



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

**“DISEÑO DE UN SISTEMA IOT DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
DE MICROCLIMAS MEDIANTE LÓGICA DIFUSA APLICADO A
UN LOTE DE VERMICOMPOST DENTRO DE LA ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

DIEGO ARMANDO PULLA MARIN

Riobamba – Ecuador

2024



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

**“DISEÑO DE UN SISTEMA IOT DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
DE MICROCLIMAS MEDIANTE LÓGICA DIFUSA APLICADO A
UN LOTE DE VERMICOMPOST DENTRO DE LA ESPOCH”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: DIEGO ARMANDO PULLA MARIN

DIRECTOR: ING. RAMIRO FERNANDO ISA JARA, PHD

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, **Diego Armando Pulla Marin**

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

Yo, Diego Armando Pulla Marin, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 17 de mayo de 2024



Diego Armando Pulla Marin

0706751690

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UN SISTEMA IoT DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE MICROCLIMAS MEDIANTE LÓGICA DIFUSA APLICADO A UN LOTE DE VERMICOMPOST DENTRO DE LA ESPOCH”**, realizado por el señor: **DIEGO ARMANDO PULLA MARIN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el Tribunal Autoriza a su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-17
Ing. Ramiro Fernando Isa Jara DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-17
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-17

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi padre, Luis Pulla M, por sus enseñanzas, a no doblegarme ante las dificultades que se han presentado, a mi madre, Maria Marin P. por su apoyo infinito e incondicional, por no abandonarme en este largo camino, a mi hermana Nancy Pulla, por su apoyo, sus consejos que han logrado que cumpla con mis metas, y mis hermanos Alex Pulla y Luis Pulla, con quienes empecé este largo camino y gracias a sus enseñanzas puedo culminar, a mis sobrinos Benjamin, Samuel, Alejandro y Mathias, a mi sobrina Valentina, el presente trabajo de grado es para todos ustedes quienes siempre han estado conmigo.

Diego P.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, a mis padres, Maria y Luis que me acompañaron en cada paso brindándome su apoyo, mis hermanos Nancy, Luis y Alex, que han sido parte fundamental en esta etapa, aquellos amigos que se han dado el tiempo de explicarme ciertos temas dentro de la carrera, a mi tutor de Tesis Ingeniero Ramiro Isa, por el apoyo en el presente trabajo de titulación y a cada uno de los docentes que han sabido despertar el interés por la carrera, aquellos que apoyan más a la persona que al estudiante, muchas gracias a todas aquellas personas que me han brindado su apoyo.

Diego P.

ÍNDICE DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	2
1.2.1. <i>Justificación teórica</i>	2
1.2.2. <i>Justificación aplicada</i>	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Microclimas	7
2.2. Invernaderos.....	8
2.2.1. <i>Invernaderos inteligentes</i>	9
2.3. Vermicultura	9
2.3.1. <i>Lombricompostaje</i>	10
2.3.1.1. <i>Características del Lombricultivo</i>	11
2.3.2. <i>Lotes de vermicompost dentro de la ESPOCH</i>	12
2.4. Lógica Difusa (LD).....	13
2.4.1. <i>Partes del controlador difuso</i>	13
2.4.2. <i>Tipo de lógica difusa</i>	14
2.5. Variables de medición.....	15
2.6. Comunicación	16

2.7.	Interfaz Humano Maquina.....	16
2.7.1.	<i>HMI en entorno web</i>	17
2.8.	Internet de las cosas (IoT)	18
2.8.1.	<i>Elementos de IoT.....</i>	19
2.9.	Tipos de software para el desarrollo del proyecto	19
2.9.1.	<i>MATLAB</i>	20
2.9.1.1.	<i>Fuzzy Logic Designer</i>	20
2.9.2.	<i>Python.....</i>	20
2.9.3.	<i>KiCad</i>	20
2.9.4.	<i>Proteus</i>	21
2.9.5.	<i>Tabla comparativa entre MATLAB y Python</i>	21
2.9.6.	<i>Tabla comparativa entre KiCad y Proteus.....</i>	22
2.10.	Elementos de hardware	22
2.10.1.	<i>Sensores</i>	22
2.10.2.	<i>Sensor de Temperatura</i>	24
2.10.3.	<i>Sensor de Humedad</i>	24
2.10.4.	<i>Sensor de PH.....</i>	25
2.11.	Actuadores	27
2.11.1.	<i>Actuadores electromecánicos.....</i>	27
2.11.1.1.	<i>Relés</i>	27
2.11.1.2.	<i>Motores.....</i>	28
2.11.1.3.	<i>Electroválvulas</i>	28
2.11.2.	<i>Actuadores electrotérmicos</i>	29
2.11.2.1.	<i>Cédulas Peltier</i>	29
2.11.2.2.	<i>Calefactores</i>	30
2.12.	Tarjetas de desarrollo.....	30

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1.	Requerimientos para el sistema de microclimas	33
3.2.	Consolidación general del sistema de microclimas	34
3.3.	Zona de implementación.....	34
3.3.1.	<i>Instalación del invernadero</i>	36
3.3.2.	<i>Instalación de cajones para Lombricompostaje.....</i>	38
3.3.3.	<i>Instalación eléctrica dentro de invernadero.....</i>	39

3.4.	Etapas del sistema	40
3.4.1.	<i>Etapa de alimentación.....</i>	40
3.4.2.	<i>Etapa de adquisición de señales</i>	41
3.4.3.	<i>Etapa de actuadores</i>	41
3.4.4.	<i>Etapa de comunicación.....</i>	42
3.5.	Elementos de hardware del dispositivo	43
3.5.1.	<i>Sensor de temperatura AM2302</i>	43
3.5.2.	<i>Sensor humedad del suelo HD-38</i>	44
3.5.3.	<i>Sensor de PH de suelo RS485.....</i>	44
3.5.4.	<i>Módulo MAX485 conversor RS485 a serial TTL.....</i>	45
3.5.5.	<i>Módulo conversor de voltaje DC-DC step-up 2.5ª XL6009.....</i>	46
3.5.6.	<i>Módulo de adquisición de datos.....</i>	46
3.5.7.	<i>Router QPcom QP WR 347N.....</i>	47
3.5.8.	<i>Salidas.....</i>	48
3.5.8.1.	<i>Módulo de relé de 6 canales con regulador de 5V</i>	48
3.5.8.2.	<i>Electroválvula.....</i>	49
3.5.8.3.	<i>Ventilador de 2 modos</i>	49
3.5.9.	<i>Materiales complementarios</i>	50
3.6.	Elementos de Software del dispositivo	51
3.6.1.	<i>Fuzzy Logic.....</i>	51
3.6.2.	<i>Arduino IDE.....</i>	52
3.6.3.	<i>ThingSpeak.....</i>	54
3.6.4.	<i>Firebase Realtime Database</i>	55
3.7.	Diagrama de conexión del sistema.....	55
3.8.	Diagrama de Bloques del dispositivo.....	56
3.9.	Desarrollo sistema de control difuso	58
3.9.1.	<i>Temperatura</i>	58
3.9.2.	<i>Humedad</i>	60
3.9.3.	<i>Reglas.....</i>	61
3.10.	Desarrollo sistema IoT.....	62
3.11.	Desarrollo entorno Web	64
3.12.	Creación placa PCB	64
3.12.1.	<i>Diseño esquemático.....</i>	65
3.12.2.	<i>Diseño de la placa</i>	65

CAPITULO IV

4.1.	Consideraciones generales.....	68
4.2.	Validación de sensores	68
4.2.1.	<i>Validación de sensor DHT22</i>	68
4.2.2.	<i>Validación sensor pH</i>	71
4.2.3.	<i>Validación sensor de humedad del suelo</i>	73
4.3.	Validación del prototipo	75
4.3.1.	<i>Validación del control de ventilación</i>	75
4.4.	Gráficas obtenidas del prototipo instalado	78
4.4.1.	<i>Validación sistema de riego</i>	79
4.5.	Validación sistema IoT	82
4.6.	Validación de sistema difuso	82
4.7.	Costos de proyecto.....	84

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1.	CONCLUSIONES.....	86
5.2.	RECOMENDACIONES.....	87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Ventajas y desventajas de los invernaderos.....	8
Tabla 2-2:	Tabla de ventajas y desventajas del Lombricompostaje.....	11
Tabla 2-3:	Tabla de los tipos de inferencia difusa.....	15
Tabla 2-4:	Tabla de características de las variables de medición.....	15
Tabla 2-5:	Características de comunicación inalámbrica WIFI.....	16
Tabla 2-6:	Características de las distintas aplicaciones IoT.....	19
Tabla 2-7:	Tabla comparativa software.....	21
Tabla 2-8:	Tabla comparativa software para la placa PCB.....	22
Tabla 2-9:	Características de los sensores por principio físico.....	23
Tabla 2-10:	Características principales del sensor de temperatura y Humedad.....	25
Tabla 2-11:	Características principales del sensor pH.....	26
Tabla 2-12:	Características de distintas tarjetas de desarrollo.....	32
Tabla 3-1:	Características de sensor AM2302.....	43
Tabla 3-2:	Características de sensor de humedad de suelo HD-38.....	44
Tabla 3-3:	Características sensor pH RS485.....	45
Tabla 3-4:	Características modulo MAX485.....	45
Tabla 3-5:	Características modulo convertidor de voltaje.....	46
Tabla 3-6:	Características de tarjeta de desarrollo ESP32-WROOM.....	47
Tabla 3-7:	Características de router QPcom.....	48
Tabla 3-8:	Características de regleta de relés.....	48
Tabla 3-9:	Características electroválvula media pulgada.....	49
Tabla 3-10:	Características ventilador/calefactor.....	50
Tabla 3-11:	Materiales usados en la instalación de sistema IoT.....	50
Tabla 3-12:	Características de los distintos equipos para adquisición de datos.....	56
Tabla 3-13:	Elementos para la instalación del tablero de control.....	66
Tabla 4-1:	Tabla error relativo sensor DHT22.....	69
Tabla 4-2:	Tabla error relativo sensor pH.....	71
Tabla 4-3:	Error relativo sensor de humedad.....	74
Tabla 4-4:	Validación sistema de climatización.....	76
Tabla 4-5:	Validación sistema de climatización por semana.....	77
Tabla 4-6:	Tabla de valores de humedad del suelo.....	80
Tabla 4-7:	Validación sistema de riego por semana.....	81

Tabla 4-8:	Funcionamiento de la lógica difusa de acuerdo con los valores de setpoint de (humedad y temperatura)	83
Tabla 4-9:	Tabla de costos de proyecto	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Generación de microclima mediante invernadero tipo túnel	7
Ilustración 2-2:	Invernadero de lombricultura.....	8
Ilustración 2-3:	Invernadero inteligente	9
Ilustración 2-4:	Instalación de vermicompost de flujo para interiores	10
Ilustración 2-5:	Lotes de vermicompost dentro de la ESPOCH.....	12
Ilustración 2-6:	Diagrama de bloques de un controlador difuso	14
Ilustración 2-7:	HMI para la supervisión en la agricultura.....	17
Ilustración 2-8:	Diagrama de monitoreo remoto de las condiciones de un invernadero	18
Ilustración 2-9:	Conexión IoT	18
Ilustración 2-10:	Sensor de temperatura AM2301	24
Ilustración 2-11:	Sensor de humedad del suelo	24
Ilustración 2-12:	Sensor de pH.....	25
Ilustración 2-13:	Sensor de humedad del suelo.....	28
Ilustración 2-14:	Motor de ventilador	28
Ilustración 2-15:	Electroválvula media pulgada.....	29
Ilustración 2-16:	Efecto Peltier.....	29
Ilustración 2-17:	Ventilador doble uso	30
Ilustración 2-18:	Tarjeta de desarrollo ESP32.....	30
Ilustración 3-1:	Diagrama conexión sistema IoT mediante lógica difusa	34
Ilustración 3-2:	Ubicación de los terrenos de Especies menores, en este lugar se implementará el dispositivo	35
Ilustración 3-3:	Terreno a implementar sistema IoT mediante lógica difusa	36
Ilustración 3-4:	Instalación estructural tipo semi-túnel para invernadero	37
Ilustración 3-5:	Instalación cubierta plástica con protección de rayos UV para invernadero	37
Ilustración 3-6:	Instalación puerta con marco de madera.....	38
Ilustración 3-7:	Instalación cajones tipo encofrado para criadero de lombrices	39
Ilustración 3-8:	Instalación puntos de carga y puntos de iluminación	39
Ilustración 3-9:	Diagrama etapa de alimentación.....	40
Ilustración 3-10:	Diagrama etapa de censado.....	41
Ilustración 3-11:	Diagrama etapa de actuadores	42
Ilustración 3-12:	Diagrama etapa de actuadores	43
Ilustración 3-13:	Funciones de membresía usada en el sistema.	52
Ilustración 3-14:	Funciones de lógica difusa implementado en Arduino IDE.	53

Ilustración 3-15:	Diagrama de flujo para lógica difusa.....	53
Ilustración 3-16:	Interfaz Web creada mediante ThingSpeak.....	54
Ilustración 3-17:	Creación de base de datos en Firebase.....	55
Ilustración 3-18:	Diagrama conexión prototipo IoT.....	55
Ilustración 3-19:	Diagrama de bloques del sistema una manera más detallada	57
Ilustración 3-20:	Diagrama de bloques del sistema las partes que conforman el sistema.....	57
Ilustración 3-21:	Salidas y entradas del sistema difuso.....	58
Ilustración 3-22:	Indicadores de temperatura del sistema difuso	59
Ilustración 3-23:	Indicadores Setpoint temperatura.	59
Ilustración 3-24:	Indicadores Setpoint humedad.....	60
Ilustración 3-25:	Indicadores porcentaje humedad.....	60
Ilustración 3-26:	Reglas insertadas en sistema difuso.....	61
Ilustración 3-27:	Zona de las distintas reglas.	62
Ilustración 3-28:	Configuración red inalámbrica de internet	62
Ilustración 3-29:	Red creada para sistema IoT.....	63
Ilustración 3-30:	Programación para conexión IoT.....	63
Ilustración 3-31:	Verificación para conexión internet.....	64
Ilustración 3-32:	Configuración de canal de visualización	64
Ilustración 3-33:	Esquemático de sistema IoT.	65
Ilustración 3-34:	Diseño placa doble cara PCB.....	66
Ilustración 4-1:	Toma de muestras y validación del sensor	69
Ilustración 4-2:	Diagrama de caja de sensor DHT22	70
Ilustración 4-3:	Toma de muestras y validación del sensor.....	70
Ilustración 4-4:	Toma de muestras y validación del sensor.....	71
Ilustración 4-5:	Diagrama de caja del sensor LXBS-3001 vs OAKTON ecotestr pH	72
Ilustración 4-6:	Resultados obtenidos al aplicar una prueba F de Fisher	73
Ilustración 4-7:	Medidor humedad del suelo.....	73
Ilustración 4-8:	Diagrama de caja de sensor de humedad del suelo vs OAKATON.....	75
Ilustración 4-9:	Resultados obtenidos al aplicar prueba F de Fisher.....	75
Ilustración 4-10:	Diagrama de caja de la temperatura ambiente vs temperatura invernadero..	77
Ilustración 4-11:	Resultados obtenidos al aplicar prueba F de Fisher.....	77
Ilustración 4-12:	Grafica muestras de temperatura.	78
Ilustración 4-13:	Grafica muestras humedad del suelo.	79
Ilustración 4-14:	Grafica muestras de sensor de PH.	79
Ilustración 4-15:	Diagrama de caja de humedad del sistema vs la humedad cada 2 días.....	81
Ilustración 4-16:	Resultados obtenidos al aplicar una prueba F de Fisher.	81

Ilustración 4-17: Visualización datos tiempo real.....	82
Ilustración 4-18: Reglas sistema difuso.....	83
Ilustración 4-19: Indicador de pantalla con relés activos	84

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CÓDIGOS DE TARJETA DE DESARROLLO PROGRAMADA EN EL IDE DE ARDUINO
- ANEXO B:** HOJAS TÉCNICAS DE LOS DISTINTOS COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN
- ANEXO C:** DIMENSIONES DE LAS CAJAS DE LOMBRICES, DISEÑADAS EN SOLIDWORKS
- ANEXO D:** ENTREGA DE INVERNADERO INTELIGENTE PARA PROYECTO DE VINCULACIÓN A LAS AUTORIDADES DE CIENCIAS PECUARIAS

RESUMEN

Dentro de la ESPOCH se apreció la ausencia de un sistema inteligente y automatizado para la supervisión y control de microclimas. Identificado esto se planteó como el objetivo principal implementar un sistema IoT para supervisión y control de microclimas aplicando la lógica difusa en lotes de vermicompost, controlando las variables de temperatura ambiente, humedad de suelo y pH de suelo. El control difuso es una de las técnicas más eficaces para este sistema, ya que permite trabajar con variables no lineales, con la finalidad de mejorar la calidad y los tiempos de producción. Los parámetros que se toman en cuenta son: temperatura, humedad y pH, mediante estos parámetros se creó un sistema de ventilación y calefacción para la creación del clima artificial dentro de un invernadero, adicionalmente un sistema de riego automático para así mantener los lotes en un óptimo estado, siendo estos datos enviados a un página web, en la actualidad en Ecuador el vermicompost es una práctica que se genera de forma manual, donde existe un déficit en tiempo y calidad, lo cual ocasiona pérdida de materia prima y por ende perdidas en costos de producción, por la falta de información sobre dichas variables. La metodología aplicada fue la investigativa con la cual se optó por implementar un sistema FuzzyLogic. Los resultados demostraron que el sistema es eficiente con una confiabilidad del 95%. El dispositivo de IoT de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa, será de gran aporte al ámbito de investigación acerca del vermicompost dentro de la institución mejorando los tiempos de producción, mediante la supervisión y control en un navegador web.

Palabras clave: <SISTEMA IOT> <CONTROL DE MICROCLIMAS> <LOGICA DIFUSA> <AUTOMATIZACIÓN> <VERMICOMPOST> <FUZZYLOGIC(SOFTWARE)>.

0644-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

Within ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), the absence of an intelligent and automated system for microclimate monitoring and control was noted. The main objective was implementing a IoT system for monitoring and controlling microclimates by applying fuzzy logic in vermicompost batches, controlling variables such as ambient temperature, soil humidity, and soil pH. Fuzzy control is one of the most effective techniques for this system as it allows working with nonlinear variables, aiming to improve the quality and production times. The parameters taken into account are temperature, humidity, and pH; using these parameters, a ventilation and heating system was created to establish an artificial climate inside a greenhouse additionally, an automatic irrigation system was implemented to maintain the batches in optimal condition, with this data being sent to a webpage, Currently, in Ecuador, vermicomposting is a practice that is done manually, where there is a deficit in both time and quality management, leading to loss of raw materials and consequently increased production costs due to insufficient information regarding these variables. The investigative methodology applied led to the decision to implement a Fuzzy Logic system. The results demonstrated that the system is efficient, with a reliability of 95%. The IoT device for monitoring and controlling microclimates using fuzzy logic will significantly contribute to research on vermicompost within the institution, improving production times through web-based supervision.

Keywords: <IOT SYSTEM> < MICROCLIMATE CONTROL> <FUZZY LOGIC>
<AUTOMATION> <VERMICOMPOST> <FUZZYLOGIC (SOFTWARE)>.

0644-DBRA-UPT-2024



Lenin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el campo de la agricultura se vienen dando avances tecnológicos, tanto a nivel empresarial como industrial, donde es común ver sistemas automatizados para mejorar los procesos. El control de dichos procesos ayuda a mejorar los tiempos de producción y la calidad del producto.

El vermicompost es de vital importancia, puesto que, es la técnica principal para producir abono orgánico, para garantizar la calidad de cualquier producto ya sea frutas, verduras, etcétera; Mediante esta técnica se puede obtener 3 tipos de productos como son: Lombricomposta, Lixiviado y Lombrices.

La lombricomposta y el lixiviado son los mejores fertilizantes; Estos se producen a través de las lombrices las cuales de manera natural consumen los desechos orgánicos, dando como fruto el fertilizante tanto sólido como líquido.

Por tanto, es necesario contar con un sistema de control basado en tecnologías emergentes como la lógica difusa, ya que con esta técnica de control se puede controlar las variables de tipo no lineal, con un rango y de error aceptable, acelerando su proceso en ambientes controlables y así evitar pérdidas de materia prima y producción.

Vamos a detallar la construcción del dispositivo en cuatro capítulos divididos en diagnóstico del problema, marco teórico, marco metodológico; y análisis y resultados donde iremos detallado paso a paso los distintos requerimientos que necesitaremos para la construcción además de la bibliografía que revisaremos para sustentar los conocimientos utilizados para la implementación.

