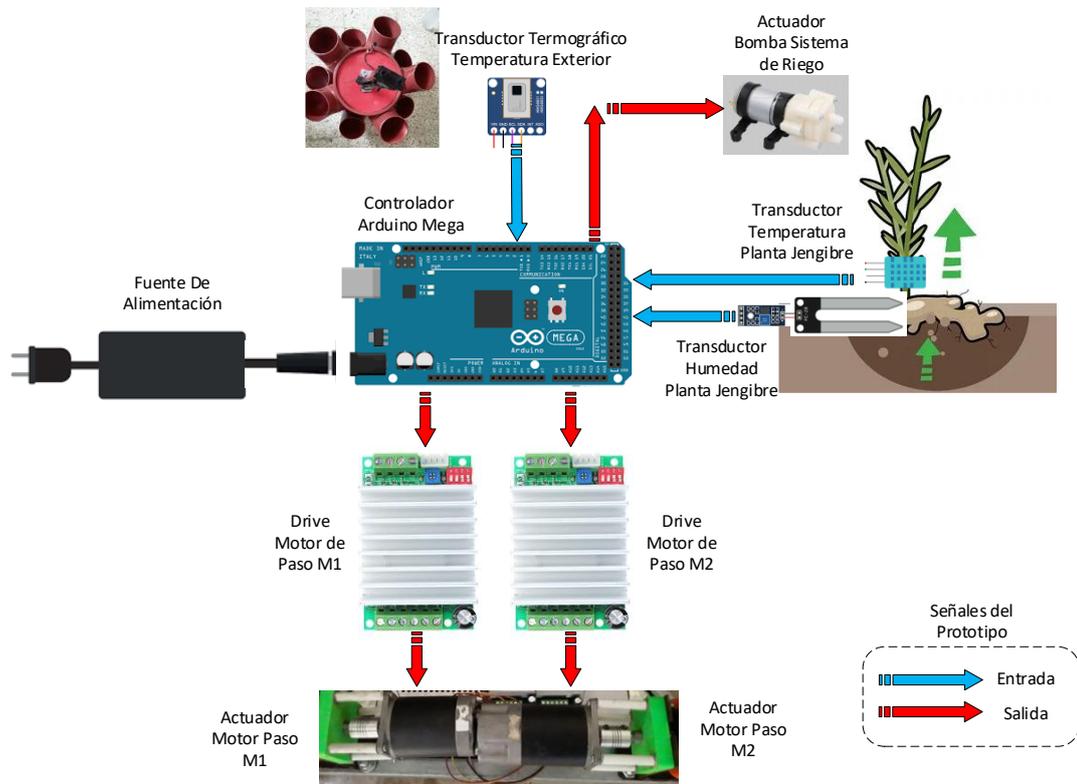


Figura 3.15: Layout del Prototipo Planta de Jengibre [Fuente propia].

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados de la Simulación de los diseños de los controladores.

Mediante pruebas de energización se observó que el torque en el motor no permitía el giro adecuado, se realizó una adaptación a los motores de paso con motores limpiaparabrisas. Esta modificación no afectó el diseño del controlador en el programa y hardware, pero si afectó a los drives para el control de motores.

Tabla 4.1 Especificaciones Técnicas Motores ZD1632/2632 120W [26] .

Característica	Unidades
Fuente de Alimentación	12-24 VDC
Corriente de Salida	4 – 2.5 A
Velocidad Alta /Baja sin carga.	20 RPM \pm 3 - 40 RPM \pm 5
Corriente, Baja/ Alta sin carga.	2.5 A - 1.5 A 4 A - 2.5 A
Temperatura de Operación	-20°C - + 65 °C
Braking Torque	100 Nm min



Figura 4.1: Motor Eléctrico adptado al prototipo [26] .

Tabla 4.2 Especificaciones Técnicas Drives Puente H MOSFET IRF3205 [27].

Característica	Unidades
Voltaje Nominal	3-36 VDC
Corriente Clasificada	10 A
Corriente Pico.	30 A
Motor hacia adelante:	DIR=1 PWM
Inversión Motor:	DIR =0 PWM
Freno de estacionamiento	DIR= X PWM (X estado arbitrario)
Transistor de Potencia	IRF3205



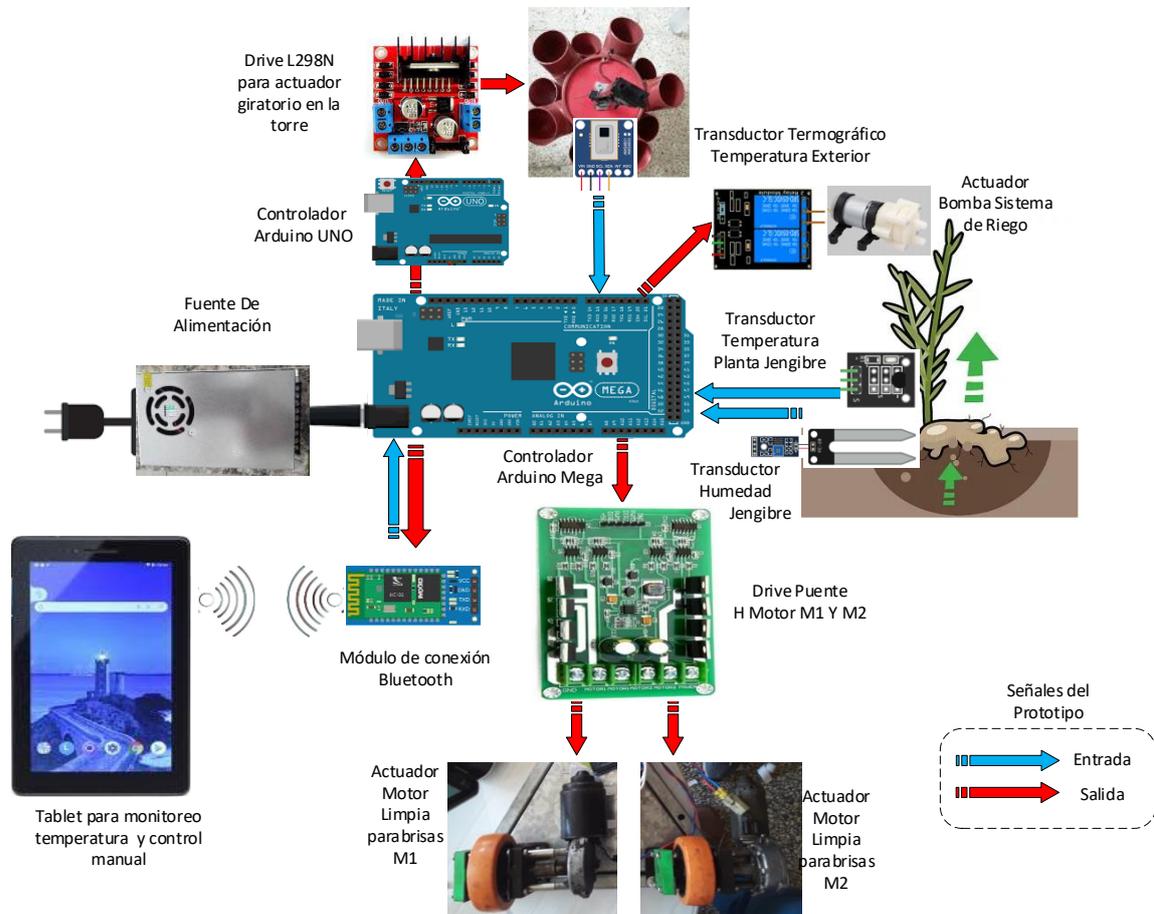
Figura 4.2: Drive Puente H Mosfet IRF3205 [27].