El capítulo I encierra los conceptos de diagnóstico del problema, los cuales son: planteamiento del problema, justificación tanto teórica como práctica, y cada uno de los objetivos establecidos. El capítulo II mediante fuentes bibliográficas, revisaremos la información conceptual requerida además de proyectos similares que nos ayuden en la construcción del dispositivo.

El capítulo III especifica las partes del dispositivo tanto en hardware y software además de materiales extras que necesitaremos como lo son el eléctrico y estructural.

EL capítulo IV analiza los resultados obtenidos y los compara con otros equipos calculando la cantidad de error que se vaya a producir, ahora bien, los datos obtenidos se los coloca en tablas de Excel explicando su resultado.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo se analiza cada una de las etapas del diagnóstico del problema, tales como: planteamiento del problema, la justificación teórica, así como aplicativa, finalizando con los objetivos que se establecieron para llevar a cabo la implementación del proyecto.

1.1. Planteamiento del problema

¿Se puede diseñar un sistema IoT de supervisión y control de microclima mediante lógica difusa aplicado a un lote de vermicompost para la ESPOCH?

1.2. Justificación

En este apartado se presenta la justificación teórica, así como aplicativa que se necesita para la creación del sistema IoT para supervisar y controlar el microclima mediante lógica difusa. Se explica cada uno de los aspectos con respecto a agricultura y tecnología para solucionar los distintos problemas por los cuales estos sistemas no son implementados.

1.2.1. Justificación teórica

Dentro del mundo de los fertilizantes podemos encontrar muchas variedades tanto en orgánicos como inorgánicos, se los define como sustancias que se emplean para complementar la nutrición del suelo a fin de fortificar además de asegurar el buen desarrollo de una planta. Tiene distintas aplicaciones, desde la jardinería y huertas, hasta pequeñas y grandes producciones agrícolas (Pirotta, 2021).

Como anteriormente mencionamos los fertilizantes pueden ser de dos tipos: orgánicos o de origen mineral, en el primer caso, se trata de compuestos de origen animal o vegetal, en cambio en el segundo caso, son compuestos de origen mineral elaborados por las industrias químicas mediante explotaciones de yacimientos naturales. En el informe de la BCR (Bolsa de Comercio de Rosario) en base de la IFA (Asociación Internacional de los Fertilizantes), se señala que el consumo global anual de fertilizantes es de 185 millones de toneladas, de los mismos, un 60 % son fertilizantes nitrogenados, un 20 % fosforados y un 20 % potásicos. Siendo de los principales exportadores Rusia, Canadá y China. Sus ventas al exterior son alrededor de 100 millones de toneladas anuales.

Los fertilizantes más vendidos por Rusia son los nitrogenados, por Canadá los potásicos y por China también los potásicos además de los nitrogenados (Pirota, 2021).

Por la parte de fertilizantes orgánicos hallamos al vermicompostaje el cual es una técnica que permite disminuir la cantidad de materia orgánica que se generan por medio de las lombrices convirtiéndola en un recurso de valor, el producto final es: homogéneo y de tamaño pequeño denominado vermicompost, compost de lombriz o humus de lombriz, con la ayuda de las lombrices se puede a eliminar los residuos urbanos (orgánicos) y desechos agroindustriales a nivel mundial, convirtiéndolo en un 100% de fertilizante orgánico (Villegas-Cornelio & Laines Canepa, 2017).

Mediante el proceso realizado por las lombrices denominado vermicompostaje, se pueden transformar una variedad de residuos sólidos orgánicos, por ejemplo, el humus de lombriz es un producto con grandes posibilidades de comercialización en todo el mundo, estos residuos son estabilizados de manera eficiente por las lombrices de tierra para generar un producto con gran valor nutritivo para las plantas de cultivo o recuperación de suelos, En la actualidad, la lombricultura constituye una rama muy importante dentro de la ciencia biotecnológica que utiliza una lombriz domesticada como una herramienta de trabajo dentro de ciertas condiciones de medio ambiente adecuadas para su desarrollo, bajo estos parámetros la lombriz recicla la materia orgánica y obtiene como resultado tres productos; humus, carne de lombriz, harina de lombriz (Villegas-Cornelio & Laines Canepa, 2017).

En la actualidad la comunidad científica está en la búsqueda de tecnologías que sean “económicamente viable” (más barato y al alcance de todas las naciones), “ambientalmente sostenible” (amigable con el medio ambiente, la flora, la fauna, el suelo, el aire y el agua, sin ningún efecto sobre ellos) y “socialmente aceptable” (beneficioso para la sociedad sin ningún efecto adverso sobre la salud). En este aspecto, la tecnología de la lombricultura combina estas virtudes y cualidades juntas, además la lombricultura como tecnología está ocasionando una revolución por sus diversas aplicaciones. Las lombrices de tierra como ingenieros del ecosistema juegan un papel como “gestor de residuos”, “gestor de suelo y mejoradores de fertilidad” y “promotor del crecimiento vegetal”(Villegas-Cornelio & Laines Canepa, 2017).

A nivel mundial es una práctica muy extendida, habiendo grandes empresas que se dedican a la producción de humus de lombriz en los cinco continentes. En Australia, Nueva Zelanda, Reino Unido y Estados Unidos se encuentran las explotaciones más grandes del mundo, Todas las industrias que generan lombricompost de calidad superior tienen un factor muy importante, las instalaciones, manejo y control de su crecimiento, en Sudamérica se destacan países como: Chile,

Brasil, Colombia y Argentina son los mayores productores, donde se manejan por políticas de altos estándares de calidad (Ortega, 2021).

Dentro del Ecuador no hay datos exactos del apareamiento de la lombricultura, se conoce que en el año 1986 el investigador Enzo Bollo es el pionero y promotor de la lombricultura en el país, además de otros países latinoamericanos, Este investigador consideró que desarrollar esta actividad representaba un real apoyo e impulso a los sistemas tradicionales que estaban utilizándose en la agricultura, hoy la lombricultura es una actividad que gradualmente se va insertando en la producción agrícola y en la agroindustria dada la innovación, usos de nuevas tecnologías, infraestructura, manejo y control orientadas a la reutilización de los recursos orgánicos que generan los procesos productivos. En la actualidad existen varios criaderos de lombrices, en su mayoría sin las tecnologías actuales, sin embargo, algunos de ellos ya cuentan con el auspicio y asesoramiento de técnicos especializados fundamentalmente de algunos centros de investigación y algunas fundaciones, cuyos resultados son halagadores principalmente en la Provincia de Pichincha (Elizabeth et al., 2005).

En Ecuador, en la escuela superior politécnica del Chimborazo se realizó el diseño y construcción de un sistema automático para controlar el microclima en una cámara de germinación y enraizamiento a cargo del ingeniero Danny S. Tite P. el cual tuvo como objetivo reducir las pérdidas en materia prima, generando las condiciones adecuadas de temperatura, ventilación y humedad, en donde se analizaron fuentes bibliográficas especializadas estableciendo los valores de los parámetros necesarios para la germinación y enraizamiento de distintos tipos de especies.

En la misma institución educativa se encontró el diseño de un sistema de climatización, para invernaderos de cultivo de flores, a través de software, realizado por Barreiro H. Cesar M. y Lema Q. Juan C. con la finalidad de optimizar las condiciones de cultivo de la industria florícola, con la implementación del hardware y de acuerdo con las necesidades del usuario se podrá instalar el software, dependiendo el tipo de flor que se va a producir, podrá tener un control del microclima dentro del invernadero.

Existe un futuro muy alentador para la lombricultura, puesto que, en la actualidad se está dando mayor valor a los productos agrícolas con fertilizantes orgánicos tanto en el mercado nacional como internacional. Su gran rentabilidad que produce el uso de humus de lombriz a los agricultores y floricultores, éste es un renovador de suelos, además da aireación y no permite la compactación de este; se puede seguir realizando los cultivos sin que el suelo sufra desgastes después de mucho tiempo que se lo utilice. En el país, en algunos sectores, ya se controla la

protección al medio ambiente, mencionando el cuidado y protección de los suelos agrícolas a través de reglamentaciones en algunas entidades del sector público, tal es el caso de Petroecuador, Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Turismo, INEFAN, Empresas Eléctricas, empresas de servicio públicos, etc., entidades que por medio de regulaciones tienen la obligación de establecer normas para la conservación de los suelos y evitar la explotación deliberada de recursos naturales que causen impacto negativo en la sociedad (Elizabeth et al., 2005).

Hay empresas como “Lombricultura Pachamama”, en el Ecuador se está desarrollando ambiciosos proyectos para beneficiar al país, particularmente introduciendo nuevas tecnologías como alternativas en ideas de reciclaje a mediana y a gran escala.

En la actualidad existen varios criaderos de lombrices, en su mayoría sin el asesoramiento técnico adecuado, sin embargo, algunos de ellos ya cuentan con el auspicio y asesoramiento de técnicos especializados fundamentalmente de algunos centros de investigación y algunas fundaciones, cuyos resultados son halagadores principalmente en la Provincia de Pichincha. (Suquilanda, 2003).

Con miras al futuro la lombricultura tiene una alentadora perspectiva, puesto que, en la actualidad se está dando mayor importancia a los productos agrícolas de origen orgánico tanto en el mercado nacional como internacional. Se debe resaltar los beneficios del uso de humus de lombriz a los agricultores y floricultores, ya que son innumerables para los suelos de cultivo, éste es un mejorador del suelo, da aireación y no permite la compactación de este; se puede seguir realizando los cultivos sin que el suelo sufra desgastes después de mucho tiempo que se lo utilice (Suquilanda, 2003).

1.2.2. Justificación aplicativa

El sistema IoT de supervisión y control de microclima mediante lógica difusa está compuesto por 3 etapas.

La primera etapa es la lectura de datos, la cual es activada las 24 horas del día, esta etapa parte de los lotes que contienen una cubierta de plástico para aislarlos de las condiciones ambientales naturales, dentro de estos se contara con sensores tanto de temperatura, humedad y pH, los cuales envían la información para la toma de decisiones, manteniendo las óptimas condiciones climáticas con activación de aspersores, calefactor o ventilación.

En la segunda etapa de control y procesamiento de datos, se tiene el tablero principal el cual este compuesto por un botón de inicio y paro, manijas para setear la temperatura y humedad a parte de un display, a partir del controlador donde manejamos una lógica difusa, las cuales van a mantener la temperatura adecuada activando los calefactores o ventiladores, dependiendo el caso, también es el encargado de enviar la orden de riego automático de nuestro lote en caso de humedad baja.

La tercera etapa o sistema IoT, se contará con una base de datos donde el sistema maneja y visualiza datos, sea en una red pública o privada, mediante una aplicación o página web, en esta se podrá tener acceso a la visualización de datos del lote, así como: temperatura, humedad y pH.

1.3. Objetivos

En este apartado se refleja cada uno de los objetivos planteados para la creación del sistema IoT para supervisar y controlar microclimas mediante lógica difusa.

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema IoT de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa aplicado a un lote de vermicompost dentro de la ESPOCH.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar mediante revisiones bibliográficas temas relacionados con las técnicas para automatizar el control de microclimas en lotes de vermicompost.
- Definir los requerimientos de software y hardware que debe cumplir con el sistema IoT de supervisión y control de microclima.
- Determinar el diseño que cumple con los requerimientos propuestos para nuestro sistema IoT de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa.
- Evaluar si el sistema IoT de supervisión y control de microclima cumple con los requerimientos del diseño.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los parámetros adecuados para mejorar las condiciones de vida de las lombrices. Estos parámetros se han definido basados en investigaciones preliminares sobre sistemas IoT de supervisión y control de microclimas, como son: temperatura, humedad y pH.

2.1. Microclimas

Es un clima que se da de forma particular, debido a sus características climáticas específicas, es decir se diferencia del resto del ecosistema circundante. También llamados climas locales, ya que, pueden estar presente de forma natural o generándolo de forma artificial. La forma artificial es creada por el hombre para cubrir una necesidad, como por ejemplo en los invernaderos.

Dentro de la región interandina más puntualmente hablando de la provincia del Chimborazo, encontramos un clima entre 12°C y 14°C en el día y 5°C y 7°C en la noche. (Gtush, 2019),(Reyes, 2013)



Ilustración 2-1: Generación de microclima mediante invernadero tipo túnel

Fuente: (Redacción, 2015)

En la ilustración 2-1 se puede observar un ambiente controlado de manera natural, cubierto de los factores externos, mediante una cubierta de lona, manteniendo su temperatura interna, con ventilación natural.

2.2. Invernaderos

Son estructuras de madera o metal que contienen temperaturas entre 18°C y 24°C, que tienen como principal función aislar la producción para la protección de factores externos, ya sea lluvia, frío, calor o animales que pueden afectar la producción. Este aislamiento puede ser de cubierta plástica translúcida y mallas en las partes laterales. Los principales objetivos de los invernaderos son: la transformación de la energía lumínica en energía calorífica y la circulación de aire para regular el aire caliente y el aire frío. (Gallegos, 2017),



Ilustración 2-2: Invernadero de lombricultura.

Fuente: (ecolombriz, 2019)

En la ilustración 2-2 observa un invernadero tipo túnel, para lombricultura, el cual cuenta con un sistema de riego manual, y cajones de madera para el almacenamiento de lombrices.

En la tabla 2-1, muestra las distintas ventajas y desventajas referente a los invernaderos.

Tabla 2-1: Ventajas y desventajas de los invernaderos.

Ventajas	Desventajas
Intensificación de la producción.	Inversión inicial alta.
Posibilidad de cultivar todo el año.	Desconocimiento de las estructuras más apropiadas para cada región.
Obtención de cosechas fuera de temporada.	Alto nivel de especialización y necesidades de capacitación del personal.
Obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas.	Altos costos de producción.
Obtención de productos de buena calidad	Condiciones para el rápido ataque de plagas y enfermedades.
Menor riesgo de pérdidas de cosecha.	Alta dependencia de las condiciones del mercado.

Fuente: (Gallegos, 2017)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

2.2.1. Invernaderos inteligentes

Nace de la necesidad de contar con sistemas automáticos, ya que, permiten controlar variables climáticas dentro de un perímetro mediante el uso de elementos y equipos tecnológicos. En estos invernaderos se realiza la producción de productos agrícolas, controlando el ambiente deseado del entorno mediante ventiladores, actuadores, calefactores, sistemas de riego, etcétera. (Vaca, 2023)

Los invernaderos inteligentes son sistemas completos que abarcan, sistemas mecánicos, electrónicos, eléctricos y de control, los cuales son implementados en la estructura, para regular las condiciones ideales del microclima. (Vaca, 2023) A continuación, en la ilustración 2-3 se puede observar un invernadero inteligente.

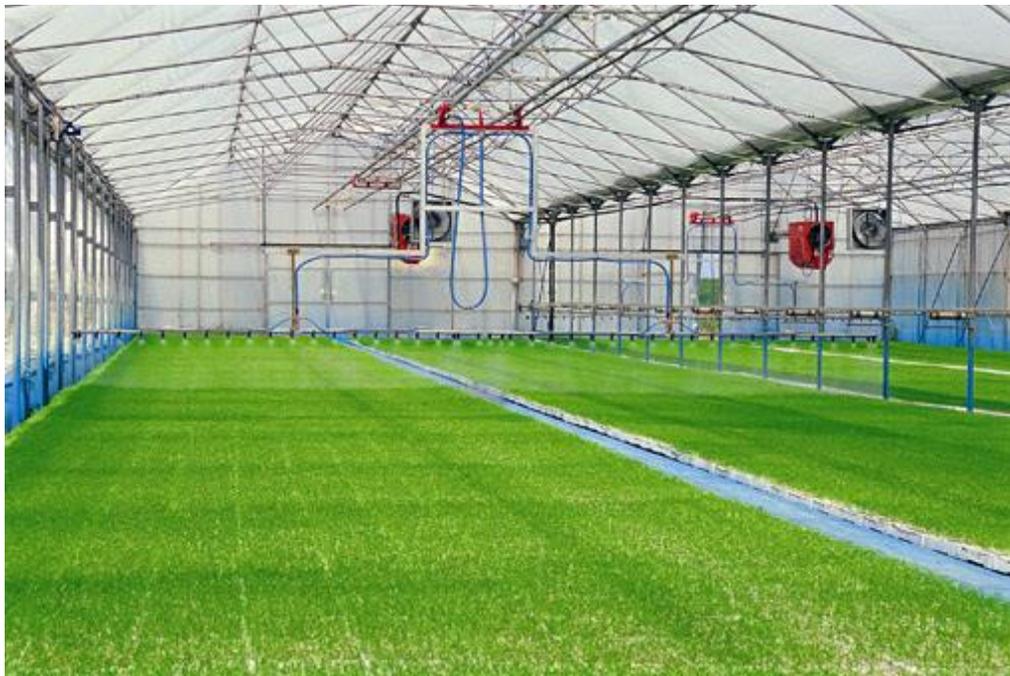


Ilustración 2-3: Invernadero inteligente

Fuente: (Estrella, 2022)

2.3. Vermicultura

Trata sobre las operaciones que se llevan a cabo con la finalidad de criar y aumentar la producción de lombrices que se desarrollan en el suelo, se valora la inversión inicial por menos de \$1,000 dólares y generan entre \$15.000 y \$150.000 dólares cada año.

Para hacer un buen compost hay que tener en cuenta una serie de parámetros como la temperatura, la humedad, la presencia de oxígeno, la naturaleza de los materiales o su tamaño.

Teniendo claros estos elementos el proceso se puede realizar de manera eficiente y en un menor período de tiempo (Villegas-Cornelio & Laines Canepa, 2017).

A continuación, se presenta la instalación de vermicompostaje en cajones de madera como se observa en la ilustración 2-4.



Ilustración 2-4: Instalación de vermicompostaje de flujo para interiores

Fuente: (Grand, 2020)

2.3.1. Lombricompostaje

Se refiere a los procedimientos relacionadas con la crianza de lombrices detritívoras para el tratamiento de residuos orgánicos, en donde se utiliza fundamentalmente la lombriz roja californiana *Eisenia Foetida*, esta lombriz es la mayormente implementada para el lombricompostaje (De et al., 2021).

A continuación, se presenta la Tabla 2-2 con las ventajas y desventajas sobre el Lombricompostaje.

Tabla 2-2: Tabla de ventajas y desventajas del Lombricompostaje

Ventajas	Desventajas
Existe menos mano de obra que el compostaje tradicional.	Necesitará aparte otros fertilizantes: el humus de lombriz no es suficiente fertilizante para otras plantas, especialmente para algunas que requieren macronutrientes.
Las instalaciones además de controles técnicos al proceso son menores que en el compostaje.	No es aplicable para plantas que necesitan ácidos para su nutrición: las plantas ácidas no funcionarían bien en un rango de pH neutro.
Los costos del proceso son bajos en los lombricultivos debido a que no se requiere de maquinaria y mano de obra para llevar a cabo los volteos al material, por razón de que las lombrices se encargan de mover los residuos además de airear la mezcla.	Se necesita tiempo: dentro de algunos moldes se pueden tardar meses antes de que se puedan usar porque, los gusanos no son tan grandes, además les lleva un tiempo producir suficiente.
En el vermicompostaje no se desaprovecha los nutrientes a lo largo de un proceso extenso, como si puede darse con los procesos de compostaje.	
El objetivo final es, un abono de más alta calidad que el compostaje, a causa del sinnúmero de microorganismos benéficos que aporta la lombriz.	
De la lombricultura se obtiene: abono sólido, líquido y pie de cría	

Fuente: (De et al., 2021)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

2.3.1.1. Características del Lombricultivo

Para aumentar el progreso del lombricultivo aprovechando a la lombriz roja californiana es necesario cúmulos de materia orgánica para su ingesta, así como variables de temperatura desde los 19 hasta los 25°C, una humedad del 80%, un pH entre 6,5 y 7,5 y una baja luminosidad. Además, se debe disponer de una cama o un contenedor cubierto de la luz del sol y de la lluvia en donde se colocan las lombrices para su alimentación. También se necesita una combinación de sustratos, entre tierra y material orgánico en proporciones de 3:1. Esto genera los parámetros para un desarrollo óptimo de las lombrices y como resultado final se puede obtener los siguientes productos: (De et al., 2021)

- **Lombricompost:** Es un fertilizante orgánico alto en enzimas y microorganismos beneficiosos. Puede llegar a remplazar hasta el 80% de la fertilización química gracias a la alta dosis de nutrientes que posee, favoreciendo las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. (Somarriba & Guzmán, 2004)
- **Lixiviado:** Son los líquidos que se desaguan de las camas de lombricultura. Su color es oscuro e inoloro. Los nutrientes que posee al estar en estado soluble son de fácil absorción para las plantas, por lo que, se pueden utilizar como fertilizante foliar (Somarriba & Guzmán, 2004)
- **Lombrices:** Se pueden comercializar gracias a su facilidad de reproducción dentro del lombricultivo. Con ellas, se crean insumos para alimentos concentrados, comida para peces, cerdos, aves y harinas para consumo animal (Somarriba & Guzmán, 2004)

2.3.2. *Lotes de vermicompost dentro de la ESPOCH*

La Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (ESPOCH), cuenta con espacios para las prácticas de vermicultura, estos espacios miden 10 m largo x 2.5 m de ancho. Los lotes se encuentran dentro de la Facultad de Ciencias Pecuarias, donde se mantienen lotes de lombricultivo al aire libre con supervisión y vigilancia manual. Estos lotes sirven para las distintas prácticas o casos de estudio, ya que, cuentan con 10 metros de largo y 1.3 metros de ancho, sistema de riego manual, como se muestra en la Ilustración 2-5.



Ilustración 2-5: Lotes de vermicompost dentro de la ESPOCH

Realizado por: (Pulla D., Gavilanes D, 2023)

Estos ambientes están expuestos a condiciones naturales, sin cubierta o sistema de supervisión, por lo cual, la reproducción de la lombriz o del abono es muy difícil o lleva demasiado tiempo obtenerla.

2.4. Lógica Difusa (LD)

Es una técnica de control avanzado basada en conjuntos difusos y reglas lingüísticas dictadas por expertos, emulando la lógica humana. (Parra, Aguirre, & Reyes, 2005)

El concepto de lógica difusa es muy general y está vinculado con la manera en que las personas perciben el medio. Por ejemplo, las ideas establecidas sobre la altura de una persona, velocidad con la que se desplaza un objeto, la temperatura dominante en algún lugar, entre otras. Diariamente se formulan de manera ambigua estos enunciados y depende de los expertos el darles la connotación sobre su efecto físico o químico. (Guerra et al., 2008)

La idea es muy sencilla, se trata de decretar de una manera lógica que se debe hacer para alcanzar los objetivos de control de la mejor forma posible. Se parte de una base de conocimiento proporcionada por un operador humano, ya que, sin esta base no es posible desarrollar una aplicación que funcione de manera correcta (Guerra et al., 2008).

Al utilizar la inteligencia y la destreza de un operador humano para elaborar un controlador que emule su comportamiento, los procesos de producción pueden ser más eficientes. Comparándolo con el control tradicional, el control difuso tiene dos ventajas prácticas, una de ellas es que el modelo matemático del proceso a controlar no es requerido y la otra es que se obtiene un controlador no lineal desarrollado empíricamente sin complicaciones matemáticas. En realidad, los desarrollos matemáticos de este tema todavía están en proceso de experimentación. (Guerra et al., 2008).

La lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos, basados en grados de membresía o funciones de pertenencia para modelar un conjunto de datos de entrada. Los rangos de membresía se encuentran en un intervalo de 0 a 1, que, a diferencia de la lógica convencional, el rango se limita a dos valores concretos, sea este el 0 o 1 lógicos. (Parra, Aguirre, & Reyes, 2005)

2.4.1. Partes del controlador difuso

Un controlador difuso se divide en 3 partes, las cuales son: Fuzzificación, Reglas, Grado de membresía o pertenencia. (Parra, Aguirre, & Reyes, 2005)

- **Fuzzificación:** Es la unión entre las entradas reales y difusas. Todas las entradas requieren ser mapeadas para que puedan ser utilizadas. (Parra, Aguirre, & Reyes, 2005)
- **Reglas:** Son las encargadas de servir de medida para ajustar las acciones para que resulten se correctas. Estas dictan la acción de control a tomar y se derivan en primera instancia de un experto. Estas reglas tienen las estructuras de relaciones. La lógica difusa se basa entonces en relaciones, las cuales se determinan por medio de cálculo de reglas. (Parra, Aguirre, & Reyes, 2005)
- **Defuzzificación:** Toma el valor difuso de las reglas y genera una salida real en el espacio de las variables originales. (Parra, Aguirre, & Reyes, 2005)

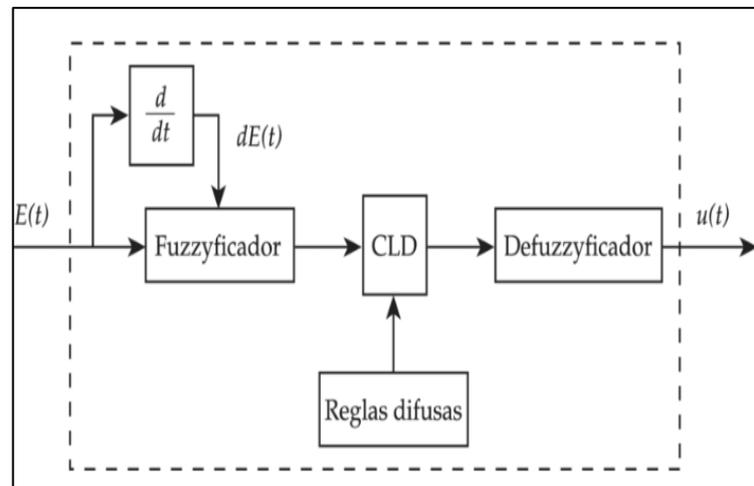


Ilustración 2-6: Diagrama de bloques de un controlador difuso

Fuente: (Castaño, n.d.)

En la ilustración 2-6 se puede observar el diagrama de bloques de un controlador difuso.

2.4.2. Tipo de lógica difusa

Según lo investigado en distintos artículos científicos, existen 2 tipos de inferencia difusa: Mamdani y Takagi Sugeno. (Valdovinos, 2018). En la Tabla 2-3 se indica los tipos de inferencia difusa.

Tabla 2-3: Tabla de los tipos de inferencia difusa.

Tipo	Concepto	Diagrama de bloques
Mamdani	Este utiliza reglas del tipo si-entonces (if-then), donde los antecedentes y el consecuente son proposiciones difusas. (Valdovinos, 2018).	
Takagi Sugeno	Se usa como consecuente no una variable difusa sino una función lineal de las variables de entrada. Dicho tipo se puede representar una clase general de sistemas no lineales estáticos o dinámicos. (Valdovinos, 2018).	

Fuente: (VALDOVINOS, 2018)

Realizado por: (Pulla D., Gavilanes D, 2023)

2.5. Variables de medición

Son los parámetros de mayor importancia, ya que, se presenta cada una de las variables para controlar el microclima en los lotes de vermicompost, siendo estos muy importantes para la calidad de vida de las lombrices (Grand, 2020).

En la Tabla 2-4 se puede observar las principales características a tener presentes en el sistema de microclimas mediante lógica difusa.

Tabla 2-4: Tabla de características de las variables de medición

Variable	Concepto	Rango
Temperatura	Es una de las variables más importantes, puesto que dependiendo de esto la condición de vida de la lombriz es mejor.	(15-30) °C
Humedad	Es uno de los puntos más importantes dentro del ambiente de la lombriz.	(60-80) % humedad
pH	Es necesario un control exhaustivo, debido a que sin control puedo ocasionar la muerte de la lombriz.	6.5 y 7.5

Fuente: (Grand, 2020).

Realizado por: (Pulla D., Gavilanes D, 2023)

Como se puede observar el sistema IoT debe adquirir y controlar cada uno de estos parámetros para la crianza adecuada de la lombriz.

2.6. Comunicación

Es el canal que une la información, esto puede ser de forma física o inalámbrica. La forma física es la que se hace mediante un cable como canal de comunicación, mientras que la manera inalámbrica carece de un canal físico y se transporta mediante ondas electromagnéticas a través del espacio. (De La Ossa De La Espriella & De La Cruz Vega, 2016)

A continuación, en la Tabla 2-5 se puede observar las características importantes de la comunicación inalámbrica por WIFI.

Tabla 2-5: Características de comunicación inalámbrica WIFI

Características	WiFi
Consumo de corriente	La comunicación por WIFI tiene un consumo de 3500 mA
Velocidad	Este tipo de comunicación es una de las más usadas por su velocidad de 54 Mbps
Potencia	Maneja una potencia de 40-200 mW
Frecuencia de radio	Tiene una frecuencia de 2.4 GHz
Rango	Cubre un rango de 30-100 m
Estándar IEEE	Utiliza el estándar 802.11
Infraestructura	Tiene su propia estructura.

Fuente: (Vaca, 2023)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En las redes de comunicaciones la tecnología inalámbrica es la que más se está implementando para comunicaciones donde el internet es de difícil acceso.

2.7. Interfaz Humano Maquina

HMI, por sus siglas en inglés, es una interfaz de usuario que proporciona un medio de comunicación gráfica e interactiva entre los operadores y una máquina, equipo o sistema. Es una conexión entre el operador y la tecnología.

La HMI permite al operador monitorear y controlar los procesos en tiempo real mediante pantallas gráficas, botones, teclados y otros dispositivos de entrada.

Los HMI como se puede observar pueden ser táctiles, pero también los hay del tipo que no son táctiles (Pallás, 2003). A continuación, se presenta la ilustración 2-7 donde se observa el control y supervisión en un HMI



Ilustración 2-7: HMI para la supervisión en la agricultura

Fuente: (Grand, 2020)

2.7.1. HMI en entorno web

Las Aplicaciones Web ofrecen una amplia gama de propiedades y características importantes, convirtiéndolos en valor agregado como producto software.

También tienen la singularidad de que una versión actualizada de la aplicación siempre está disponible sin que el usuario tenga que involucrarse en estas tareas. (Yarlequé Adrianzén, 2021).

Todo esto ha dado lugar a que los sistemas web se consideren un elemento esencial y elemental del intercambio de información en todas las actividades comerciales (Yarlequé Adrianzén, 2021).

Es posible actualizar o renovar las herramientas de trabajo persiguiendo el mismo objetivo de producción, en todo lo referente con la maquinaria que facilite y desarrolle este proceso. Es aquí donde surge la importancia de la automatización en la agricultura (Yarlequé Adrianzén, 2021)

A continuación, en la Ilustración 2-8 se presenta un ejemplo de las aplicaciones actuales de la tecnología IoT en la agricultura.



Ilustración 2-8: Diagrama de monitoreo remoto de las condiciones de un invernadero

Fuente: (Vaca, 2023)

2.8. Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las cosas es la conexión física y lógica de los objetos del mundo físico por medio del Internet. Estos objetos están equipados con sensores, actuadores y además con tecnología para su comunicación. Esta tecnología va orientada a una gran variedad de áreas, tales como la industria, la salud y la energía, que a su vez facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones, buscando mejorar las actuales (Tania & Isabel, 2015).

A un sistema IoT se pueden unir múltiples elementos basados en la conectividad, los procesos y usuarios, así como también sensores o actuadores inteligentes. Como se muestra en la Ilustración 2-9

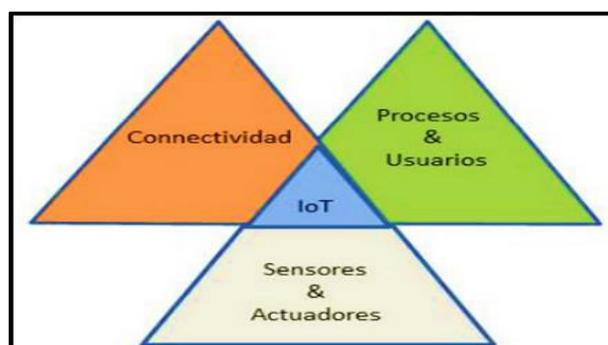


Ilustración 2-9: Conexión IoT

Fuente: (Silvestre & Salazar, 2020, pág. 14).

2.8.1. Elementos de IoT

Hay tres componentes básicos que interactúan: (Tania & Isabel, 2015)

- **Hardware:** como sensores, actuadores, instrumentos que controlan el sistema y un dispositivo de comunicación propio de un objeto.
- **Plataforma de Middleware:** Software que aprueba el intercambio de información. entre aplicaciones y datos.
- **Herramientas:** que permiten una fácil representación e interpretación de los datos. Además, debe estar diseñada para acceder por una variedad de aplicaciones y dispositivos.

A continuación, se presenta la Tabla 2-6 con las distintas características de aplicaciones IoT

Tabla 2-6: Características de las distintas aplicaciones IoT

Concepto	Aplicación	Característica
Ciudades Inteligentes	Mapas de Ruido Urbano	Vigilancia del sonido en zonas de bares y zonas Céntricas
Entorno Inteligente	Contaminación de Aire	Control de las emisiones de CO2 de las fábricas, la contaminación emitida por coches y gases tóxicos generados en granjas.
Agua Inteligente	Calidad de Agua	Estudio de la disponibilidad del agua en ríos y mares para la fauna y la elegibilidad de esta para uso potable
Granja Inteligente	Compost	Control de los niveles de humedad y temperatura en los vegetales, frutas, hortalizas entre otros.
Agricultura Inteligente	Mejora de la calidad del vino.	Vigilancia de la humedad del suelo y diámetro del tronco en las cepas para controlar la cantidad de azúcar en las uvas y la salud de la vid.

Fuente: (Tania & Isabel, 2015)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Como se puede observar, existe una gran envergadura de tecnología IoT que cubre todos los ámbitos sociales y económicos donde podemos destacar la agricultura como principal.

2.9. Tipos de software para el desarrollo del proyecto

En el presente apartado, se presentan los distintos tipos de software que se pueden implementar para el sistema IoT de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa. Durante las

distintas etapas se utilizará herramientas para la programación de la tarjeta de desarrollo, diseño del circuito electrónico, entre otros.

2.9.1. MATLAB

Es un software sofisticado y de gran aceptación para proyectos, sean académicos o industriales. Su programación está basada en el lenguaje Java y permite hacer cálculos matemáticos básicos y complejos. MATLAB por sus siglas Matrix Laboratory o laboratorio de matrices es el idóneo para las operaciones con matrices. Debido a su simplicidad en la sintaxis y estructura de programación se ha vuelto muy común para ingenieros y demás profesionales. (Valdovinos, 2018)

2.9.1.1. Fuzzy Logic Designer

Es una de las herramientas dentro del IDE de Matlab. Sirve para diseñar y probar interactivamente sistemas de inferencia difusa, Definiendo variables de entrada y salida, y funciones de pertenencia. Además, permite el ingreso de las reglas difusas y la evaluación el sistema de inferencia difusa con múltiples combinaciones de entradas. (Mathworks, s.f.)

2.9.2. Python

El lenguaje de programación Python se destaca por ser de fácil interpretación, es decir, permite leer y entender el código de una manera ágil. Utilizado en su mayoría para crear diferentes tipos de aplicaciones, de las cuales destacan: Instagram, Netflix, Spotify y Panda3D. Tiene un lenguaje versátil que puede ser utilizado para diferentes estilos de programación, como la orientada a objetos, imperativa y funcional. Además, usa una licencia de código abierto que es compatible con diferentes sistemas operativos. (Python, 2022)

2.9.3. KiCad

Es un conjunto de herramientas gratuitas y de código abierto aplicado al diseño de circuitos electrónicos. Incluye funciones para capturar esquemas, simular circuitos, diseñar placas de circuito impreso, crear imágenes en 3D y exportar datos a diferentes formatos. Además, cuenta con una amplia biblioteca de componentes de alta calidad. KiCad es compatible con sistemas operativos Linux, Windows y macOS. (KiCad, 2024)

2.9.4. *Proteus*

Es una colección de herramientas de software patentadas que se utilizan para automatizar el diseño electrónico. Además, permite capturar esquemas, simular circuitos y diseñar placas de circuito impreso (PCB). Viene en diferentes configuraciones, dependiendo del tamaño de los diseños y los requisitos de simulación del microcontrolador (Aung et al., 2022).

2.9.5. *Tabla comparativa entre MATLAB y Python*

Se presenta la comparativa en software para la programación de lógica difusa para el sistema, tomando en cuenta las utilidades para dicho programa. 3.

A continuación, se presenta la tabla 2-7 comparativa de los softwares de alto nivel.

Tabla 2-7: Tabla comparativa software.

Software	Características
MATLAB	Lenguaje avanzado para ingeniería Interfaz sencillo de usar visualización de datos y creación de diagramas Múltiples herramientas para distintas funciones de ingeniería (FuzzyLogic)
Python	Lenguaje simple para mejor interacción Software de uso general Menor líneas de código

Fuente: (MATHWORKS, s.f.)

Realizado por: (Pulla D., Gavilanes D, 2023)

La tecnología que podemos destacar y nos servirá para desarrollar el algoritmo de lógica difusa es MATLAB, PYTHON sus aplicaciones son mayormente implementadas en el machine learning.

2.9.6. *Tabla comparativa entre KiCad y Proteus*

Se presenta la comparativa en software para la creación de la placa PCB, en base a los softwares KiCad y Proteus, ya que, son los más usados en el área de la electrónica. A continuación, se presenta la tabla 2-8 comparativa entre dichos softwares con sus características principales.

Tabla 2-8: Tabla comparativa software para la placa PCB

Software	Características
KiCad	* Creación de diagramas esquemáticos profesionales. * Mayor número de bibliotecas e importación de estas. * visualización de PCB en 3D * Software libre.
Proteus	*Elaboración de placas de circuitos electrónicos. *Número limitado de librerías * Software Pagado.

Fuente: (KiCad, 2024)

Realizado por: (Pulla D., Gavilanes D, 2023)

En tecnologías para desarrollo de placas actuales y que tienen un IDE amigable con el usuario es KiCad destacándose por sus amplias librerías y variedad de componentes además de ser gratuito.

2.10. Elementos de hardware

En el presente apartado se toma en cuenta los distintos dispositivos de control, como sensores, actuadores, entre otros, que deberán ser usados en el desarrollo del sistema propuesto.

2.10.1. Sensores

Es un elemento primario. Su característica es medir o censar el valor de una variable de proceso, es un dispositivo capaz de detectar cambios en el entorno y mostrar la presencia o la medida de una magnitud específica, ya que tiene una propiedad sensible a esa magnitud.

A continuación, se indican algunos de los sensores por principio físico. (Pallás, 2003)

Tabla 2-9: Características de los sensores por principio físico

Sensores	Características	Como se encuentran	Ejemplos
Resistivo	Es un sensor cuyo principio físico es la variación de su resistencia eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> • Galgas extensiométricas. • Sensores de temperatura resistivos. • Potenciómetros. • Fotorresistencias 	CEA-06-125UNA-350
Capacitivo	Es un sensor específicamente utilizado para efectuar controles de presencia y mediciones de distancia en espacios muy reducidos	<ul style="list-style-type: none"> • Medida de distancia y posición • Medida de presión, fuerza y aceleración • Medida de humedad, análisis químico y nivel de fluidos 	BC10-P30SR-VP4X2/3GD
Inductivo	El sensor funciona de una manera en la cual se emana un campo magnético alterno de alta frecuencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Medida de distancia, posición y espesores • Medida de presión, fuerza y aceleración 	NI30U-EM30WD-AP6X-H1141/3GD
Piezo-resistivo	El sensor emplea un cambio de resistencia de ciertos materiales semiconductores cuando se lo somete a una fuerza o deformación mecánica.	<ul style="list-style-type: none"> • En su mayoría se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones la principal es medición de tensión mecánica. 	SPAN-B11R-G18M-PN-PN-L1
Electromagnético	Es un tipo de sensor cuya aplicación son las mediciones de caudal volumétrico de líquidos o gases, utiliza un campo magnético el cual detecta el flujo de líquido o gas, y mide la fuerza electromotriz (FEM) inducida en el líquido o gas por el campo magnético.	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores diferenciales (LVDT) • Sensores que se basan en la ley de Faraday y en el efecto Hall. 	BIM-EM12E-Y1X
Piezoeléctrico	Es un sensor cuyo fundamento es el efecto piezoeléctrico, el cual transforma la energía mecánica, en una señal eléctrica, su aplicación es medir la presión, la aceleración, la fuerza y la vibración.	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor piezoeléctrico de presión • Sensor piezoeléctrico de fuerza • Sensor piezoeléctrico de fuerza 	7BB-20-6L0

Fuente: (Gallego, 2015)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la tabla 2-9 se puede observar las distintas clases de sensores con sus características, con los cuales se parte de como fundamento teórico.

2.10.2. Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura más utilizado en aplicaciones industriales es el termopar, que consiste en dos metales unidos por juntas llamadas unión fría y unión caliente. Cuando la temperatura cambia, mediante la señal en las juntas, el sensor lo transforma en una señal eléctrica medible. (Chen et al., 2022). En la ilustración 2-10 se puede observar distintos sensores de temperatura común.