Tabla 4.3 Especificaciones Técnicas Fuente de Alimentación [28].

Característica	Unidades
Entrada Alterna	110/240 VAC
Entrada Directa	12 V/ 20A
Model	5-89



Figura 4.3: Fuente de Alimentación [28].



Layout del Prototipo de Planta de Jengibre

Figura 4.4: Adaptación Prototipo Planta de Jengibre [Fuente propia].

En la figura 4.4 Para el controlador de temperatura T_p (Temperatura de la Planta) es medida y comparada con la medición es de la temperatura T_e (Temperatura exterior del medio ambiente) medida en 4 direcciones, el actuador busca una temperatura adecuada para el jengibre y envía el orden para dirigirse a ese punto aproximado. Las mediciones de temperatura son leídas y mostradas en la Tablet, y también se observa el estado de la bomba de irrigación como resultado del control de humedad. En la Tablet también se tiene un control manual para ajustar con mayor precisión la posición del prototipo, se puede avanzar, retroceder giro a la derecha e izquierda.

4.2 Resultados de la Experimentación.

En las pruebas de movimiento se observó que la adaptación de motores desarrollaba la velocidad para el cambio de posición, establecido por el drive por PWM. Adicionalmente se realizó las observaciones del sensor de temperatura exterior e interior y se registró las mediciones en un Tablet por medio de un transmisor HC06 por comunicación por bluetooth, obteniéndose lecturas confiables del medio ambiente.

En las figuras 4.5 y 4.6 se observó el comportamiento de los drive y motores, en el avance, retroceso y paro controlado por la Tablet, con resultados favorables en el desplazamiento del prototipo.



Figura 4.5



Figura 4.6

Figura 4.5: Desplazamiento inicial posición A del prototipo. [Fuente propia].

Figura 4.6: Desplazamiento final posición B del prototipo. [Fuente propia].

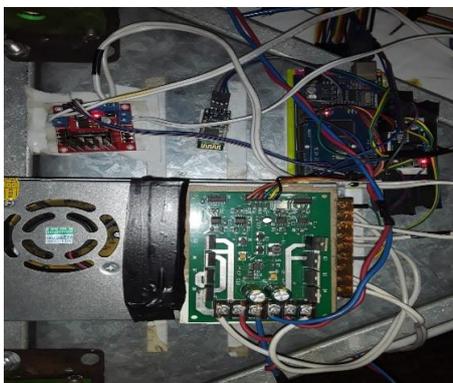


Figura 4.7

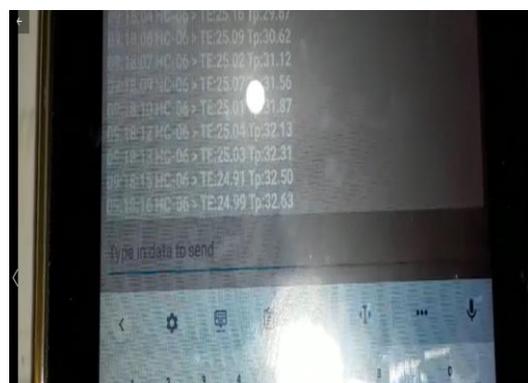


Figura 4.8

Figura 4.7: Módulos integrados con controlador tarjeta Arduino Mega. [Fuente propia].

Figura 4.8: Mediciones registradas en la aplicación de Arduino Bluetooth Control . [29].

En las figuras 4.7 y 4.8 se observó el hardware y software. En el hardware los leds de estado en correcto funcionamiento y las lecturas de los sensores se mostraron sin problemas en la Tablet.



Figura 4.9



Figura 4.10

Figura 4.9: Mediciones Mínimas de Temperatura y Humedad. [Fuente propia].

Figura 4.10: Mediciones Máximas de Temperatura y Humedad [Fuente propia].

En las figuras 4.9 y 4.10 se observó las lecturas de temperatura y humedad termohigrómetro. El propósito de estas mediciones es corroborar las lecturas de temperatura y humedad de los sensores del prototipo, mostradas en la Tablet.



Figura 4.11

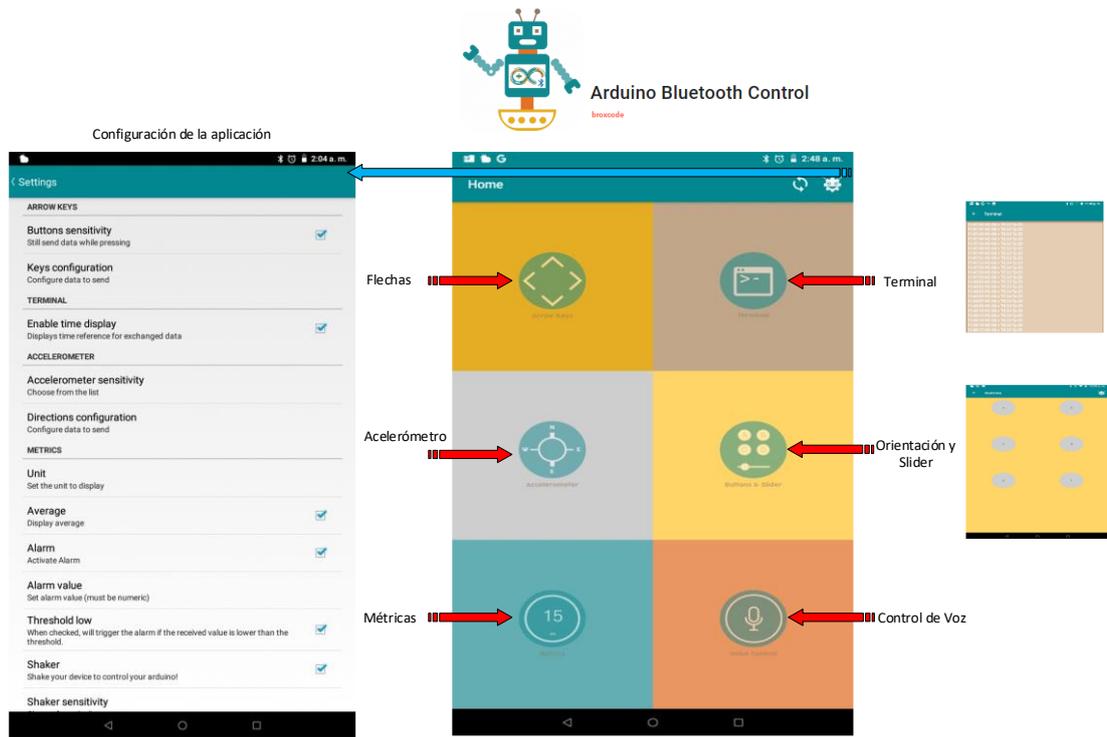
Figura 4.11: Hardware de control y fuente de alimentación. [Fuente propia].