Ilustración 2-10: Sensor de temperatura AM2301

Fuente: (Chen et al., 2022)

2.10.3. Sensor de Humedad

El sensor de humedad es un dispositivo que detecta la cantidad de agua en el aire o en cualquier tipo de objeto. A menudo se conoce como higrómetro y sus aplicaciones se enfocan tanto en el clima y en sistemas de aire acondicionado. Algunos también miden la temperatura para calcular la cantidad de agua el ambiente. (Rodríguez, 2023). A continuación, en la ilustración 2-11 se presenta un sensor para detectar la humedad del suelo.



Ilustración 2-11: Sensor de humedad del suelo

Fuente: (Rodríguez, 2023)

2.10.4. Sensor de PH

Un pHmetro o medidor de pH es un dispositivo que mide la cantidad de ácido o base sumergido en agua. Utiliza dos electrodos para medir la diferencia de electricidad y evaluar si la cantidad de agua es ácida o alcalina. (Alcántara, 2023). Como se indica en la ilustración 2-12.



Ilustración 2-12: Sensor de pH

Fuente: (Rodríguez, 2023)

A continuación, se presenta en la Tabla 2-10 y en la Tabla 2-11 las características entre los sensores de Temperatura, Humedad y pH.

Tabla 2-10: Características principales del sensor de temperatura y Humedad

Características	AM2301 
Fuente de alimentación	3.5-5.5 V DC
Señal de salida	Señal digital a través de bus bidireccional
Elemento sensor	-
Rango funcionamiento	Humedad 0-100% HR, temperatura -40 hasta 80°C
Precisión	humedad + -3% HR temperatura < +- 0.5Celsius

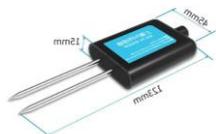
Resolución o sensibilidad	humedad 0.1% HR; temperatura 0.1 Celsius
Repetibilidad	humedad 0.1% HR; temperatura 0.1 Celsius
Periodo de detección promedio	2s
Dimensiones	60x28x13mm
Consumo de corriente	1mA-1.5mA
Distancia de medición	5m
Precio	\$20

Fuente: (VACA, 2023)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la tabla 2-10 se puede observar las características principales del sensor AM2301, el cumple con los parámetros para nuestro sistema de supervisión y control mediante lógica difusa, tanto en temperatura o humedad, ya que para lombrices se tiene en cuenta una temperatura que este entre 14 y 20 grados centígrados.

Tabla 2-11: Características principales del sensor pH

Características	Sensor pH de suelo RS485 
Fuente de alimentación	12-24 V DC
Señal de salida	RS485-bus
Elemento sensor	Condensador de polímero
Rango funcionamiento	Humedad 5-95% HR, temperatura 5-45° Celsius
Precisión	±2% fondo de escala
Resolución o sensibilidad	0.1 [pH]
Rango pH	3 – 9 [pH]
Dimensiones	tamaño pequeño 123 x45 x 15 mm
Consumo de corriente	-
Distancia máxima de cableado	800 m
Precio	\$70

Fuente: (Vaca, 2023)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la tabla 2-11 se puede observar las características principales del sensor de suelo RS485, el cumple con los parámetros para nuestro sistema de supervisión y control mediante lógica difusa, puesto que para lombrices se tiene en cuenta parámetros de pH que varíen entre 3 y 9, siendo buen parámetro de 6.5 a 7.5, cuando tiene menos de 6 es ácido y cuando tiene más de 7 es considerado alcalino.

2.11. Actuadores

A continuación, se mencionan los principales tipos de actuadores que se utilizan en el diseño de sistemas ciber físicos.

Tabla 2-12: Clasificación de los actuadores.

Actuadores	funcionamiento	Usos
Hidráulicos	Líquido	maquinaria pesada
Eléctricos	Energía eléctrica	válvulas, tuberías
Térmicos	Calorífica o magnética	Densidad de alta potencia
Neumáticos	Aire comprimido	válvulas

Fuente: (Vaca, 2023)

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

2.11.1. Actuadores electromecánicos

Son máquinas o dispositivos que transforman la energía eléctrica en movimiento. Esto se logra mediante sistemas de transmisión y motores que generan movimientos y fuerzas.

2.11.1.1. Relés

Se puede definir un relé como un interruptor que es accionado a través de una señal digital. La entrada de control de un relé requiere una cantidad mínima de energía para abrir y cerrar sus contactos, que a su vez permiten energizar un circuito de mayor potencia. Las principales características que posee un relé son: la corriente y tensión máxima que pueden tolerar y transformar los contactos, tiempos de apertura y cierre, la corriente y tensión nominales de la apertura del control. De acuerdo con las necesidades de la aplicación, se puede optar por relés de estado sólido o electromagnéticos (Gallego, 2015). A continuación, se presenta una regleta de 4 relés en la ilustración 2-13.



Ilustración 2-13: Sensor de humedad del suelo

Fuente: (Gallego, 2015)

2.11.1.2. Motores

Estos tienen la capacidad de transformar energía eléctrica en energía potencial mediante la rotación o giro de un eje a través de la relación que existe entre dos dipolos magnéticos. Los motores que se alimentan a través de corriente continua se conocen como motores DC; mientras que se alimentan a través de corrientes alternas se denominan motores AC. De entre las características principales de un motor se pueden mencionar: la velocidad, par de arranque y salida y la regulación de velocidad (Gallego, 2015). Como se observa en la ilustración 2-14.



Ilustración 2-14: Motor de ventilador

Fuente: (Gallego, 2015)

2.11.1.3. Electroválvulas

Estas se utilizan con el fin de controlar el flujo de líquidos o gases mediante un conducto que emplea el uso de un componente que permite el accionamiento para abrir o cerrar. Se compone de una válvula y un solenoide, el cual tiene la capacidad de accionar la válvula mediante una señal de control. Asimismo, ciertas válvulas son accionadas por un motor el cual permite regular la amplitud de la apertura (Gallego, 2015). En la ilustración 2-15 se puede observar una electroválvula de media pulgada.



Ilustración 2-15: Electroválvula media pulgada

Fuente: (Gallego, 2015)

2.11.2. Actuadores electotérmicos

Estos generan un aumento o reducción de la temperatura a través de una señal eléctrica de entrada.

2.11.2.1. Cédulas Peltier

Se fundamentan básicamente en el efecto Peltier, que consiste en absorber o transferir la sensación térmica durante la unión de dos elementos distintos mediante la circulación de una corriente eléctrica. Su principal función es la de reducir las altas temperaturas hasta que alcance niveles térmicos inferiores a la temperatura ambiente. De entre sus características principales se puede mencionar la resistencia eléctrica y el coeficiente de Seebeck (Gallego, 2015). En la ilustración 2-16 se puede observar el funcionamiento del efecto Peltier.

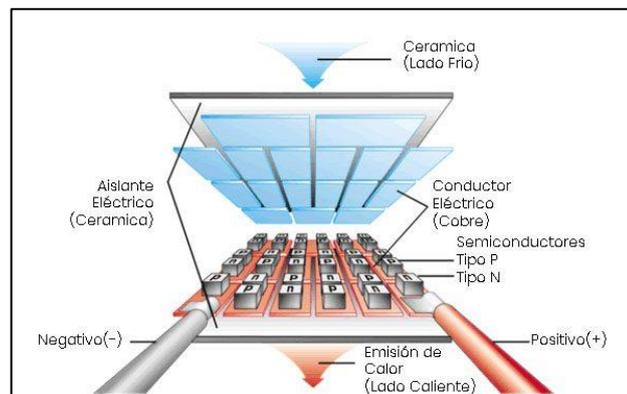


Ilustración 2-16: Efecto Peltier.

Fuente: (Gallego, 2015)

2.11.2.2. Calefactores

Se emplean con la finalidad de alcanzar niveles térmicos superiores a 750°C por medio de una resistencia por efecto Joule. Esta resistencia, por lo general, tiene una conexión directa a la red eléctrica, y mediante los contactos de un relé permitir o interrumpir el paso de corriente. (Gallego, 2015). En la ilustración 2-17 se puede observar un ventilador de doble uso.



Ilustración 2-17: Ventilador doble uso

Fuente: (Gallego, 2015)

2.12. Tarjetas de desarrollo

Son placas electrónicas que dentro de su estructura contienen circuitos importantes y necesarios para desarrollar proyectos electrónicos. Estas tarjetas permiten que los usuarios prueben y depuren el código en un ambiente controlado antes de adaptarlo en un proyecto final. (Areny R. P., 2009)



Ilustración 2-18: Tarjeta de desarrollo ESP32

Fuente: (Areny R. P., 2009)

Este dispositivo permite llevar a cabo procesos logísticos, bajo comandos escritos en un lenguaje de programación. Conformado por un procesador o microcontrolador, memoria RAM, memoria de programación tipo ROM, PROM o EPROM, líneas de entradas y salidas de comunicación con el exterior, módulos de control de periféricos y generador de impulso de reloj. (Barra Zapata & Barra Zapata, 2015) . Como se observa en la ilustración 2-18

Los sistemas de procesamiento o tarjeta de desarrollo reciben uno o más datos en sus entradas, ya sea de forma paralela o serial, para procesarlos, almacenarlos y/o visualizarlos. Contienen elementos como puertos, conectores y reguladores que les permite a los usuarios acceder fácil y rápidamente a los periféricos para realizar aplicaciones. En la actualidad gracias al avance tecnológico se puede encontrar modelos con convertidores analógico-digital, puertos de comunicación Wifi, etcétera (David et al., 2011).

- **Raspberry Pi** es una tarjeta de desarrollo con una similitud a una computadora completamente funcional en un paquete pequeño y de bajo costo. Las aplicaciones que podremos encontrar son para navegación por la web , interés sobre su programación o crear sus propios circuitos. Además de dispositivos físicos, una Raspberry Pi puede hacer cualquier cosa que pueda hacer una computadora más grande pero consume menos energía.(Halfacree, 2020).
- **Arduino** es una tarjeta de desarrollo cuya plataforma es código abierto. Está compuesta por una placa con un microprocesador ATmega. En su mayoría usada en proyectos electrónicos, contiene un entorno grafico de desarrollo con su hardware y software flexibles y simples de usar. Está al alcance de cualquier persona para la construcción de circuitos electrónicos, robots, entornos controlados, tarjetas de adquisición de datos, etcétera (Moreno & Córcoles, 2020).
- **BeagleBone** es una tarjeta de desarrollo de Linux integrada, dirigida a universitarios informáticos y aficionados. Es una versión más pequeña y básica de su predecesor BeagleBoard. Ambos son hardware de código abierto y utilizan procesadores de Texas Instruments con un núcleo de la serie ARM Cortex-A, que están diseñados para dispositivos móviles de bajo consumo (Richardson, 2014).
- **ESP32 NODE MCU**, creado por Espressif Systems, se trata de un SoC (System On Chip) asequible y de consumo de energía eficiente, con Wi-Fi y Bluetooth de modo dual. Tiene un procesador Tensilica Xtensa LX6 de uno o doble núcleo con una velocidad de hasta 240 MHz. Está altamente integrado con convertidor de antena, balun RF, amplificador de potencia, amplificador de recepción de bajo ruido, filtro y módulo de administración de energía completamente integrados en un solo chip (Bruno, 2019).

En la tabla 2-12 se puede observar las características de distintas tarjetas de desarrollo.

Tabla 2-12: Características de distintas tarjetas de desarrollo

Característica	Raspberry Pi	Arduino	BeagleBone	ESP32 MCU	NODE Xtensa
Sistema Operativo	Si	No	Si	Si	
Procesador	Córtex	AtMega	AM335x ARM Córtex-A8	Tensilica LX6 de 32 bits	
Almacenamiento	Micro SD 512 MB- 8GB	32 KB-256 KB	Micro SD 4GB	520 KB	
Conectividad	WLAN, Bluetooth, BLE, USB, Ethernet.	UART, I2C, SPI.	USB host, Ethernet, OTG microHDMI, I2C, SPI, PWM, ADC, JTAG, eMMC.	Wi-Fi, Bluetooth. Bluetooth: v4.2 BR/EDR y bluetooth Low Energy (BLE).	
Compatibilidad de software	Linux, Raspbian búster, Android.	Arduino IDE	Debian, Android, Ubuntu, Cloud9 IDE, Plus much more.	Arduino IDE, Visual Studio Code, PlatformIO, Espressif IDF	
Entradas/Salidas	40	14-54	46	30	
Voltaje de operación	5 V	3.3 V – 5 V	5 V	3.3 V	
Consumo energético	0.6A – 0.85A	15 mA – 93 mA	1000 mA	500 mA	
Dimensiones	Min: 65x56 mm Max: 85x56 mm	Min: 44x18 mm Max: 102x54 mm	86.36x53.34 mm	54x26x7 mm	
Peso	7g – 45g	13g – 37g	39.68g	6.8g	

Fuente: (Salguero & Pintag, 2023).

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla cada uno de los requerimientos que debe cubrir el sistema de microclimas mediante lógica difusa. Además, se presenta su arquitectura, especificando cada una de las etapas, tanto físicas como electrónicas. Entre las etapas físicas se tiene: instalación de invernadero, instalación de cajones para lombricultura, instalación eléctrica, instalación de internet, caja principal, diseño de PCB. En las etapas electrónicas se tiene: implementación de la red de sensores, lectura de datos, procesamiento de datos, visualización, diseño de PCB, y en la etapa IoT se tiene: conexión entre Arduino IoT y NODE RED, configuración de la red y la creación del entorno visual Web.

Para el presente proyecto se creó un sistema de forma artificial, ya que mediante un tablero con una tarjeta de desarrollo se toman distintas acciones como el sistema de ventilación, sistemas de calefacción y sistema de riego, cada uno de estos manipulados por datos ingresados al en la tarjeta de desarrollo, una temperatura variante entre 16 y 22 grados centígrados, una humedad de suelo de 70% a 80% y un nivel de pH que varíe entre 6.5 y 7.5 respectivamente.

3.1. Requerimientos para el sistema de microclimas

Partiendo de investigaciones bibliográficas sobre los sistemas de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa, se considera los siguientes requerimientos:

- El sistema debe contar con sensores de temperatura, humedad y pH, para el control de un microclima óptimo.
- Implementar el sistema utilizando actuadores para generar y disipar el calor (calefactor), y así mantener una temperatura adecuada.
- Aplicar un sistema de riego para mantener una humedad adecuada.
- Instalación de un invernadero cerrado y con poca iluminación.
- Desarrollar el control mediante lógica difusa para la toma de decisiones, para mantener una temperatura que oscile entre 16°C y 22°C. colocar un tablero principal para la supervisión y manejo del sistema.
- Poner en marcha el sistema para tener una humedad en el suelo del 70% al 80% mediante el sistema de riego.
- Establecer una conexión eléctrica estable.

3.2. Consolidación general del sistema de microclimas

Para la implementación del sistema de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa se considera los datos de temperatura, humedad y pH. Para la consolidación de este sistema se cuenta con un tablero principal, el cual, va a contar con un microcontrolador capaz de tomar decisiones basadas en lógica difusa. Esta tarjeta recibe los datos de los sensores

En la siguiente ilustración 3-1 se puede visualizar la arquitectura del sistema.

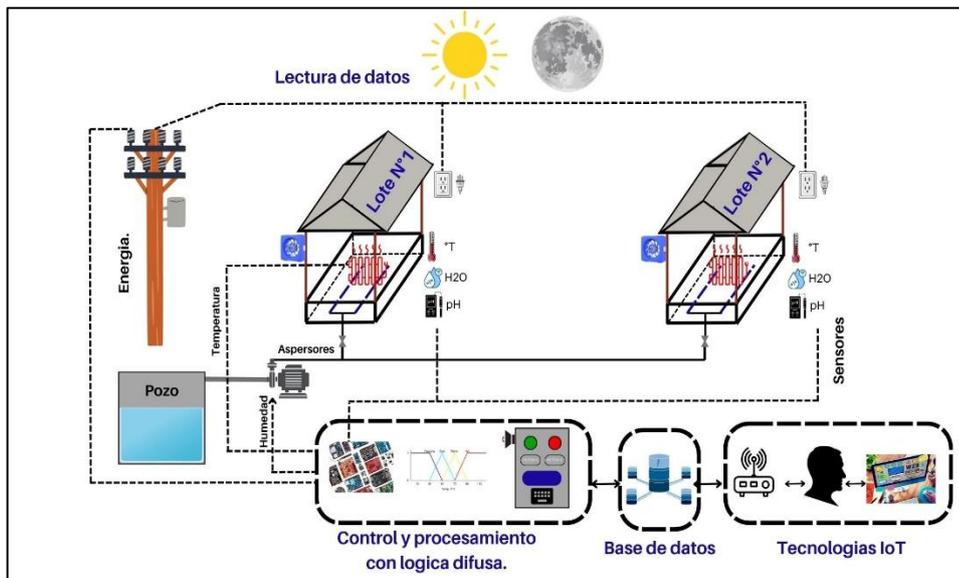


Ilustración 3-1: Diagrama conexión sistema IoT mediante lógica difusa

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.3. Zona de implementación

Dentro de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo existen lotes de vermicompostaje en la Facultad de Ciencias Pecuarias., Estos lotes están expuestos a condiciones climáticas ambientales naturales, por lo que se puede correr el riesgo de perder la materia prima. Para esto se ha realizado la petición de un espacio, para la implementación del sistema de microclimas mediante lógica difusa.

En la ilustración 3-2 se puede observar la ubicación exacta mediante mapa de Google maps.



Ilustración 3-2: Ubicación de los terrenos de Especies menores, en este lugar se implementará el dispositivo

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Está ubicada dentro de la ESPOCH dentro de la facultad de ciencias pecuarias, dentro de los laboratorios de especies menores.

En la ilustración 3-3 se puede observar una imagen real del terreno destinado a instalarse el invernadero de microclimas, mediante lógica difusa. Este terreno inicialmente no contaba con electricidad, iluminación e internet.

de temperatura, humedad y pH, los cuales según las reglas aplicadas activarán controladores, como puede ser ventilación o calefacción, así mismo para las reglas de humedad realizada el encendido de aspersores, estos datos serán enviados a una base de datos, y serán visibles en un entorno web, para llevar un mayor control, este sistema asegura un mayor control en los climas óptimos de lombrices por lo que se podrá mejorar la calidad del producto.



Ilustración 3-3: Terreno a implementar sistema IoT mediante lógica difusa
Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.3.1. Instalación del invernadero

Se utilizó una estructura semi-túnel, debido a su forma natural de protección de factores exteriores, el cual se recubrió con una cubierta plástica color negro para reducir la iluminación interna del invernadero, debido a que puede ocasionar el deceso de las lombrices por rayos ultravioletas. Se ha montado en una estructura flexible con tubos de PVC de media pulgada.

Como se observa en la ilustración 3-4 se ha colocado la estructura de PVC, mientras que en la ilustración 3-5 se observa la estructura la cubierta de color negro instalada para obtener la mínima de iluminación posible.



Ilustración 3-4: Instalación estructural tipo semi-túnel para invernadero

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Como se observa él tubo pvc, es el material perfecto para una estructura semi túnel, ya que se puede moldear de manera curvilínea, los cuales tienen la medida de 3.20 metros cada uno.



Ilustración 3-5: Instalación cubierta plástica con protección de rayos UV para invernadero

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Se observa el montaje de la lona color negro para menor iluminación y protección contra rayos UV. Esta lona plástica tiene una medida de 15 metros de longitud y 4 metros de altura. Para la instalación de la puerta del invernadero se ha utilizado un marco de madera de 1.70 metros de alto por 1 metro de ancho, recubierto del mismo material del invernadero como se observa en la Ilustración 3-6.



Ilustración 3-6: Instalación puerta con marco de madera

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.3.2. Instalación de cajones para Lombricompostaje

Para la crianza de lombrices se ha implementado 2 cajones de madera de 5 metros de largo por 1 metro de ancho con una altura de 60 cm, los cuales, están ubicados dentro del invernadero para la supervisión y control de microclimas.

En la ilustración 3-7 se puede observar la instalación de los cajones tipo encofrado.



Ilustración 3-7: Instalación cajones tipo encofrado para criadero de lombrices
Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.3.3. *Instalación eléctrica dentro de invernadero*

Para la instalación de la energía eléctrica, se ha utilizado cable gemelo número 12 tipo AWG, debido a que puede manejar hasta 20 amperios de una corriente 110 voltios.

En la ilustración 3-8 se puede observar el acondicionamiento de tomas eléctricas e iluminación en la parte interior del invernadero.



Ilustración 3-8: Instalación puntos de carga y puntos de iluminación
Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.4. Etapas del sistema

Analizando la arquitectura del sistema y para tener un mejor entendimiento, se divide al sistema en etapas. A continuación, se explica cada una de ellas.

3.4.1. Etapa de alimentación

Para el sistema difuso, se toma en cuenta la alimentación eléctrica de 110 V, los cuales se distribuyen en cada uno de los componentes con la siguiente descripción:

- **Tarjeta de Desarrollo:** se activa con voltaje de 5V DC, por lo cual, adicional a la fuente de alimentación de 110V AC, se necesita de una fuente externa para rectificar y regular el voltaje requerido.
- **Actuadores:** Para la activación de los actuadores se utiliza módulos relé reguladores de 5V, los cuales están alimentados con 110V y son regulados con una señal de 5V DC.
- **Sensores:** Estos reciben la señal directa de la tarjeta de desarrollo, la cual, envía una señal de 3V a 5V DC para su alimentación.

En la ilustración 3-9 se puede observar el diagrama de alimentación al sistema IoT.

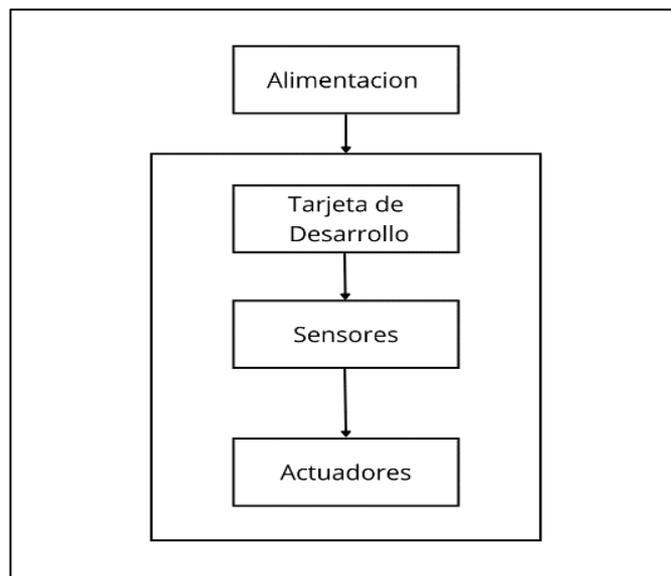


Ilustración 3-9: Diagrama etapa de alimentación

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Como se puede observar la etapa de alimentación es la encargada de alimentar la tarjeta de desarrollo, sensores y actuadores para su óptimo funcionamiento.

3.4.2. *Etapa de adquisición de señales*

Se toma en cuenta los 3 tipos de sensores usados en el sistema de lógica difusa, con el siguiente detalle:

- **Temperatura:** considerando la temperatura deseada, estos sensores dan las ordenes de mantener apagados o encendidos los actuadores durante el proceso de ventilación o calefacción.
- **Humedad:** considerando la humedad deseada, estos sensores dan las ordenes de activar o desactivar los actuadores. En este caso son las electroválvulas para mantener seco o húmedo el suelo.
- **pH:** estos toman el valor de pH del suelo para el envío de datos a la plataforma web.

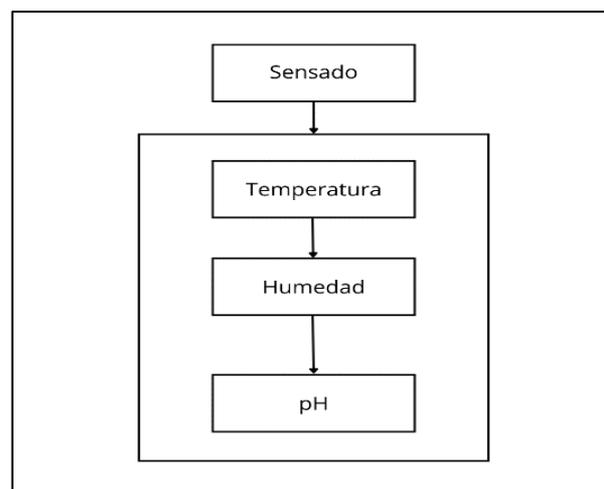


Ilustración 3-10: Diagrama etapa de sensado

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

El diagrama de bloques general se muestra en la Ilustración 3-10. En esta etapa se incluyen los valores de temperatura de ambiente, humedad de suelo y pH de suelo, para ser enviados a la tarjeta de desarrollo para la toma de decisiones según la programación desarrollada.

3.4.3. *Etapa de actuadores*

Se toma en cuenta las señales enviadas y recibidas de los sensores, procesadas en la tarjeta de desarrollo para la activación de los actuadores considerando:

- **Ventilación:** El actuador se activa cuando la temperatura del ambiente esté por encima de la temperatura deseada o setpoint.
- **Calefactor:** El actuador se activa cuando la temperatura del ambiente esté por debajo de la temperatura deseada o setpoint.
- **Alerta Sonora:** Este actuador se activa cuando los niveles de pH del suelo estén por encima o debajo del nivel deseado.

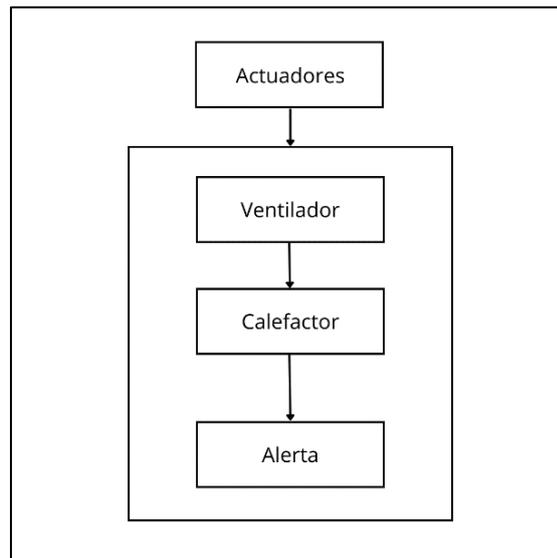


Ilustración 3-11: Diagrama etapa de actuadores

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la Ilustración 3-11, se describe el diagrama de bloques general donde los actuadores vienen incluidos con el accionamiento de ventilación, calefacción y sistema de riego, los cuales se accionan cuando se sobrepasa los valores umbral predeterminados.

3.4.4. Etapa de comunicación

Para la comunicación se ha instalado una red de tipo privada mediante un router qpcom de doble antena. Esto permite la comunicación entre el ESP32 y la plataforma ThingSpeak, siendo esta una plataforma gratuita y con servidor web. Además, mantiene todos los datos almacenados en la nube, para luego visualizarlos en la plataforma web. En la Ilustración 3-12 se observa la etapa de comunicación la cual se da a partir de la señal WIFI la cual transporta la información de los sensores al sistema difuso, mediante un protocolo HTTP para visualizarlo en ThingSpeak.

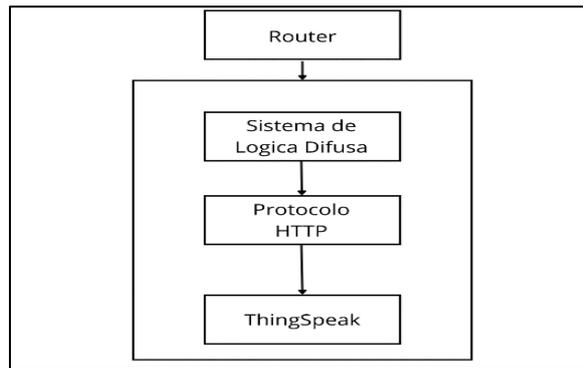


Ilustración 3-12: Diagrama etapa de actuadores

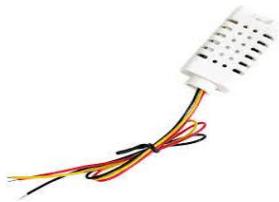
Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.5. Elementos de hardware del dispositivo

3.5.1. Sensor de temperatura AM2302

Sensor digital de temperatura y humedad relativa AM2302. Ha sido seleccionado porque permite la obtención de datos de temperatura, también datos de humedad en tiempo real. Además, es uno de los sensores mayormente usados para proyectos de microclima, control y monitoreo. Fácil uso y mejor precisión frente a otros sensores del mismo tipo y un mayor tiempo de vida. En la Tabla 3-1 se presenta las características importantes de este sensor.

Tabla 3-1: Características de sensor AM2302

Modelo	AM2302
	
Voltaje de alimentación	3.3-5.5V DC
Señal de salida	Señal digital mediante un bus de 1 hilo
Elemento sensor	Polímero condensador de humedad
Rango de operación	Humedad 0-100% RH; temperatura -40~80 Celsius
Precisión	Humedad +2% RH(Max+-5% RH); temperatura +-0.5 Celsius
Sensibilidad	Humedad 0.1% RH; temperatura 0.1 Celsius
Repetibilidad	Humedad +-1% RH; temperatura
Histeresis de humedad	+0.3% RH
Estabilidad a largo plazo	+0.5RH/año
Intercambiabilidad	Totalmente intercambiables

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Se optó por este sensor debido a que está dentro del rango establecido para el sistema, el cual mide una temperatura máxima de 40°C.

3.5.2. *Sensor humedad del suelo HD-38*

Es el más usado para proyectos de riego automático, ya que, es resistente a corrosión. Entrega una salida digital y una salida analógica. Gracias a su cubierta tiene una vida útil extensa y cuenta con una sensibilidad ajustable mediante un potenciómetro. A continuación, se presenta la Tabla 3-2 con las características relevantes del sensor

Tabla 3-2: Características de sensor de humedad de suelo HD-38

Sensor de Humedad de suelo HD-38	
Pines	VCC, GND, digitalPIN, analogPIN
Voltaje de alimentación	3.3-12V
Modo de salida	Dual (salida digital, salida analógica (más precisa))
Dimensiones	30mm x 16mm
Amplificador	LM393
Longitud del cable	1.3m

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

El sensor cumple con la lectura del porcentaje de la temperatura, la cual varía de 0 a 100%. Dependiendo de la información enviada permite activar o desactivar el sistema de riego.

3.5.3. *Sensor de PH de suelo RS485*

Dicho sensor cuenta con la capacidad de medir el pH del suelo, enviando una señal digital. Su rango de medición se encuentra entre 3 a 9 pH, con una precisión de 0.3 pH. Gracias a su recubrimiento es impermeable lo que lo hace óptimo para suelos. En la Tabla 3-3 se presentan sus características importantes.

Tabla 3-3: Características sensor pH RS485

Sensor pH RS485	
Voltaje de alimentación	5-30V DC
Consumo de energía	0.5W
Rango de medición	3-9PH
Resolución	0.1
Temperatura de operación	-20°C-60°C
Estabilidad a largo plazo	5%/año
Tiempo de respuesta	7S
Nivel de protección	IP68
Material de la sonda	Electrodo especial anticorrosivo
Señal de salida	RS485/4~20mA/0~5V/0~10V

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.5.4. Módulo MAX485 conversor RS485 a serial TTL

Este módulo permite conectar distintos microcontroladores como Arduino a largas distancias utilizando RS485. Se basa en el chip Maxim MAX485 que permite la comunicación tipo half-duplex. Para implementar full-duplex se necesitan 2 módulos, uno para enviar y otro para recibir los datos. El RS485 es un estándar industrial de capa física que soporta la implementación de un bus de campo industrial tipo MODBUS, DMX, etc. En la Tabla 3-4, se muestran las principales características de este módulo.

Tabla 3-4: Características modulo MAX485

Modulo MAX485	
Voltaje de alimentación	5V DC
Corriente de operación	500 uA (máx)
Chip conversor	MAX485
Interfaz	microcontrolador Serial UART TTL
Tipo de comunicación	Half-Duplex
Velocidad máxima	10 Mbit/s (a 12 metros)
Distancia máxima	1200 metros (a 100 kbit/s)
Dimensiones	44*14*20 mm

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Se optó por este dispositivo electrónico por la comunicación serial. La señal generada por el sensor de pH es una señal serial por lo que su transmisión resulta mucho más eficiente usando este protocolo.

3.5.5. Módulo conversor de voltaje DC-DC step-up 2.5^a XL6009

El módulo convertidor de voltaje XL6009 Step-Up 2.5A DC-DC eleva el voltaje de entrada para obtener un voltaje de salida constante de mayor valor. Puede manejar corrientes de hasta 2.5A y voltajes de entrada en un rango de 5V a 32V para generar voltajes de salida entre 7V y 32V. . En la Tabla 3-5, se muestran las características principales del convertidor de voltaje.

Tabla 3-5: Características modulo convertidor de voltaje

Módulo convertidor de voltaje XL6009	
Voltaje de Entrada	5V a 32V DC
Voltaje de Salida	7V a 35V DC
V. Salida ajustable	(Regulable por trimmer)
Corriente de salida	2.5A máx. (usar disipador para corrientes mayores a 2A)
Potencia de salida	10W
Eficiencia de conversión	94% máx
Dimensiones	43mm*20mm*14mm

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

El convertidor de voltaje se utilizó para elevar el voltaje de 5 a 12 V que es usado para la activación del sensor de pH.

3.5.6. Módulo de adquisición de datos

Para la adquisición de datos se ha utilizado la tarjeta la ESP32 que, cuenta con 38 pines, conexión WiFi y bluetooth, tiene un consumo de energía bajo, es compatible con lenguaje C y programable en lenguaje. ino. A continuación, se presenta la Tabla 3-6 con las principales características del módulo de adquisición.

Tabla 3-6: Características de tarjeta de desarrollo ESP32-WROOM

Tarjeta de desarrollo ESP32-WROOM	
Microprocesador	Xtensa® de uno o dos núcleos LX6 de 32 bits, hasta 600 MIPS (200 MIPS para ESP32-S0WD / ESP32-U4WDH, 400 MIPS para ESP32-D2WD)
ROM	448KB
SRAM	520KB
SRAM	16KB en RTC
Frecuencia	8MHZ
GPIO	34
SAR ADC	12 bits hasta 18 canales
DAC	2x8 bits
SPI	4
UART	3
PWM	16
Bluetooth	4.2 BR/EDR y BLE
Wi-fi	802.11 b/g/n 2.4Ghz hasta 150Mbps

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Debido a las necesidades del proyecto se ha elegido esta la tarjeta de desarrollo ESP32, la cual trabaja con software libre y cuenta con las entradas y salidas necesarias.

3.5.7. Router QPcom QP WR 347N

Es un dispositivo de Systems specs con un CPU de 400 MHz que trabaja a una velocidad de 300mbps, un ancho de banda de 2.4 GHz ideal para la transmisión de datos del sistema a la interfaz web. En la tabla 3-7 se presentan las distintas características del dispositivo.

Tabla 3-7: Características de router QPcom

QPcom QP WR 347N	
Wifi speed	300-450Mbps
Band	Doble Banda simultanea que reduce interferencia
Nightawk	Configure y supervise su red fácilmente.
Ipv6	si
Estándar	IEEE* 802.11 b/g/n 2.4Ghz

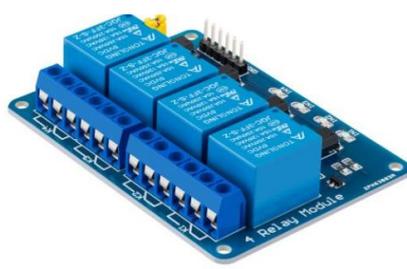
Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.5.8. Salidas

3.5.8.1. Módulo de relé de 6 canales con regulador de 5V

Es una tarjeta de relés con 6 canales para control remoto. Su aplicación es para el control de dispositivos en la industria. Cada canal se controla con una entrada TTL, que puede ser manejada fácilmente por la tarjeta de desarrollo. Requiere una alimentación de 5V. Cada canal tiene un contacto normalmente abierto (NO) y uno normalmente cerrado (NC). Cuando la bobina no está energizada, el contacto estará en estado de NO, y estará en NC cuando esté activado.

Tabla 3-8: Características de regleta de relés

Modelo: SRD-05VDC-DL-C	
Voltaje de operación	5V DC
Máxima salida del relevador	DC 30V/10A, AC 250V/10A
Rangos de corriente	10A (NO) y 5A (NC)
Protocolo de comunicación	TTL (3.3V o 5V)
Tiempo de acción	10ms / 5ms
Dimensiones	104 mm x 56 mm x 19 mm

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la tabla 3-8 se puede observar las características de la regleta de relés, la cual, se usa para la activación de los actuadores, como el ventilador, calefactor y electroválvula, que utilizan un voltaje de 110V y voltaje de 10A en AC.

3.5.8.2. *Electroválvula*

Es un instrumento de acción directa, que da paso al flujo de agua para el riego del sistema. A continuación, se detalla las características en la siguiente Tabla 3-9.

Tabla 3-9: Características electroválvula media pulgada.

Electroválvula	
Voltaje de alimentación	110V AC
Corriente	30mA
Díámetro de Entrada /Salida	1/2''
Tasa de flujo	5 Lt/min a 0.2 MPa (29 PSI)
Díámetro de salida	90x50x60mm (LxWxH)
Jornada de trabajo	120H
Vida útil	1000000 ciclos
Temperatura de agua aplicable	+5°C~+45°C

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Se ha usado esta electroválvula de media pulgada, debido a que la instalación de riego utiliza mangueras de media pulgada, alimentada a 110V AC.

3.5.8.3. *Ventilador de 2 modos*

Para el control del clima interno, se utiliza un ventilador de 2 configuraciones, ya que, puede comportarse como calefactor y como ventilador. El calor se genera mediante una resistencia interna y la ventilación mediante un motor interno, que acciona el movimiento de las aspas. A continuación, se presenta la Tabla 3-10 con las características de este actuador.

Tabla 3-10: Características ventilador/calefactor

Ventilador de 2 modos de Uso	
Modelo	NF15-16BA
Voltaje/Frecuencia	120V/60Hz
Corriente: Consumo continuo máximo	10A
Potencia	1500W
BTUs	5200

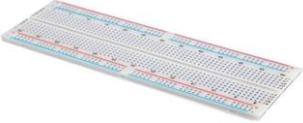
Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.5.9. *Materiales complementarios*

A continuación, se presenta en la Tabla 3-11 los materiales complementarios usados tanto para la instalación de eléctrica, internet, riego, entre otros.

Tabla 3-11: Materiales usados en la instalación de sistema IoT.

30m Cable Flexible #14 24 ^a 600V	
Termomagnético 10A	
Cable Dupont Jumper Protoboard 10/20/30cm Macho-hembra	
Taladro y Brocas	

Protoboard	
Baterías lipo	
Potenciómetros setpoint	
Tomacorrientes	

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.6. Elementos de Software del dispositivo

Para la implementación del algoritmo de lógica difusa se usa el software *SIMULINK* de Matlab, mientras que para la creación de la red IoT se utiliza el software Node Red, ya que tiene vinculación directa con Arduino.

3.6.1. Fuzzy Logic

Para el manejo de las variables de entrada y las variables de salida debe pasar un proceso de control. Para este control se usa la lógica difusa, la cual, se asemeja al pensamiento humano durante la toma de decisiones.

Debido a que nuestro sistema usa múltiples entradas y salidas en condiciones variables, se ha optado por el uso del método Mamdani.

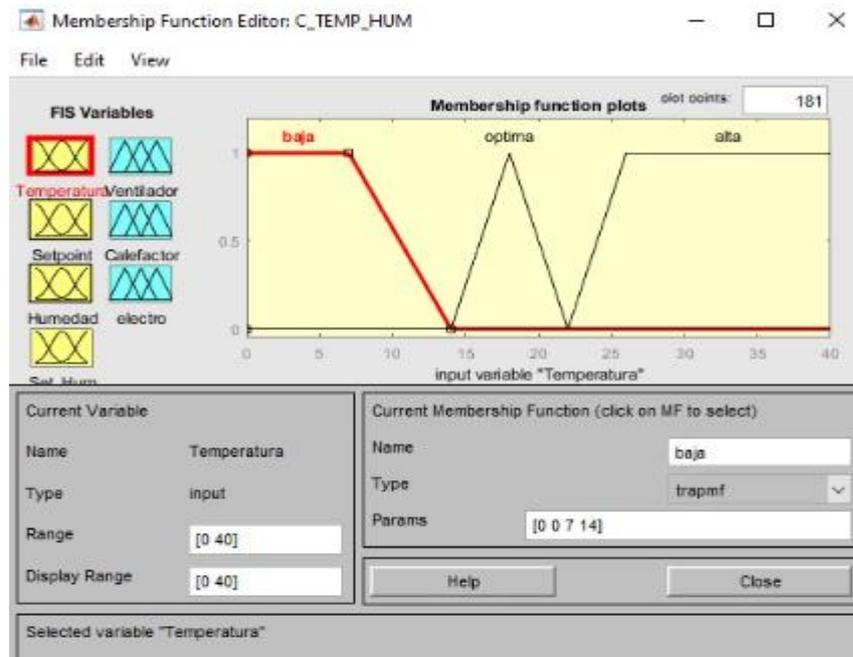


Ilustración 3-13: Funciones de membresía usada en el sistema.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la ilustración 3-13 se muestran las funciones de pertenencias usadas por el sistema. Se puede observar que la temperatura es una variable de entrada y el ventilador es una variable de salida.