Figura 4.12

Figura 4.12: Planta de Jengibre en el prototipo para su crecimiento y cultivo . [Fuente propia].

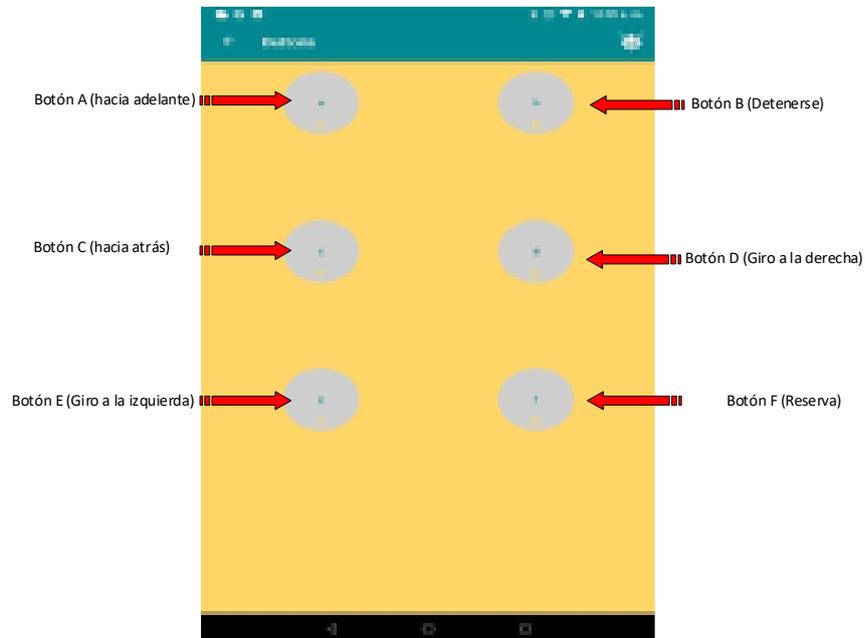
En las figuras 4.11 y 4.12 se observó la integración de todos los módulos y la planta de jengibre insertada en la torre del prototipo, para el respectivo monitoreo de temperatura y humedad.



Layout de la Aplicación Arduino Bluetooth Control

Figura 4.13: Herramienta de la Aplicación para monitorear y controlar la posición del prototipo de jengibre [29].

En la figura 4.13 por medio de la aplicación Arduino Bluetooth Control de uso libre se estableció las configuraciones básicas para monitoreo y control remoto del prototipo. Existen 6 escenarios en la aplicación, flechas, terminal, acelerómetro, orientación, métricas, y control de voz. Para nuestro prototipo sólo usamos 2 escenarios: Terminal (lectura de mediciones y escritura para desplazamiento por comando) y Orientación Slider (Para desplazamiento direccional) [29].



Descripción de la Aplicación para desplazamiento manual para ajustes de posición

Figura 4.14: Herramienta para desplazamiento del prototipo de jengibre [29].

En la figura 4.14 tenemos la herramienta de desplazamiento, donde se configuró los comandos básicos para modo manual, hacia adelante, detenerse, hacia atrás, giro a la derecha, y giro a la izquierda; para ajustar con mayor precisión la posición adecuada del prototipo.

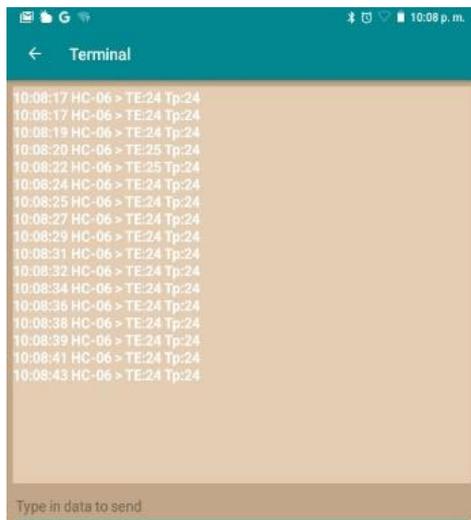


Figura 4.15

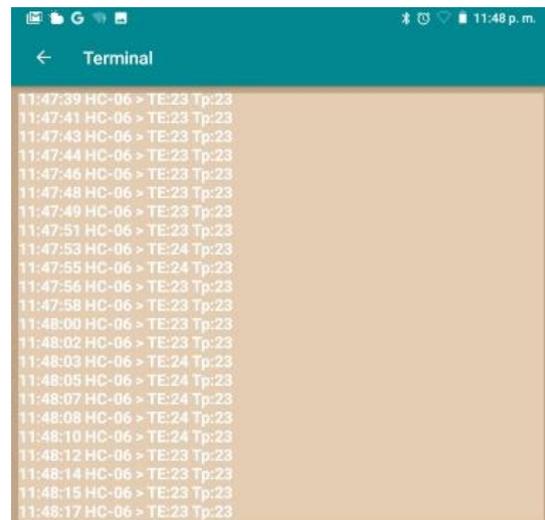


Figura 4.16

Figura 4.15 y 4.16 : Monitoreo de temperaturas exterior y temperatura en la planta de jengibre . [Fuente propia].

En las figuras 4.15 y 4.16, se observó las pantallas en el escenario de Terminal para verificar lecturas de temperatura y humedad, para el respectivo monitoreo de temperatura y humedad enviadas por el hardware del prototipo.

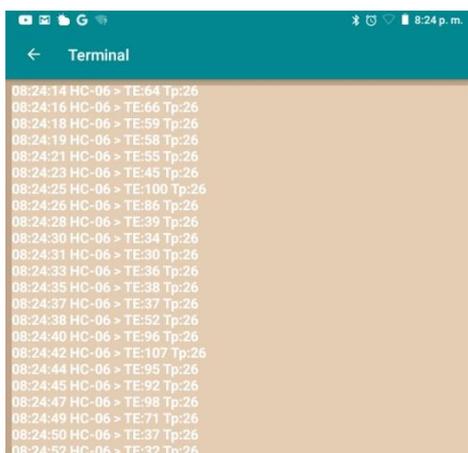


Figura 4.17

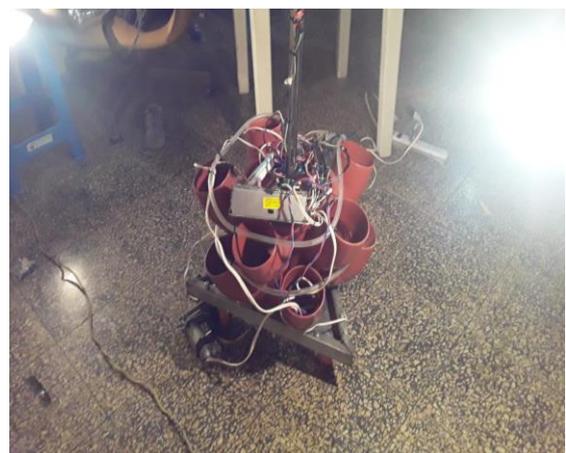


Figura 4.18

Figura 4.17: Simulación1, monitoreo de temperaturas con focos 100W. [Fuente propia].

Figura 4.18: Prototipo con sensor capturando las temperaturas externas. [Fuente propia].

En la figura 4.17, y 4.18 se observó la primera simulación de calor exterior con focos de 100 W incandescentes, para probar la búsqueda de temperatura y cambio de posición del prototipo.

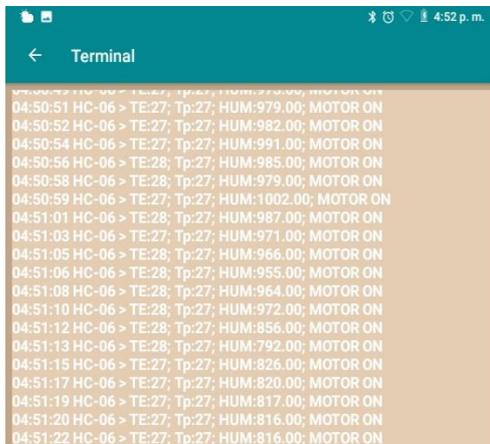


Figura 4.19

Figura 4.19: Simulación 2, monitoreo de temperaturas exterior. [Fuente propia].



Figura 4.20

Figura 4.20: Prototipo con sensor capturando las temperaturas externas. [Fuente propia].

En la figura 4.19, y 4.20 se observó la segunda simulación en el exterior, para probar la búsqueda de temperatura y cambio de posición del prototipo con resultado el prototipo se desplazó hacia adelante donde la temperatura es favorable para el jengibre.

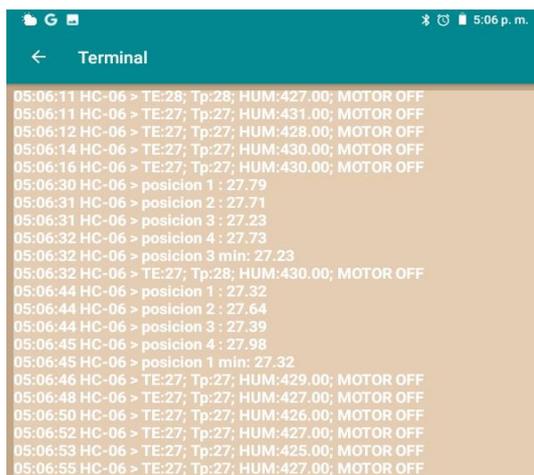


Figura 4.21

Figura 4.21: Monitoreo de temperaturas TE (exterior) ,Tp (planta), HUM(humedad de suelo), y MOTOR OFF(estado de la bomba). [Fuente propia].



Figura 4.22

Figura 4.22: Desplazamiento Prototipo resultado de la búsqueda de la temperatura adecuada para el jengibre. [Fuente propia].

En la figura 4.21, y 4.22 se observó los estados de los sensores temperatura y bomba para irrigación controlado por el sensor de humedad mostrados en la Tablet.

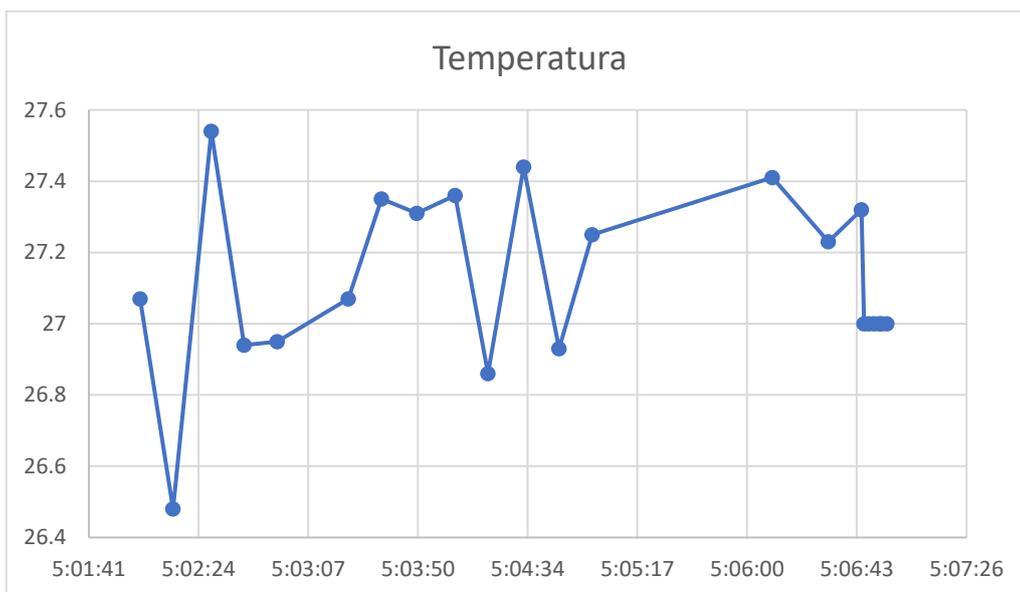


Figura 4.23: Temperatura promedio registrada por la aplicación Arduino Blue Control. [29].

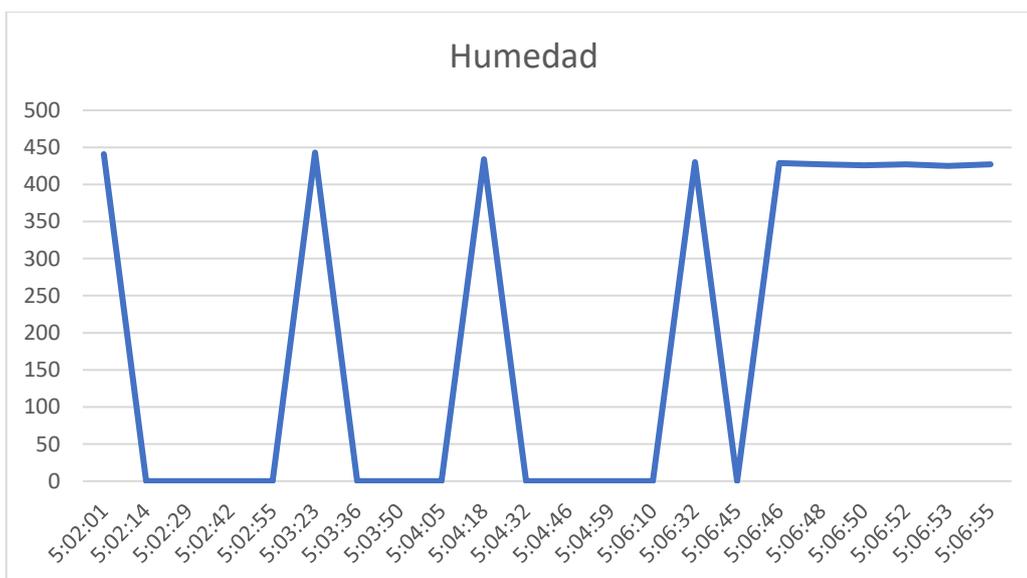


Figura 4.24: Humedad registrada por la aplicación Arduino Blue Control. [29].