Además de los parámetros de medición, el tipo de función y el nombre con el cual llamamos a esta función, en este caso “baja”.

3.6.2. *Arduino IDE*

En la plataforma de Arduino IDE se programa en código C para la adquisición, manejo, operación, transformación de la planta. Mediante el puerto serial de la plataforma se puede obtener los datos de la tarjeta y mediante la conexión WI-FI se envían los datos de los sensores para obtener las gráficas de salida.

```

ESP32-WROOM-DA M...
>wld_de2f1c1c0
1 #include <ThingSpeak.h>
2 #include <WiFi.h>
3 #include <WiFiClient.h>
4 #include <WiFiServer.h>
5 #include <DHT.h>
6 #define FTS_TYPE float
7 #define FTS_RESOLUTION 100
8 #define FTS_MIN -3.4028235e+38
9 #define FTS_MAX 3.4028235e+38
10 typedef FTS_TYPE (* FTS_FN)( FTS_TYPE, FTS_TYPE );

Saldo: Monitor Serie x
Mensaje (línea para mandar el mensaje de "ESP32-WROOM-DA Mchida" a COM1)
Nuevas líneas 5600 baud
temperatura ser: 23.39
setpoint: 20.00
Humedad_serie es: 26.00
setpoint_humedad: 77.00
*****Datos enviados*****
temperatura es: 23.40
setpoint: 20.00
Humedad_serie es: 26.00
setpoint_humedad: 77.00
*****Datos enviados*****
temperatura ser: 23.39
setpoint: 20.00
Humedad_serie es: 26.00
setpoint_humedad: 77.00
*****Datos enviados*****
temperatura es: 23.40
setpoint: 20.00
Humedad_serie es: 26.00
setpoint_humedad: 76.00
*****Datos enviados*****

```

Ilustración 3-14: Funciones de lógica difusa implementado en Arduino IDE.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la ilustración 3-14 se observa el código desarrollado en el IDE de Arduino, donde se detallan los valores de temperatura, humedad y pH, con sus respectivos setpoint durante la ejecución del programa.

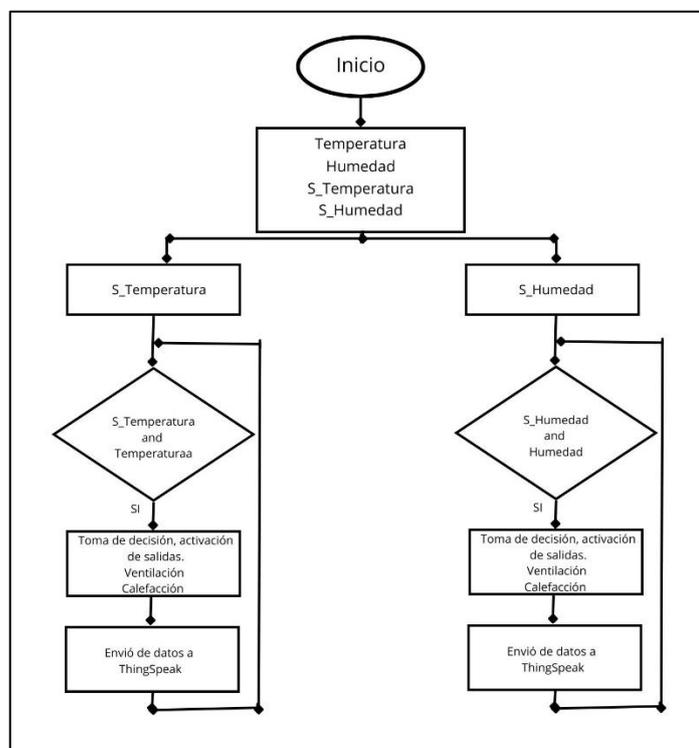


Ilustración 3-15: Diagrama de flujo para lógica difusa.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la ilustración 3-15 se puede observar el diagrama de flujo del programa implementado mediante lógica difusa, siendo este un sistema retroalimentado.

3.6.3. ThingSpeak

Es una plataforma para Internet de las Cosas (IoT) que permite a los usuarios comunicarse con dispositivos habilitados para la nube. Proporciona una API para que los dispositivos y los sitios web puedan acceder, recuperar y registrar datos. Además, es una plataforma de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real. Es utilizado para monitorear y controlar dispositivos conectados y recopilar datos.

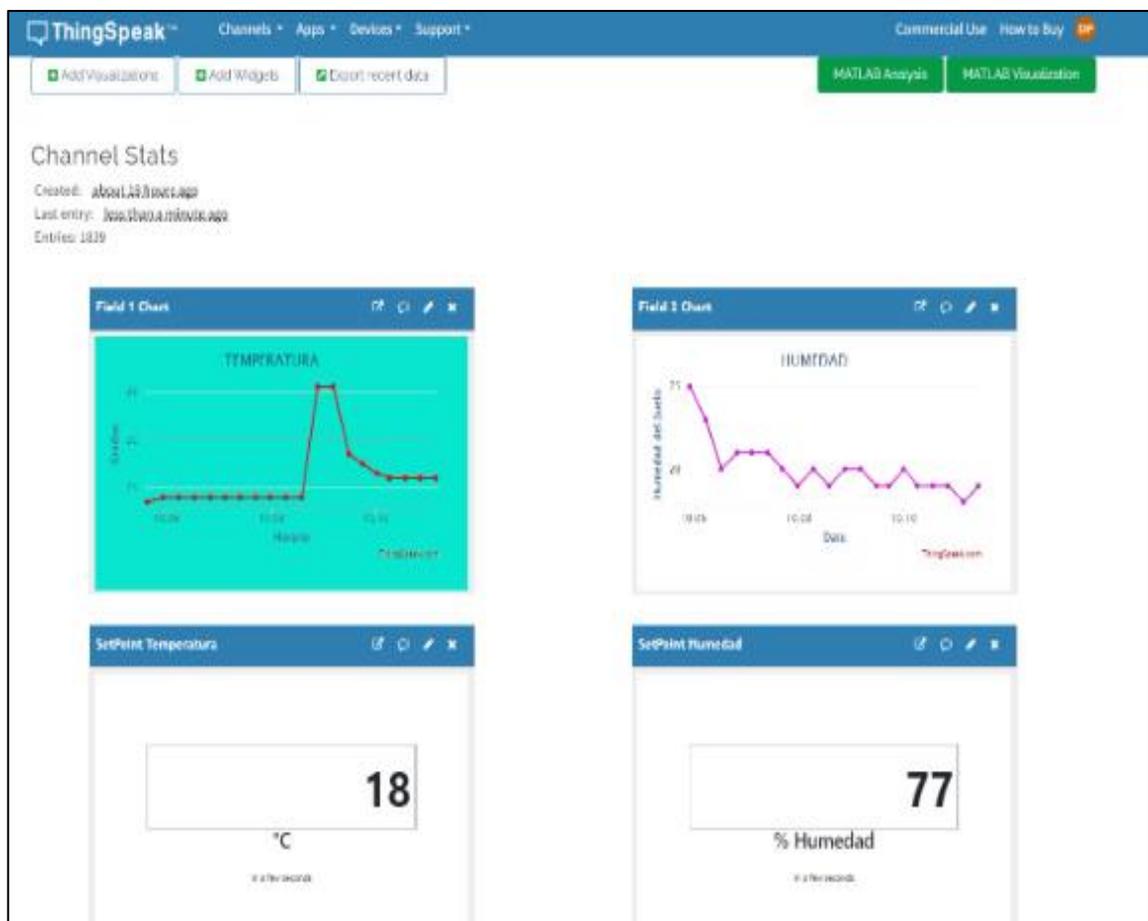


Ilustración 3-16: Interfaz Web creada mediante ThingSpeak.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la Ilustración 3-16, se presenta la pantalla de visualización de los datos obtenidos por el sistema de sensores en tiempo real. Además, se tiene los setpoints para los lotes de lombricultura.

3.6.4. *Firebase Realtime Database*

Es un tipo de base de datos NoSQL. Se encuentra en la nube y permite guardar y actualizar datos en tiempo real. Su acceso puede realizarse desde cualquier dispositivo, como una computadora, página web o un smartphone y permite el trabajo colaborativo.



Ilustración 3-17: Creación de base de datos en Firebase

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la ilustración 3-17 se muestra la conexión de nuestro sistema con la plataforma Firebase, para envío y recepción de datos en tiempo real.

3.7. Diagrama de conexión del sistema

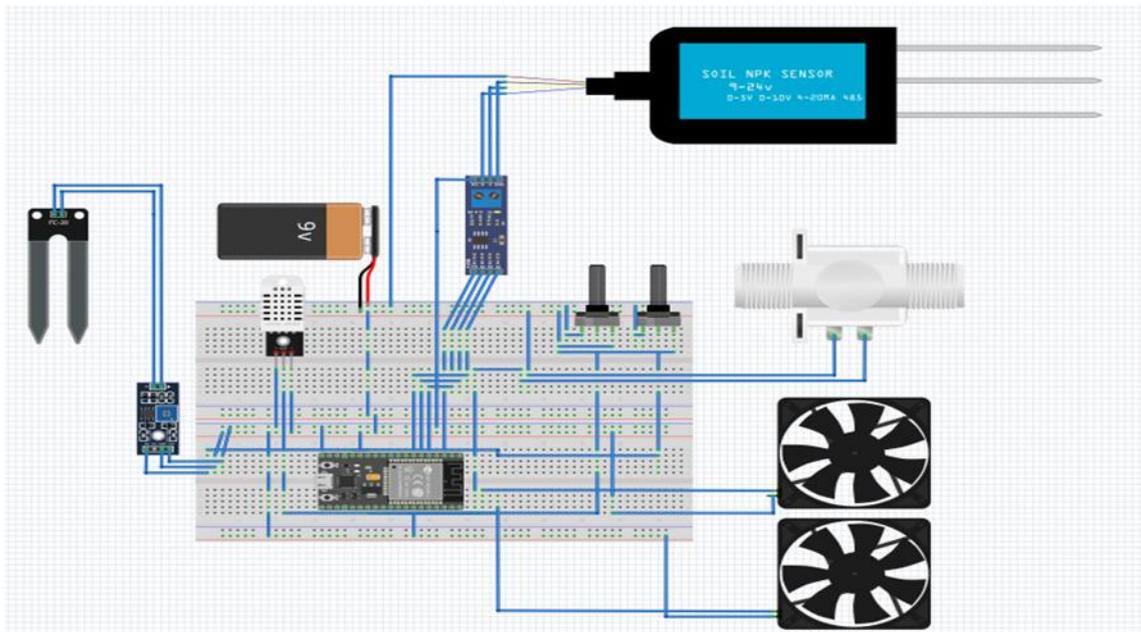
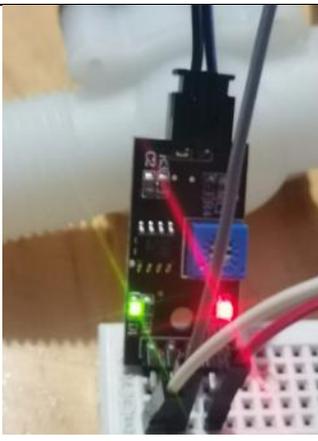


Ilustración 3-18: Diagrama conexión prototipo IoT.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la la Ilustración 3-18, se muestra el prototipo implementado en la plataforma de Fritzing. Este permite simular la planta de adquisición y control de datos, bajo el criterio de dividirlo en etapas. Esto se detalla en la Tabla 3-12:

Tabla 3-12: Características de los distintos equipos para adquisición de datos

AM2302:	Nos permite captar la temperatura ambiente en un radio aproximado de 15m con una gran exactitud, manejando el ambiente de nuestra planta	
HD-38	Mediante el dispositivo captamos la humedad del suelo por conducción eléctrica del agua, mientras mas húmedo, mayor continuidad produce	
JXBS-3001	EL sensor permite medir con precisión los parámetros más importantes, tal como es el pH, y los nutrientes (Nitrato, Potasio, Calcio) en muestras de soluciones de suelo.	

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.8. Diagrama de Bloques del dispositivo

En la grafico 3-1 se puede observar el diagrama de bloques del sistema de control difuso, con cada una de sus entradas y salidas, especificando sensores, tarjeta de desarrollo y entorno web.

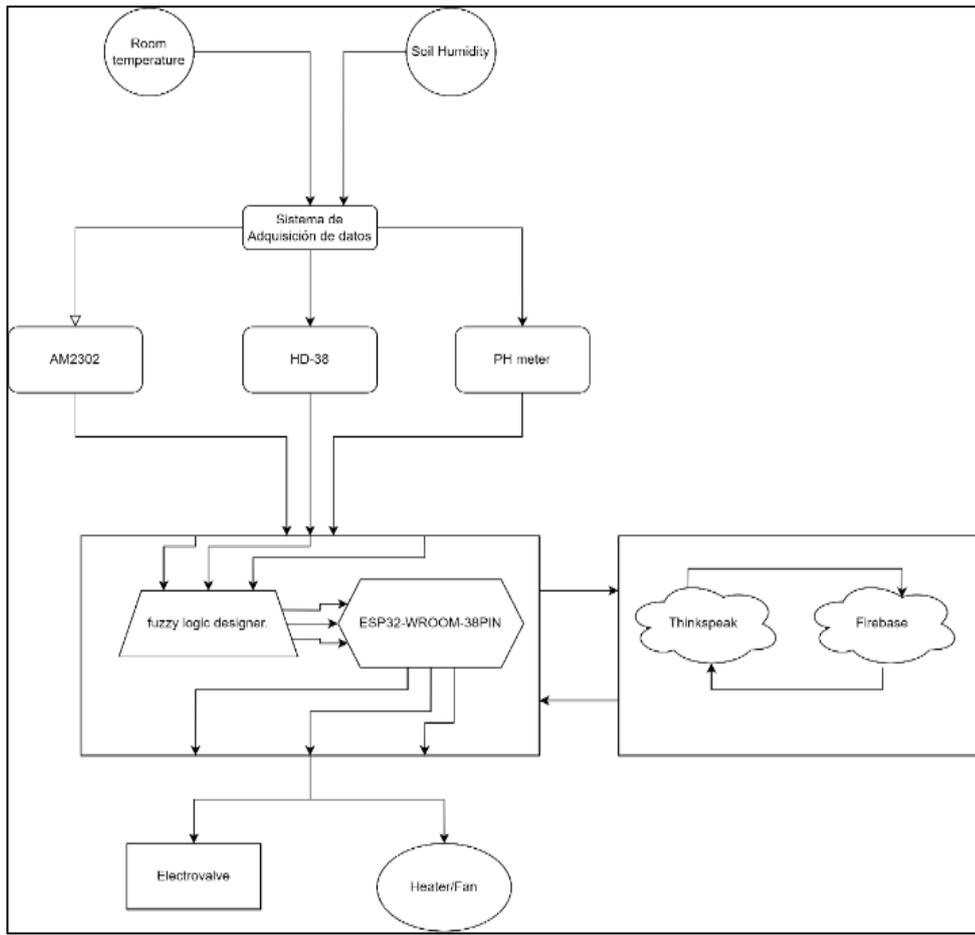


Ilustración 3-19: Diagrama de bloques del sistema una manera más detallada

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

La adquisición de datos por medio de la lectura de las variables mediante los sensores. Esto datos son las entradas del controlador y las operaciones difusas se realizan en la tarjeta de desarrollo ESP32. Los datos se envían al sistema IoT y los actuadores realizan las acciones indicadas.

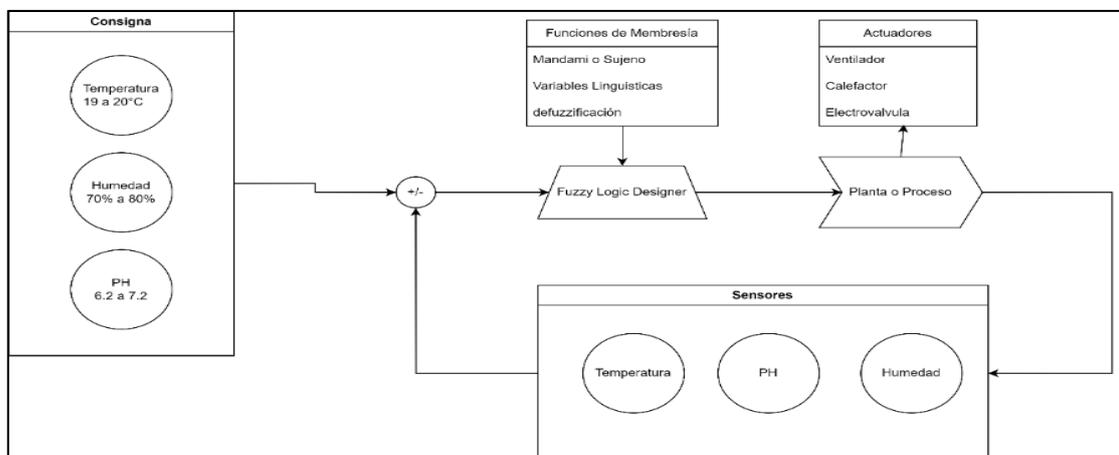


Ilustración 3-20: Diagrama de bloques del sistema las partes que conforman el sistema

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

La segunda parte la componen los setpoints o consignas, los sensores, la planta o proceso y el sistema de control.

3.9. Desarrollo sistema de control difuso

Como se puede observar, el software más recomendable por su herramienta de FuzzyLogic, que es una herramienta propia para programas con lógica difusa, se opta por trabajar con el software MATLAB. Permite desarrollar el controlador mediante las funciones de membresía y reglas. A continuación, en la ilustración 3-19 se puede observar la creación del sistema Mamdani.

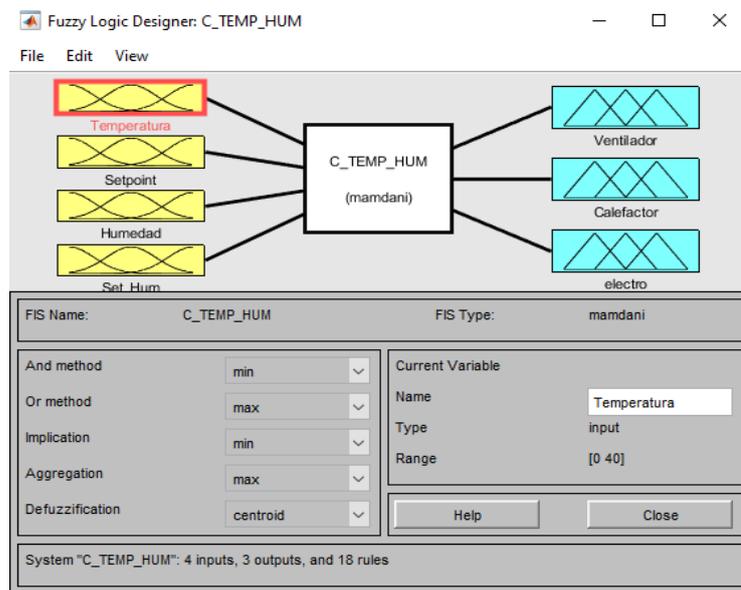


Ilustración 3-21: Salidas y entradas del sistema difuso.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Como se observa el sistema cuenta con las entradas para la humedad del suelo, temperatura ambiente, setpoint de temperatura, setpoint de humedad, mientras que en las salidas se tienen los actuadores para el ventilador, calefactor y electroválvula.

Dentro de las funciones de membresía se ajustan los valores, de acuerdo con los que se espera tener tanto en temperatura como humedad medidos en el ambiente real.

3.9.1. Temperatura

Para la función de membresía de temperatura se trabaja con 3 indicadores, los cuales son: temperatura baja, óptima y alta. Los valores de temperatura están en el rango de 0 y 40 grados centígrados, como se muestra en la Ilustración 3-20.