En la figura 4.23, se observó el registro de la temperatura aproximándose a la temperatura de control adecuada del jengibre, obtenida desde la aplicación Blue Control.

En la figura 4.24, se observó el registro de la humedad estable para la planta sin la necesidad del encendido de la bomba de irrigación. A partir de la estabilización de la temperatura, se muestran valores de humedad continuos.

4.3 Costos del Proyecto

En base al diseño del proyecto los costos de materiales en la implementación, se detallaron incluyendo la adaptación de los motores para garantizar la movilidad del prototipo de acuerdo a la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Listado de Materiales y costo referencial [Fuente Propia].

Listado de Materiales costo total prototipo			
Descripción	Cantidad	Precio	Total
Tarjeta de arduino Mega	1	15	\$ 15.00
Transductor temperatura termográfico AMG8833	1	40.99	\$ 40.99
Fuente 12VDC/20A	1	12	\$ 12.00
Puente H irf3205	1	38	\$ 38.00
Bomba ZJMZYM	1	8	\$ 8.00
Sensor de temperatura DTH11	1	3	\$ 3.00
Actuador Motor LP Derecha	1	46.6	\$ 46.60
Actuador Motor LP Izquierda	1	46.6	\$ 46.60
Ruedas y chumaceras	2	4.27	\$ 8.54
Acoples mecánicos	1	20	\$ 20.00
Bandeja para recolección de líquidos	1	40	\$ 40.00
Impresión 3d	1	30	\$ 30.00
Motores de Paso	2	20	\$ 40.00
Drive TB6600	2	54	\$ 108.00
Estructura de polímero	1	50	\$ 50.00
		Total	\$ 506.73

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Para estructurar el diseño del prototipo de las plantas de jengibre, es importante tener los valores adecuados de crecimiento de temperatura y humedad. Adicionalmente es necesario identificar las relaciones de las temperaturas de entrada y salida con el sol, para conseguir un controlador óptimo. Mediante de Identificación de sistemas se consiguió obtener un modelo aproximado tipo caja negra, para el diseño de controladores sin embargo el controlador de temperatura y humedad esperados no lograron controlar las variables, por consiguiente, se estableció controladores encendido y apagado.

Se realizó el diseño de los controladores de temperatura y humedad, en base a los datos conseguidos en los repositorios del comportamiento de crecimiento del jengibre con plataforma Arduino (Software Arduino 1.8.13 y hardware Arduino Mega. Posteriormente se diseñó el prototipo mecánico estructurado con un polímero pvc para el desarrollo del cultivo y crecimiento del jengibre, con un sistema electromecánico de posición tipo puente H, de búsqueda de la temperatura para el ciclo evolutivo del jengibre. Para el diseño del controlador de humedad mediante sensores de humedad y sistema de irrigación, se registró la humedad para la planta.

Se observó en las pruebas de marcha que el motor no tiene el torque adecuado para desplazarse en base a la comparación de temperaturas, temperatura de la planta con la temperatura exterior. Por lo tanto, se desarrolló una adaptación con motores de limpiaparabrisas permitiendo el cambio de posición adecuado del prototipo.

Los controladores diseñados Encendido y Apagado para temperatura y humedad lograron el control de la temperatura de la planta. Mediante comparaciones de temperatura interna con temperatura externa por medio de mediciones de temperatura con cámara térmica, se ajustó la temperatura óptima de desarrollo.

Para la humedad se controló con el sensor y actuador, para la irrigación de la planta, con algoritmos en la plataforma Arduino.

Recomendaciones

Para optimizar el prototipo se sugiere desarrollar o incorporar más estudios en las fases de cultivo, desarrollo, crecimiento, cosecha del producto terminado, para lo cual se tendría que diseñar un monitoreo constante en paralelo con el prototipo para establecer nuevos modelos con el fin de conseguir mejores controladores para el prototipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Flores et al., “Estudio Farmocognóstico y Fitoquímico del Rizoma de Zingiber DE Zingiber officinale Roscoe ‘JENGIBRE’ de la ciudad de Chanchamayo -Región Junín-Perú,” 2007.
- [2] C. Beatriz and L. Pincay, “La importancia de la producción de jengibre y su transformación en producto terminado,” pp. 1–23, 2019, [Online]. Available: <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/01/produccion-jengibre.htm>.
- [3] S. Guanoluisa Jami and P. Hidalgo Araujo, “Efecto antimicrobiano del extracto, aceite esencial de jengibre (zingiber officinale) sobre cepas de enterococcus faecalis: Estudio in vitro,” *Odontol. (Habana)*, vol. 19, no. 1, pp. 89–97, 2017.
- [4] B. S. Kim, “Administration of 6-gingerol greatly enhances the number of tumor-infiltrating lymphocytes in tumors,” *Proc. - 2012 7th Int. Forum Strateg. Technol. IFOST 2012*, vol. 6, pp. 3–8, 2012, doi: 10.1109/IFOST.2012.6357824.
- [5] T. Rathinavel, M. Palanisamy, S. Palanisamy, A. Subramanian, and S. Thangaswamy, “Phytochemical 6-Gingerol – A promising Drug of choice for COVID-19,” vol. 6, no. 4, pp. 1482–1489, 2020.
- [6] Y. F. Pratama, E. Ariyanto, and S. A. Karimah, “Prototype of automation of organic fertilizer manufacturing systems based on internet of things,” *2019 7th Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICoICT.2019.8835299.
- [7] N. C. Diana Castro, L. F. Eduardo Chamorro, and C. M. Andrés Viteri, “Una red de sensores inalámbricos para la automatización y control del riego localizado A wireless sensor network for drip irrigation control and automation,” *Rev. Cienc. Agr*, vol. 33, no. 331, pp. 106–116, 2016, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.57>.
- [8] S. E. E. Profile, “Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura , humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en CORHUILA Design of a control and automation system for temperature , ground humidity and rela,” no. September, pp. 2–8, 2017.
- [9] Z. F. D. E. Tapia Espinoza Luis Miguel, *Diseño y construcción de un prototipo para control de humedad y humedad de un vivero de árboles bosáis*. 2012.
- [10] S. N. S. Al-Humairi, P. Manimaran, M. I. Abdullah, and J. Daud, “A Smart Automated Greenhouse: Soil Moisture, Temperature Monitoring and Automatic Water Supply System (Peaty, Loam and Silty),” *2019 IEEE Conf. Sustain. Util. Dev. Eng. Technol. CSUDET 2019*, pp. 111–115, 2019, doi: 10.1109/CSUDET47057.2019.9214661.
- [11] A. I. P. Espinoza, “Sistema Electromecánico de Agricultura Domiciliaria Inteligente,” 2021, pp. 1–3, [Online]. Available: https://registro.propiedadintelectual.gob.ec/solicitudes/media/files/patent_forms/6917/pdf_patentfrm_6917.pdf?1615474887.
- [12] T. Mathworks, “System Identification Toolbox™ User ’ s Guide R 2016 a How to Contact MathWorks,” 2016.

- [13] L. Ljung, *System Identification Theory for the user*, Second. Sweden, 1999.
- [14] K. J. Keesman, *System Identification, An Introduction*, Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. 2011.
- [15] P. por: I. E. J. W. Blaschke, "Diseño de Controladores en Configuración Cascada y Anticipativo Aplicados al Proceso de Obtención de Jarabe de Azúcar en Industria Confitera," p. 133, 2016.
- [16] M. S. M. Ali et al., *Modeling, Design, and Simulation of Systems with Uncertainties*, vol. 3. 2017.
- [17] T. Fikre and A. Kifle, "Ginger (*Zingiber officinale* Rossec.) production, postharvest handling, processing and marketing: a comprehensive extension package manual," Ethiop. Hawassa., no. June, 2013, doi: 10.13140/RG.2.1.2274.9283.
- [18] Datasheet, "Digital-output relative humidity & temperature sensor / module – DHT11 Specification : Front view Side view." pp. 1–3, 2014.
- [19] A. Datasheet, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer," System, vol. 92. pp. 1–22, 2008.
- [20] Panasonic, "Infrared Array Sensor Grid-EYE (AMG88)," 2016, [Online]. Available: <https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf/ADI8000/ADI8000C33.pdf>.
- [21] M. ST, "Bomba Magnética de 8 a 12 VDC." 2021, [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32998067312.html?spm=a219c.12057483.0.0.4328113e69KuD3>.
- [22] D. M. Considine and Glenn D. Considine, *Standard Handbook of Industrial Automation*, First. London, 1986.
- [23] Anthony J. Bianculli, "Stepper Motors," *Mechatronics*, 1970, doi: 10.1201/b12787-14.
- [24] É. Hermida, "Capítulo 9: Polímeros," *Colección Mater. y Mater. primas.*, p. 70, 2011.
- [25] MOT01052, "Step Motor Driver 4,5A - TB6600." pp. 1–4, [Online]. Available: <https://www.botnroll.com/en/controllers/2972-step-motor-driver-4-5a-tb660.html>.
- [26] "Wiper motor windshields." Henan,China, [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/made-in-China-wholesale-72v-150W_60425417975.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.1f40a27eUVhleG.
- [27] IRF3205, "PUENTE H," [Online]. Available: <https://www.cailaik.com/placa-de-moacutedulo-de-controlador-de-motor-de-cc-dual-moacutedulo-pwm-de-control-de-velocidad-de-puente-h-cc-336-v-10-a-pico-30-a-mosfet-irf3205-placa-de-control-de-respuesta-raacutepida-para-arduino-robot-sm-p-123163.htm>.
- [28] "POWER SUPPLY," pp. 3–5, [Online]. Available: <https://shopee.ph/20a-12v-20a-Power-Supply-Central-Adapter-20a-12v-Power-Supply-Central-12v-20a-Fan-Net-i.345944103.4166223525>.
- [29] "Arduino Bluetooth Control." pp. 2–4, 2021, [Online]. Available: <https://www.facebook.com/arduinoblueetoothcontrol/>.

APÉNDICES

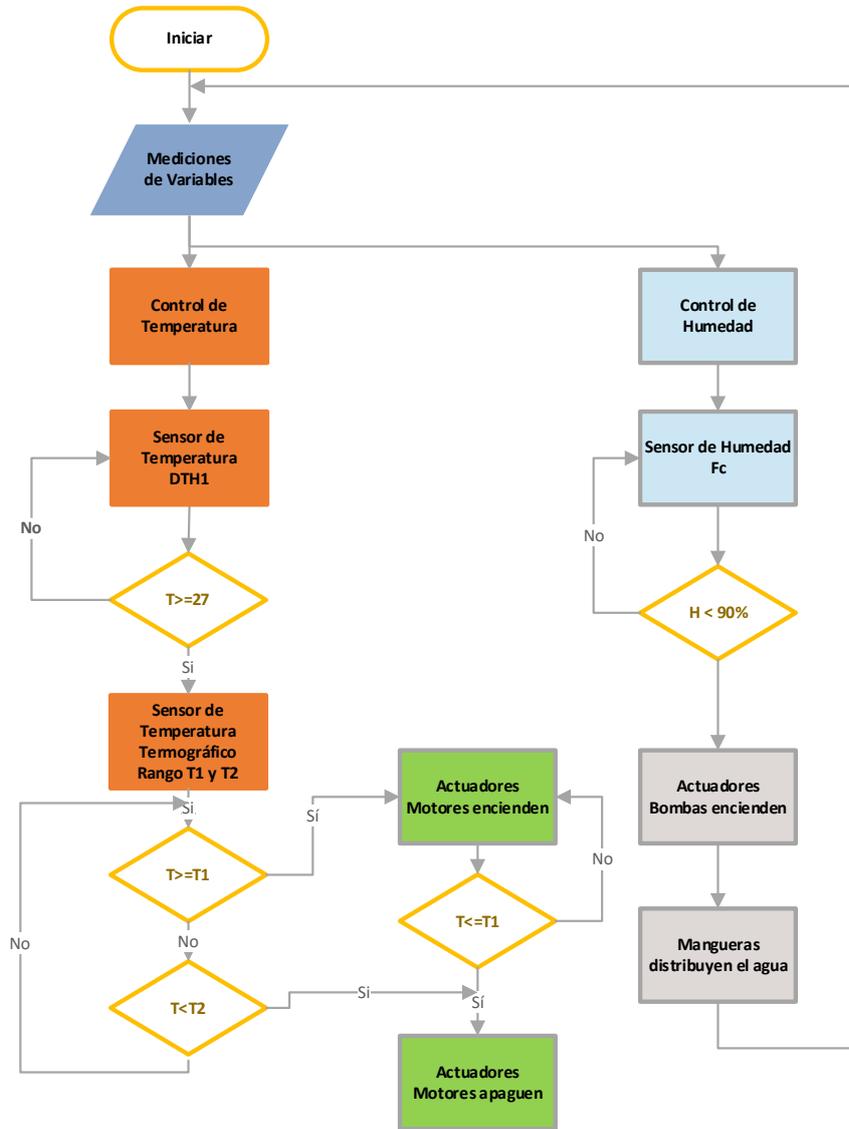
APÉNDICE A

Tabla A1.1 Muestreo de Datos [Fuente propia]