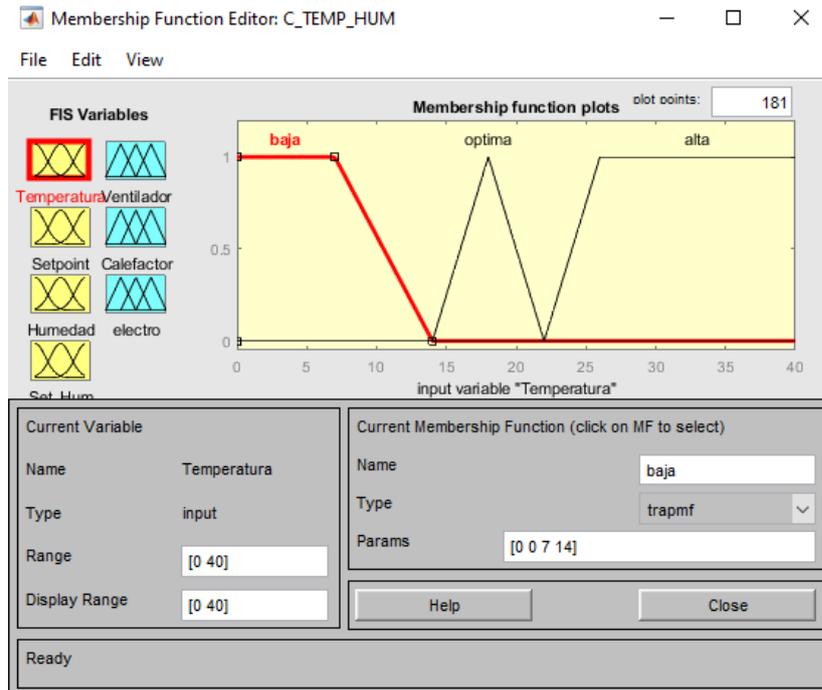


Ilustración 3-22: Indicadores de temperatura del sistema difuso

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Para los valores del setpoint se trabaja con el mismo valor de los intervalos de temperatura, por tanto, se tiene indicadores, bajos, óptimos y altos. Como se muestra en la ilustración 3-21.

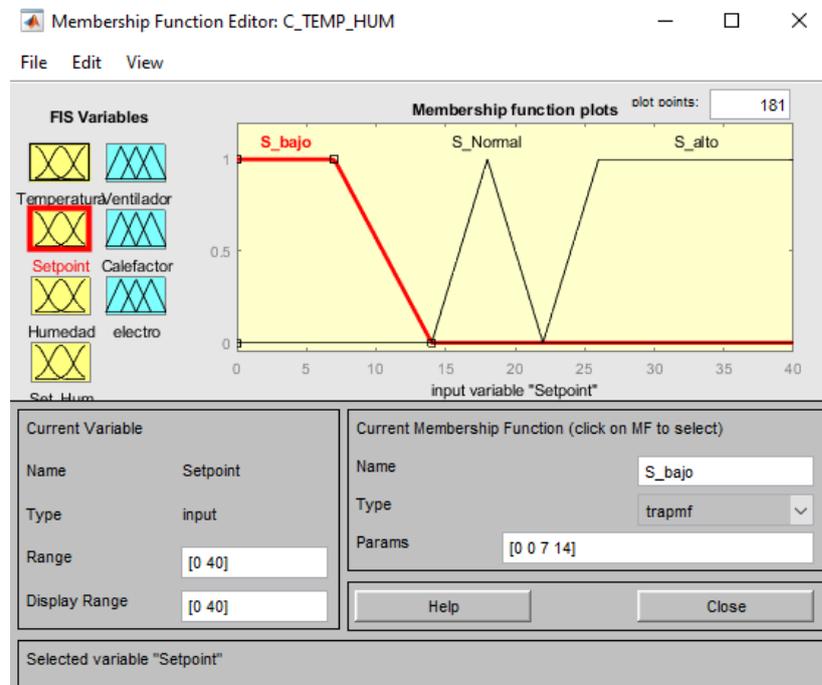


Ilustración 3-23: Indicadores Setpoint temperatura.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.9.2. Humedad

Para la variable de humedad se trabaja en un intervalo de 0% a 100%, en los cuales las lombrices comen poco, óptimo y malo, como se muestra en la ilustración 3-22, en el intervalo de 0% a 70% dichas lombrices están en un ambiente no óptimo, por lo que se necesita de un sistema de riego para mantener su humedad estable.

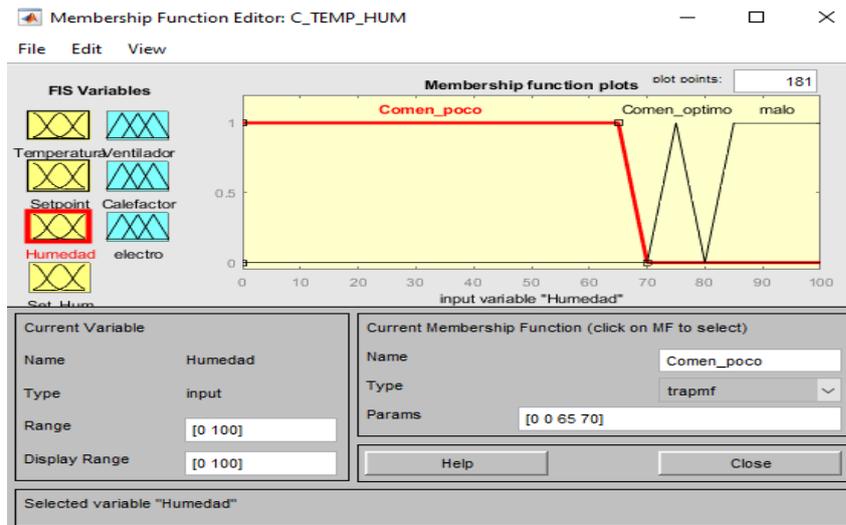


Ilustración 3-24: Indicadores Setpoint humedad.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Para los valores del setpoint se trabaja con el mismo valor de los intervalos de humedad, teniendo indicadores, los cuales son electroválvula cerrada y electroválvula abierta, como se indica en la ilustración 3-23.

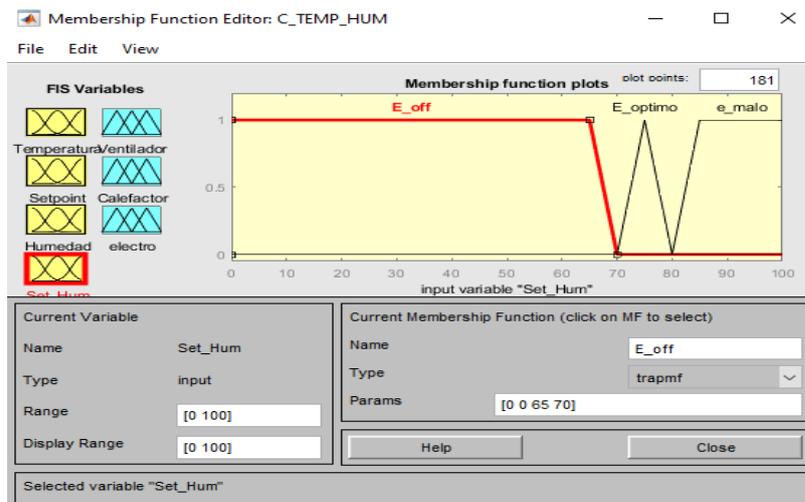


Ilustración 3-25: Indicadores porcentaje humedad.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.9.3. Reglas

Dado el número de indicadores por entrada y salida, el sistema difuso cuenta con 18 reglas, las cuales se pueden observar en la Ilustración 3-24 y en la Ilustración 3-25.

Para la creación de las reglas se usó el conector and, con las principales reglas:

- Temperatura baja y setpoint de temperatura bajo, se mantendrían los actuadores apagados.
- Temperatura baja y setpoint de temperatura normal, se encendería el calefactor para alcanzar la temperatura adecuada dentro del invernadero.
- Temperatura optima y setpoint optimo, el sistema permanecería apagado.
- Temperatura elevada y setpoint optimo, se activaría la ventilación para liberar el calor interno del invernadero.

Así mismo para el sistema de riego, donde entre las principales reglas están:

- Humedad baja y setpoint de humedad optimo se encendería el sistema de riego del invernadero.
- Humedad optima y setpoint de humedad optimo se mantendría el sistema de riego apagado.
- Entre otras reglas, para mejorar el tiempo de reacción.

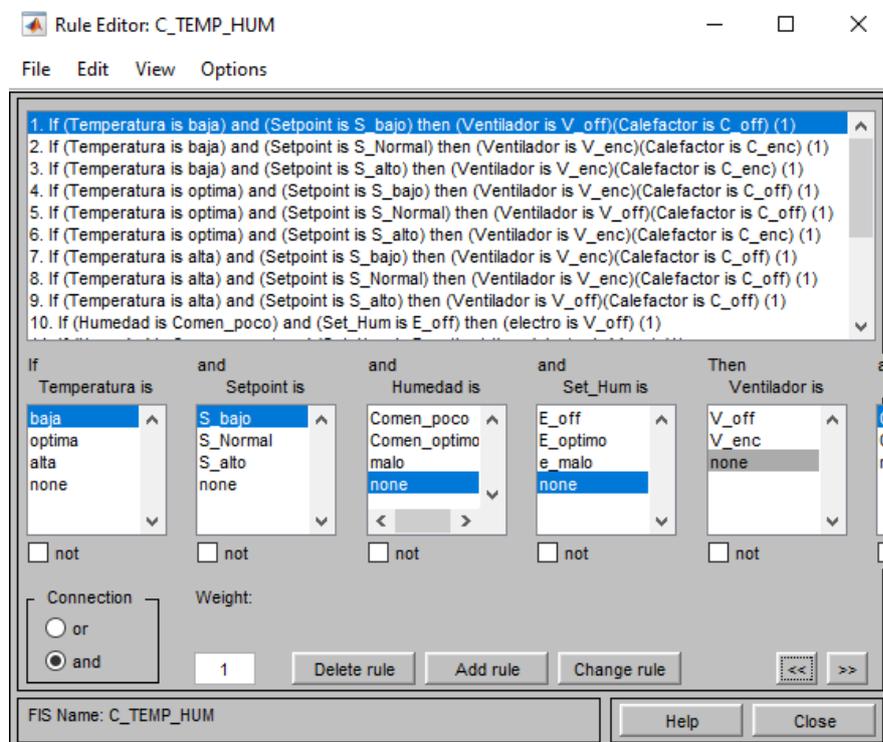


Ilustración 3-26: Reglas insertadas en sistema difuso.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

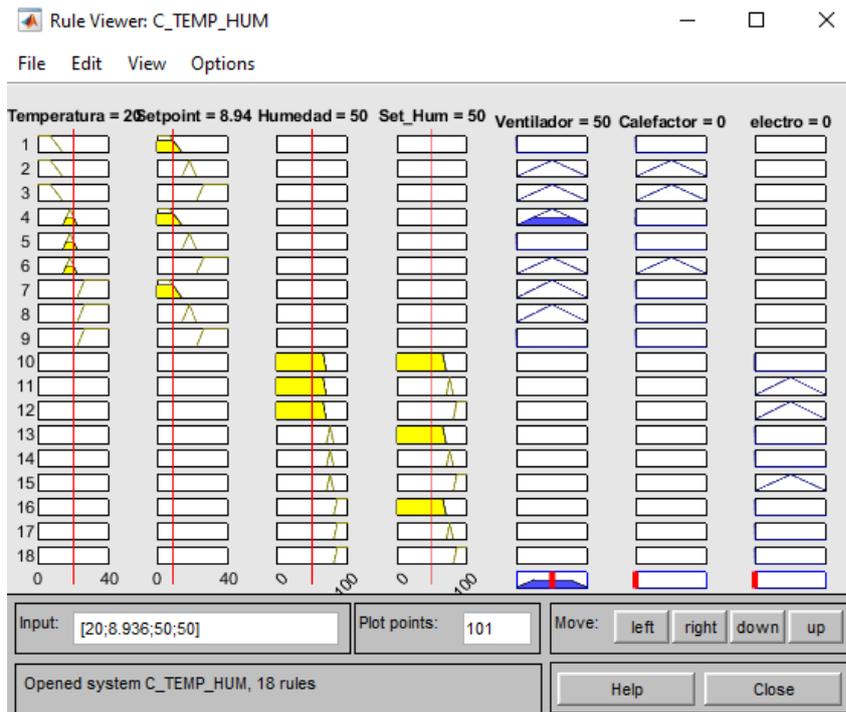


Ilustración 3-27: Zona de las distintas reglas.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.10. Desarrollo sistema IoT

Para la implementación del sistema IoT se procede a configurar el router con los parámetros como el nombre de la red y su contraseña para asegurar la conexión a Internet como se observa en la Ilustración 3-26.



Ilustración 3-28: Configuración red inalámbrica de internet

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Una vez configurado el equipo se procede a conectar a la nueva red de internet, para realizar la conectividad con la tarjeta de desarrollo. En la ilustración 3-27 se puede observar la red disponible con acceso a internet.

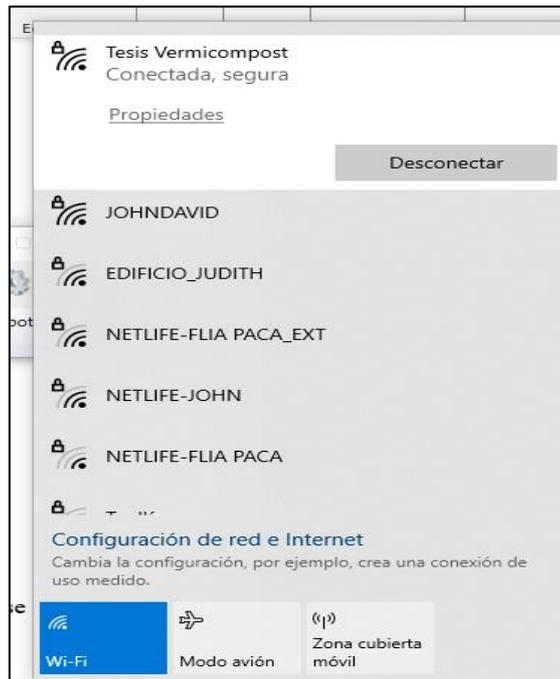


Ilustración 3-29: Red creada para sistema IoT.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Con esta conexión se programa el código con extensión .ino de Arduino, agregando la librería “WiFi.h”. En la ilustración 3-28 se observa los comandos agregados para la conectividad de la tarjeta de desarrollo con la red de internet.

```
#define WIFI_SSID "Tesis Vermicompost" //NOTA: Cambiar si se coloca en otro lado
#define WIFI_PASSWORD "12345678ec"//NOTA: Cambiar si se coloca en otro lado
#define FIREBASE_AUTH "https://esp32data-6b54a-default-rtdb.firebaseio.com/" //NOTA: Base de datos ubicacion
#define FIREBASE_HOST "A4urAFQNW6zKPI7yprQ76eQfsmvplw5BvdLUza3Gg" //Autenticacion
```

Ilustración 3-30: Programación para conexión IoT.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Para verificar la conexión de la tarjeta a internet se tiene la instrucción *while*, la cual verifica la conexión como se muestra en la ilustración 3-29.

```
//Connect to WiFi
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
Serial.println("Connecting");
while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
  Serial.println(".");
  delay(5000);
}
Serial.println();
Serial.println("Connected:");
Serial.println(WiFi.localIP());
```

Ilustración 3-31: Verificación para conexión internet

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.11. Desarrollo entorno Web

Para la creación del entorno web se utiliza el software ThingSpeak, que es muy útil por ser una plataforma IoT abierta para análisis en Matlab. Para acceder a esta plataforma se necesita crear una cuenta en el sitio, para posteriormente crear un canal, sea público o privado. En la ilustración 3-30 se puede apreciar la interfaz del entorno web creado para recibir datos en tiempo real.

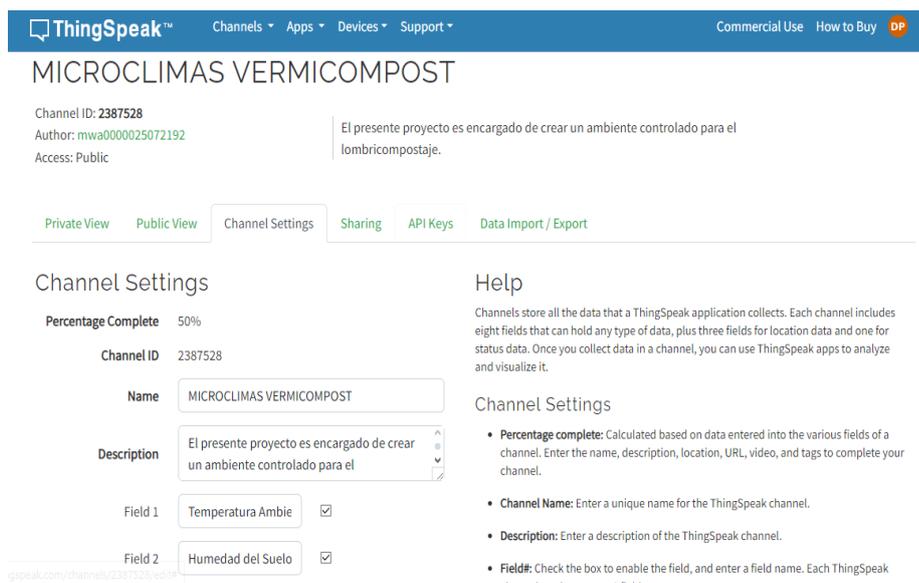


Ilustración 3-32: Configuración de canal de visualización

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.12. Creación placa PCB

Para la creación de la placa PCB se utiliza el programa KiCad, donde se puede diseñar distintos componentes electrónicos, tanto su diagrama esquemático como su conexión en placa.

3.12.1. Diseño esquemático

Como se puede observar, el software más recomendable por ser un software libre y tener mayor número de componentes en sus librerías, es Kicad, ya que con este se puede dar un acabado más profesional.

Aunque también fue necesario descargarse librerías adicionales, no se utilizaron unión por líneas, sino la unión con banderas como se muestra en la Ilustración 3-31.

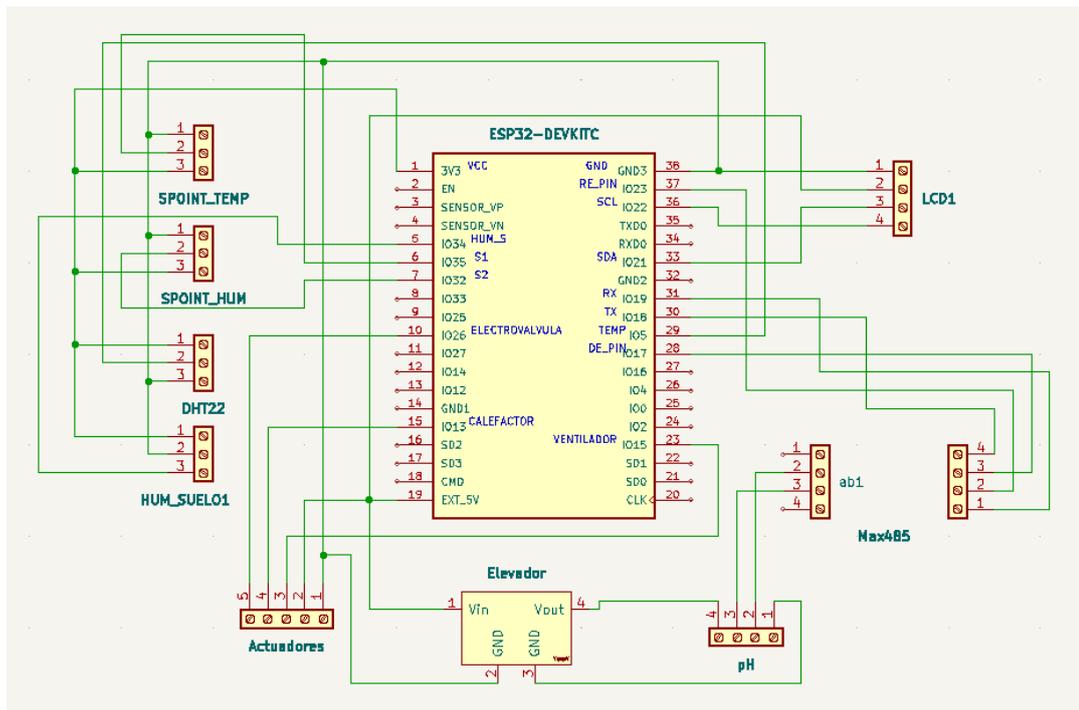


Ilustración 3-33: Esquemático de sistema IoT.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

3.12.2. Diseño de la placa

Para el diseño de la placa se hizo necesario usar doble capa, para así evitar el cruce de líneas, y darle un mayor ahorro de espacio. En la ilustración 3-32 se puede observar el diseño desarrollado.