No	Tiempo (s)	Entrada Temperatura Ambiente (°C)	Salida Temperatura de la planta en sombra (°C)	Salida Temperatura de la planta expuesta en el sol (°C)	Salida Humedad del Ambiente (%H)	Salida Humedad del terreno (%H)
1	13.53	29	28	31	95	90
2	14.23	30.9	27.5	28	95	90
3	14.57	32.7	26.5	27.3	95	90
4	15.29	30	25.2	32	95	90
5	16	31	27	26	95	90
6	16.3	31	24	26	95	90
7	17	30.9	26	29.5	95	90
8	11.15	27.2	27	27.8	95	90
9	11.45	27.4	27.1	27.9	95	90
10	12.15	27.9	27.2	28	95	90
11	12.45	28.6	27.7	29	95	90
12	13.15	28.7	28	29.7	95	90
13	13.53	29	28	29.7	95	90
14	14.23	30.9	27.5	31.2	95	90
15	14.57	31	26.5	28	95	90
16	15.29	30	25.2	29	95	90
17	16	31	27	32	95	90
18	16.3	31	24	26	95	90
19	17	30.9	26	29.5	95	90
20	11.45	29.2	26	35	95	90
21	12.15	30.5	27.8	36	95	90
22	12.45	29.5	27.5	36.5	95	90
23	13.15	29.6	27.4	35	95	90
24	13.45	31.5	29.2	37	95	90
25	14.15	32	28.4	37	95	90
26	14.45	31	28.3	36	95	90
27	15.15	31.6	29	39	95	90
28	15.45	33.7	30.8	40	95	90
29	16.15	33.8	31.6	36.1	95	90
30	16.45	32	30.9	36.4	95	90
31	17.15	34.6	31.8	37	95	90
32	17.45	29	28.1	30.6	95	90
33	11.30	28.6	26.3	25	95	90
34	12.00	26.3	25.3	36	95	90
35	12.3	28.1	25.8	32.2	95	90
36	13	28	26	29.1	95	90
37	13.3	26.4	25.5	29.8	95	90
38	14	27.5	26.3	33	95	90
39	14.3	27.2	26	31	95	90
40	15	27.6	25.8	29	95	90
41	17.3	28.2	27.3	28.6	95	90
42	11.45	29.2	26	38.5	95	90
43	12.15	30.5	27.8	37.5	95	90
44	12.45	29.5	27.5	38.5	95	90
45	13.15	29.6	27.5	41	95	90
46	13.45	31.5	29.2	40	95	90
47	14.15	32	28.4	36	95	90
48	14.45	29.8	28	39.5	95	90
49	15.15	31.6	29	40	95	90
50	15.45	33.7	30.6	35	95	90
51	16.15	33.8	31	36.3	95	90
52	16.45	32	30.9	37	95	90
53	17.15	35	31.8	30.5	95	90
54	17.45	27	28.1	25.8	95	90
55	11.06	23.6	22.6	21.9	95	90
56	11.45	24.9	23.5	24.3	95	90
57	12.15	24.2	23	24.1	95	90
58	12.45	23.4	22	22	95	90
59	13.15	24	21.5	23	95	90
60	13.45	23	21.5	24.5	95	90
61	14.15	25.5	22	25.5	95	90
62	14.45	25.5	23.5	25.5	95	90
63	15.15	25.5	24.5	26.4	95	90
64	15.45	23.4	22.15	26.3	95	90
65	16.15	26	24.5	23.5	95	90
66	16.45	24.5	23.2	24.2	95	90
67	17.3	24.8	23	25.8	95	90
68	11.06	22.6	22.6	21.7	95	90
69	11.45	23.4	23.5	22.9	95	90
70	12.15	24	23	25.6	95	90
71	12.45	23.4	22	25	95	90
72	13.15	24	21.9	25.5	95	90
73	13.45	23	21.9	26	95	90
74	14.15	25.5	22	25.5	95	90
75	14.45	25.5	23.5	25.5	95	90
76	15.15	25.5	24.5	25.5	95	90
77	15.45	25.3	25	26.4	95	90
78	16.15	26	24.5	26.3	95	90
79	16.45	24.5	23.2	23.5	95	90
80	17.3	24.8	23	24.2	95	90

APÉNDICE B

Diagrama de Flujo del Sistema [Fuente propia]



APÉNDICE C

Programa de control encendido y apagado del prototipo [Fuente propia]

Programa Principal

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BT(12,13); // RX | TX
SoftwareSerial BT2(15,14); // RX | TX
char myChar;
int Ti;
float ti;
int dam=0;
int tt=0;
int TE;
int Tp;
float humedad;

// sensor infrarojo de temperatura
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_AMG88xx.h>
#include <avr/wdt.h>

// sensor de humedad aire
#include <DHT.h>
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
int pin=8;
DHT dht(pin, DHTTYPE);

//inicializacion de variables
unsigned long lastmillis = 0;
float t=0;
```

```
int col;
int row;
int aLow;
int aHigh;
int intPoint;
float HDTemp[16][16];
float interpox[16];
float val[64];
float sum[4];
float suma;
float prom1;
float prom2;
float prom3;
float prom4;
float maximo;
float minimo;
float isd=0;
Adafruit_AMG88xx ThermalSensor;
float pixels[AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE];

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 9;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

void setup() {
  TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000010 ;
```

```
pinMode(4, OUTPUT);
BT.begin(9600);
BT2.begin(9600);
Serial.begin(9600);
Serial.println("HOLA");
// Iniciamos el bus 1-Wire
sensorDS18B20.begin();

// inicializamos el sensor de temperatura
Serial.println(F("AMG88xx pixels"));
bool status;
// default settings
status = ThermalSensor.begin();
if (!status) {
    Serial.println("Could not find a valid AMG88xx sensor, check wiring!");
    while (1);
}
Serial.println("-- Pixels Test --");
Serial.println();
delay(100); // let sensor boot up

//delay(5000);
//Serial.println("ESPOL");
//delay(5000);
//Serial.println("PROTOTIPO :)");
//delay(5000);
//Serial.println("JENGIBRE");

}

void loop() {
```

```
//leemos la matriz de temperatura
    suma=0;
    ThermalSensor.readPixels(pixels);
    //Serial.print("[");
    //for(int i=1; i<=64; i++){
    // Serial.print(pixels[i-1]);
    // Serial.print(", ");
    // if( i%8 == 0 ) Serial.println();
    //}
    //Serial.println("]");
    //Serial.println();

//leemos los valores de humedad y temperatura del aire
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
//Serial.print("Humidity: ");
//Serial.print(h);
//Serial.print(" %\t");
//Serial.print("Temperature: ");
//Serial.print(t);
//Serial.println(" *C ");

sensorDS18B20.requestTemperatures();

// Leemos y mostramos los datos de los sensores DS18B20
Serial.print("Temperatura sensor planta: ");
Tp=sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
Serial.println(" C");

delay(1000);
```

```
for(int i=1; i<=64; i++){
    suma=(pixels[i-1])+suma;
    TE=suma/64;
}
Serial.print("Temperatura exterior planta: ");
Serial.print(TE);
Serial.println(" C");
humedad = analogRead(A0);
Serial.println(humedad);
```

```
while(BT.available())
{
    myChar= BT.read();
    Serial.print(myChar);
    dam=1;
}
if (dam==1){
    Serial.println("");
    dam=0;
}
```

```
if (myChar=='a'){
    analogWrite(5,200);
    digitalWrite(4,LOW);
    analogWrite(6,138);
    digitalWrite(7,HIGH);
    //Serial.println("ON");
}
```

```
if (myChar=='b'){
analogWrite(5,0);
digitalWrite(4,LOW);
analogWrite(6,0);
digitalWrite(7,HIGH);
//Serial.println("OFF");
}
if (myChar=='c'){
analogWrite(5,200);
digitalWrite(4,HIGH);
analogWrite(6,138);
digitalWrite(7,LOW);
//Serial.println("OFF");
}
if (myChar=='d'){
analogWrite(5,200);
digitalWrite(4,HIGH);
analogWrite(6,0);
digitalWrite(7,LOW);
delay(2000);
analogWrite(5,0);
digitalWrite(4,LOW);
analogWrite(6,0);
digitalWrite(7,HIGH);
//Serial.println("OFF");
}
if (myChar=='e'){
analogWrite(5,0);
digitalWrite(4,HIGH);
analogWrite(6,138);
digitalWrite(7,LOW);
delay(2000);
```

```
analogWrite(5,0);
digitalWrite(4,LOW);
analogWrite(6,0);
digitalWrite(7,HIGH);
//Serial.println("OFF");
}

if (Tp>27.5){

    muestreo();

}

tt=tt+1;
//Serial.println(tt);
if (tt==5)
{BT.print("TE:");
  BT.print(TE);
  BT.print("; Tp:");
  BT.print(Tp);
  BT.print("; HUM:");
  BT.print(humedad);
  if(humedad < 500){
    BT.println("; MOTOR OFF");
  }
  if(humedad > 500){
    BT.println("; MOTOR ON");
  }
  tt=0;}

delay(100);
}
```

```
void muestreo()
{

    //if (Ti=10){
    //posicion 1
    Serial.print("Muestra 1");
    suma=0;
    ThermalSensor.readPixels(pixels);
    for(int i=1; i<=64; i++){
        suma=(pixels[i-1])+suma;
        prom1=suma/64;
    }
    suma=0;
    //BT2.println('a');
    delay(25000);

    //}

    //if (Ti=20){
    //posicion 2
    BT2.println('b');
    Serial.print("Muestra 2");
    suma=0;
    ThermalSensor.readPixels(pixels);
    for(int i=1; i<=64; i++){
        suma=(pixels[i-1])+suma;
        prom2=suma/64;
    }
}
```

```
suma=0;
delay(25000);

//}

//if (Ti=30){
//posicion 3
BT2.println('c');
suma=0;
ThermalSensor.readPixels(pixels);
Serial.print("Muestra 3");
for(int i=1; i<=64; i++){
    suma=(pixels[i-1])+suma;
    prom3=suma/64;
}
suma=0;
delay(25000);
//}

//if (Ti=40){
//posicion 4
BT2.println('d');
suma=0;
ThermalSensor.readPixels(pixels);
Serial.print("Muestra 4");
for(int i=1; i<=64; i++){
    suma=(pixels[i-1])+suma;
    prom4=suma/64;
}
delay(25000);
//}
```

```
//guardo el promedio de las muestras en un vector
sum[0]=prom1;
sum[1]=prom2;
sum[2]=prom3;
sum[3]=prom4;

BT.print("posicion 1 : ");
BT.println(prom1);

BT.print("posicion 2 : ");
BT.println(prom2);
BT.print("posicion 3 : ");
BT.println(prom3);
BT.print("posicion 4 : ");
BT.println(prom4);

//muestro los valores del vector promedio
Serial.print("[");
for(int i=1; i<=4; i++){
    Serial.print(sum[i-1]);
    Serial.print(", ");
}
Serial.println("]");

// comparo cual es el valor mayor y analizo en que posicion esta ubicado
maximo=sum[0];
for(int i=0; i<=3; i++){
    if ((sum[i]) > maximo){
        maximo=(sum[i]);
    }
}
Serial.println(maximo);
```

```
// comparo cual es el valor mayor y analizo en que posicion esta ubicado
minimo=sum[0];
for(int i=0; i<=3; i++){
  if ((sum[i] < minimo){
    minimo=(sum[i]);
  }
}
Serial.println(minimo);

if(minimo==prom1){
  BT.print("posicion 1 min: ");
  BT.println(minimo);
  analogWrite(5,200);
  digitalWrite(4,LOW);
  analogWrite(6,138);
  digitalWrite(7,HIGH);
  delay(10000);
  analogWrite(5,0);
  digitalWrite(4,LOW);
  analogWrite(6,0);
  digitalWrite(7,HIGH);
}

if(minimo==prom2){
  BT.print("posicion 2 min: ");
  BT.println(minimo);
}

if(minimo==prom3){
  BT.print("posicion 3 min: ");
  BT.println(minimo);
}
```

```

    }

    if(minimo==prom4){
    BT.print("posicion 4 min: ");
    BT.println(minimo);
    }
}

```

Programa para el puente H

```

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT(12,13); // RX | TX
char myChar;
int dam;
#include <Stepper.h>
#define STEPS 50
Stepper stepper(STEPS,6,7,8,9);
const int sensorPin = A1;
float humedad;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    BT.begin(9600);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("HOLA");
    stepper.setSpeed(25);
    pinMode(5,OUTPUT);
}

void loop() {

    humedad = analogRead(A0);
    Serial.println(humedad);
}

```

```
BT.print("Hum");
BT.println('\n');
BT.println(humedad);

if(humedad < 500){
  digitalWrite(5,HIGH);
}
if(humedad > 500){
  digitalWrite(5,LOW);
}
delay(100);

//while(BT.available())
// {
  myChar= BT.read();
  Serial.println
  (myChar);
  dam=1;
//}
//if (dam==1){
//Serial.println("");
//dam=0;
//}

if (myChar=='a'){
  Serial.println("POSICION 1");
  stepper.step(12);
  delay(10);
  //stepper.step(0);
}
if (myChar=='b'){
  Serial.println("POSICION 2");
```

```
stepper.step(12);
delay(10);
}
if (myChar=='c'){
  Serial.println("POSICION 3");
  stepper.step(12);
  delay(10);
  //stepper.step(0);
}
if (myChar=='d'){
  Serial.println("POSICION 4");
  stepper.step(12);
  delay(1000);
  stepper.step(-36);
  delay(10);
}
myChar="";
delay(50);

}
```