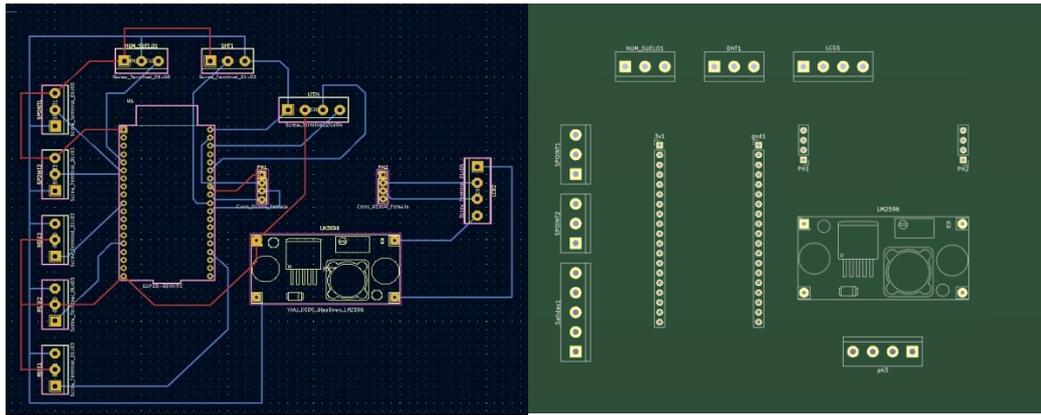


Ilustración 3-34: Diseño placa doble cara PCB.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Para la instalación del panel de control se utilizó los siguientes materiales detallados en la tabla 3-13 a continuación.

Tabla 3-13: Elementos para la instalación del tablero de control.

Cantidades	Materiales (Eléctricos/Electrónicos/Construcción)	Características
1 caja	De conexiones eléctricas de plástico	100 mm x 100 mm x 50 mm
1 caja	Tornillos	30 mm
1 rollo	Alambre de timbre #22 AWG	120V AC
3 rollos	Manguera corrugada ½ inch	negra
3 metros	Cable gemelo #16 AWG	300V AC/ 13A
10 unidades	Abrazaderas de ½ inch	2 ojales
2 unidades	Borneras eléctricas de cobre	12 polos-15A
4 unidades	Canaleta PVC	2m x 20mm x 20mm
1 modulo	Relé de 6 canales	5V DC / 120V-2A
1 placa	PCB de cobre	10 cm x 22 cm
1 metro	Cable multipar telefónico	8 hilos
1 modulo	Convertidor	TTL a RS485 MAX485
1 modulo	Convertidor elevador de voltaje DC/DC	5V - 24V
6 unidades	Conectores borneras	color azul de 2 pines
5 unidades	Espadines macho/hembra	40 pines
1 modulo	ESP32	WROOM de 38 pines
1 pantalla	LDC	16 celdas x 4 celdas
30 cables	Dupont #28 AWG	macho/hembra
1 unidad	Cable USB	micro tipo B
1 unidad	Cargador	120V AC/ 5V DC

1 unidad	DHT22	Sensor de temperatura/humedad ambiente
1 unidad	Higrómetro	Tipo Hd-38
1 unidad	JXBS-3001-PH-V05	Sensor de PH suelo
2 unidades	Electroválvulas de ½ inch	120V AC
2 unidades	Ventilador/Calefactor	NF15-16BA
1 modulo	Wireless N router	300 Mbps

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan los resultados de las evaluaciones realizadas en el sistema IoT de supervisión y control de microclimas mediante lógica difusa aplicado a un lote de vermicompost en la ESPOCH. Estos resultados se obtienen mediante las pruebas de funcionamiento del sistema, validación de sensores, estabilidad, comunicación, visualización, validación profesional y costos comparativos frente a otros sistemas.

4.1. Consideraciones generales

Para la verificación del sistema se toma en cuenta la validación de cada uno de los sensores mediante instrumentos de medición existentes en el mercado.

Para la validación se toman 30 muestras por cada sensor y equipo patrón para analizar el error absoluto y error relativo con un nivel de confianza del 95%. Si el error relativo menor al 5% se considera una buena medición, caso contrario, los sensores se consideran poco fiables para el sistema.

4.2. Validación de sensores

Para la validación de nuestro equipo se utilizaron los siguientes equipos; DT8550AH INFRARED THERMOMETER que nos sirve para medir la temperatura y el OAKTON ecotestr pH and Humidity.

4.2.1. Validación de sensor DHT22

El sensor de temperatura y humedad de ambiente DHT22 se compara con el equipo de medición; DT8550AH INFRARED THERMOMETER como se muestra en la Ilustración 4-1.



Ilustración 0-1: Toma de muestras y validación del sensor

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

A continuación, se presenta la Tabla 4-1 para la validación del sensor de temperatura.

Tabla 0-1: Tabla error relativo sensor DHT22

Muestras	Medición de sensor DTH22	Medición de temperatura; DT8550AH INFRARED THERMOMETER	Error Absoluto	Error Relativo (%)
1	20	20,22	0,22	1,10
2	21	21,12	0,12	0,57
3	21	21,15	0,15	0,71
4	20	20,1	0,1	0,50
5	22	22,14	0,14	0,64
6	22	22,2	0,2	0,91
7	22	22,15	0,15	0,68
8	19	19,3	0,3	1,58
9	19	19,13	0,13	0,68
10	19	19,2	0,2	1,05
11	19	19,1	0,1	0,53
12	20	20,08	0,08	0,40
13	20	20,16	0,16	0,80
14	22	22,13	0,13	0,59
15	22	22,15	0,15	0,68
16	23	23,18	0,18	0,78
17	23	23,17	0,17	0,74
18	23	23,12	0,12	0,52

19	23	23,13	0,13	0,57
20	18	18,12	0,12	0,67
21	18	18,1	0,1	0,56
22	17	17,14	0,14	0,82
23	18	18,09	0,09	0,50
24	18	18,12	0,12	0,67
25	20	20,19	0,19	0,95
26	20	20,14	0,14	0,70
27	19	19,15	0,15	0,79
28	19	19,16	0,16	0,84
29	21	21,1	0,1	0,48
30	20	20,19	0,19	0,95

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a realizar pruebas estadísticas en el software Rstudio, para obtener la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

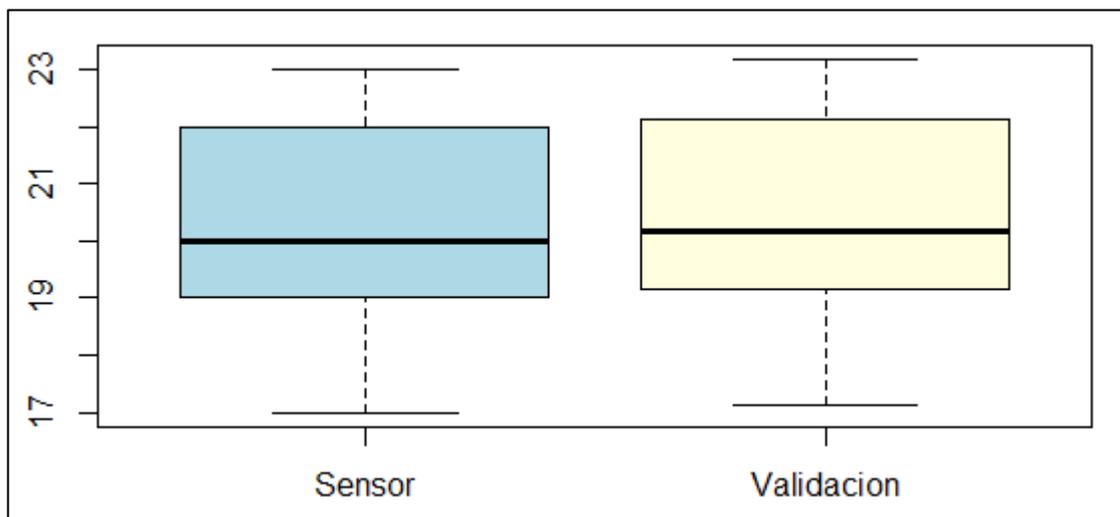


Ilustración 0-2: Diagrama de caja de sensor DHT22

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

```

F test to compare two variances

data:  Medición de sensor DTH22 and Medición de temperatura DT8550AH
F = 0.99459, num df = 29, denom df
= 29, p-value = 0.9884
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.4733902 2.0896312
sample estimates:
ratio of variances
 0.9945908

```

Ilustración 0-3: Toma de muestras y validación del sensor

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Como podemos observar en la Ilustración 4-2 y la 4-3, obtenemos la hipótesis nula además de la hipótesis alternativa que nos dice que la media del sensor DHT22 es menor que la media del sensor DT8550AH.

4.2.2. Validación sensor pH

Para la validación del sensor de pH se realiza una comparativa con un instrumento digital de medición de pH como equipo patrón. Este tiene una varilla anticorrosiva que se entierra en el suelo. A continuación, se presenta la Tabla 4-2 con los valores medidos y el error obtenido, en la ilustración 4-4 se puede observar datos reales obtenidos.



Ilustración 0-4: Toma de muestras y validación del sensor

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Tabla 0-2: Tabla error relativo sensor pH

Muestras	Medición de sensor pH JXBS-3001	Medición de pH digital	Error Absoluto	Error Relativo
1	6	6,2	0,2	3,33
2	6	6,3	0,3	5,00
3	6	6,1	0,1	1,67
4	6	6,1	0,1	1,67
5	6	6,3	0,3	5,00
6	6	6,3	0,3	5,00
7	7	7,1	0,1	1,43
8	7	7,2	0,2	2,86
9	7	7,1	0,1	1,43

10	7	7,3	0,3	4,29
11	5	5,4	0,4	8,00
12	5	5,3	0,3	6,00
13	6	6,2	0,2	3,33
14	6	6,2	0,2	3,33
15	7	7,2	0,2	2,86
16	6	6,4	0,4	6,67
17	7	7,1	0,1	1,43
18	7	7,1	0,1	1,43
19	6	6,1	0,1	1,67
20	6	6,1	0,1	1,67
21	6	6,3	0,3	5,00
22	7	7,4	0,4	5,71
23	7	7,2	0,2	2,86
24	5	5,2	0,2	4,00
25	7	7,1	0,1	1,43
26	6	6,3	0,3	5,00
27	6	6,2	0,2	3,33
28	6	6,2	0,2	3,33
29	7	7,1	0,1	1,43
30	6	6,2	0,2	3,33

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a realizar pruebas estadísticas en el software Rstudio, para obtener la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

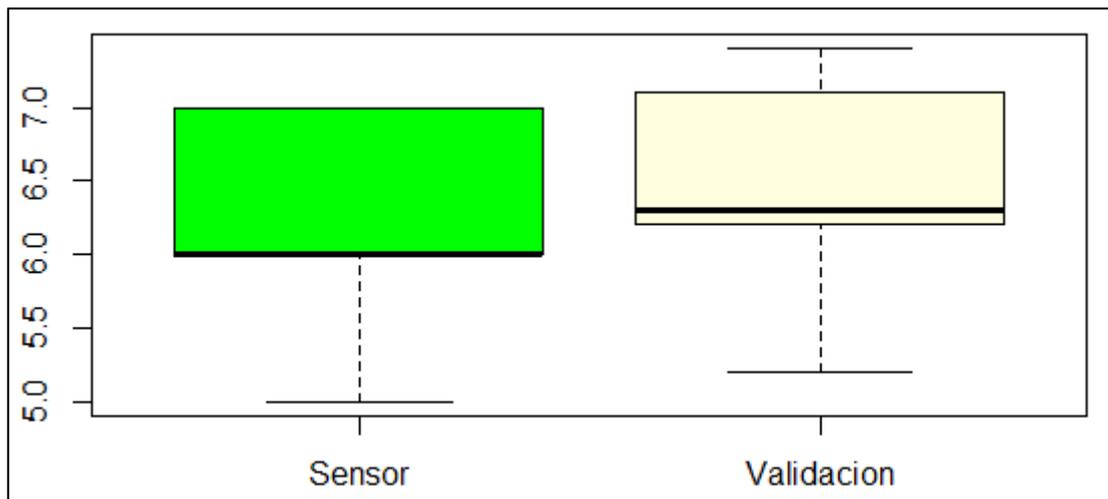


Ilustración 0-5: Diagrama de caja del sensor LXBS-3001 vs OAKTON ecotestr pH

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

```
F test to compare two variances

data: Medicion de sensor pH JXBS-3001 and Medicion de pH OAKTON ecotestr
F = 1.0994, num df = 29, denom df = 29, p-value = 0.8003
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.5232805 2.3098561
sample estimates:
ratio of variances
 1.09941
```

Ilustración 0-6: Resultados obtenidos al aplicar una prueba F de Fisher

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Como podemos observar en la Ilustración 4-5 y la 4-6, obtenemos la hipótesis nula además de la hipótesis alternativa que nos dice que la media del sensor JXBS-3001 es menor que la media del sensor OAKTON ecotestr pH.

4.2.3. Validación sensor de humedad del suelo

Para la validación del sensor de humedad del sistema se realiza una comparativa con un instrumento digital de medición de humedad. De forma similar a lo anterior, el equipo tiene una varilla anticorrosiva para enterrar en el suelo. A continuación, se presenta la Tabla 4-3 para evaluar el error en las muestras, y la ilustración 4-7, donde se observa la toma de datos.



Ilustración 0-7: Medidor humedad del suelo.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Tabla 0-3: Error relativo sensor de humedad

Muestras	Medición de sensor humedad	Medición de Humedad digital	Error Absoluto	Error Relativo
1	60	60,2	0,2	0,33
2	58	58,3	0,3	0,52
3	60	60,2	0,2	0,33
4	57	57,5	0,5	0,88
5	57	57,3	0,3	0,53
6	60	60,1	0,1	0,17
7	60	60,2	0,2	0,33
8	65	65,3	0,3	0,46
9	70	70,1	0,1	0,14
10	70	70,1	0,1	0,14
11	70	70,4	0,4	0,57
12	65	65,8	0,8	1,23
13	65	65,4	0,4	0,62
14	68	68,4	0,4	0,59
15	68	68,3	0,3	0,44
16	70	70,6	0,6	0,86
17	70	70,6	0,6	0,86
18	70	70,6	0,6	0,86
19	65	65,4	0,4	0,62
20	65	65,3	0,3	0,46
21	65	65,3	0,3	0,46
22	64	64,5	0,5	0,78
23	64	64,2	0,2	0,31
24	64	64,2	0,2	0,31
25	62	62,3	0,3	0,48
26	62	62,3	0,3	0,48
27	62	62,2	0,2	0,32
28	62	62,2	0,2	0,32
29	60	60,7	0,7	1,17
30	60	60,7	0,7	1,17

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Procedemos a realizar pruebas estadísticas en el software Rstudio, para obtener la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

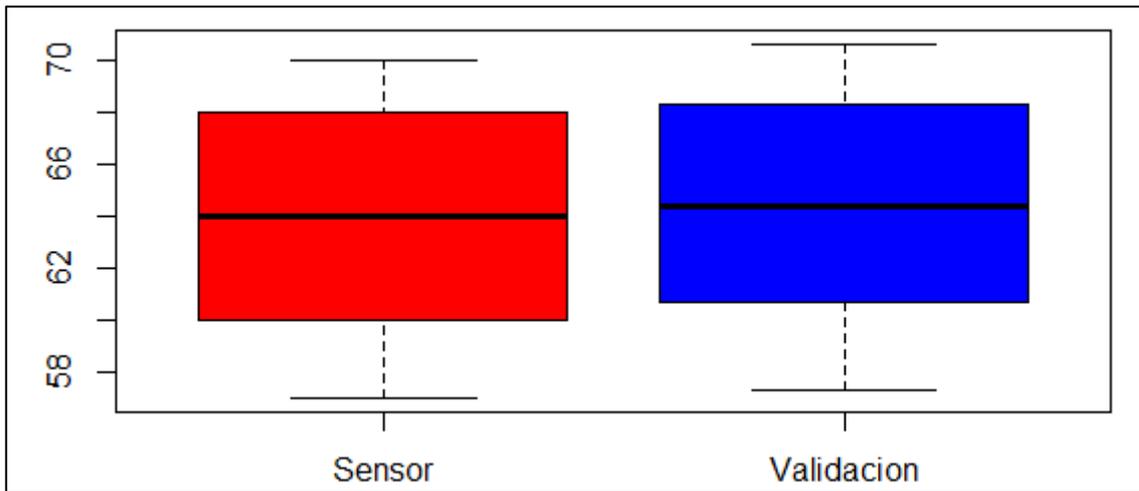


Ilustración 0-8: Diagrama de caja de sensor de humedad del suelo vs OAKATON

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

```

F test to compare two variances

data:  Medicion de sensor humedad and Medicion de Humedad OAKTON ecotestr
F = 0.98759, num df = 29, denom df = 29, p-value = 0.9734
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.4700589 2.0749264
sample estimates:
ratio of variances
 0.9875919

```

Ilustración 0-9: Resultados obtenidos al aplicar prueba F de Fisher.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Como podemos observar en la Ilustración 4-8 y la 4-9, obtenemos la hipótesis nula además de la hipótesis alternativa que nos dice que la media del sensor de humedad del suelo es menor que la media del sensor OAKTON ecotestr Humidity.

4.3. Validación del prototipo

Para validar el sistema se toma en cuenta el control de lógica difusa, teniendo en cuenta la activación de los controladores mediante las reglas del control difuso.

4.3.1. Validación del control de ventilación

Para el análisis de la ventilación, se toma en cuenta el factor de temperatura elevada y el tiempo tarda el sistema en volver a la temperatura deseada. Para ello, se ha tomado 30 muestras cada 3

minutos en horas del mediodía cuando la temperatura ambiente es mayor en Riobamba. La Tabla 4-4 muestran los datos obtenidos.

Tabla 0-4: Validación sistema de climatización

N° Muestras	Hora	Temperatura °C
1	12:03:15	23°
2	12:06:30	22°
3	12:09:15	22°
4	12:12:15	22°
5	12:15:30	22°
6	12:18:15	22°
7	12:21:45	22°
8	12:24:30	22°
9	12:27:15	22°
10	12:30:30	22°
11	12:33:15	22°
12	12:36:45	22°
13	12:39:15	22°
14	12:42:30	22°
15	12:45:15	22°
16	12:48:45	22°
17	12:51:30	22°
18	12:54:15	22°
19	12:57:45	22°
20	13:00:15	22°
21	13:03:15	22°
22	13:06:30	22°
23	13:09:15	22°
24	13:12:15	22°
25	13:15:30	22°
26	13:18:15	22°
27	13:21:45	22°
28	13:24:30	22°
29	13:27:15	22°
30	13:30:30	22°

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a realizar pruebas estadísticas en el software Rstudio, para obtener la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

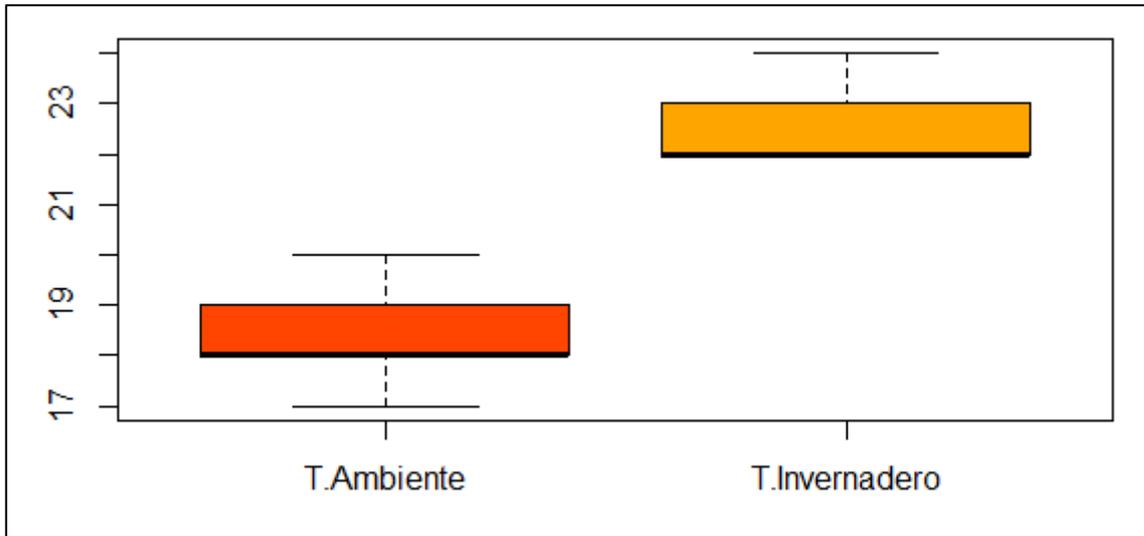


Ilustración 0-10: Diagrama de caja de la temperatura ambiente vs temperatura invernadero

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

```

F test to compare two variances

data:  Temperatura ambiente (°C) and Temperatura invernadero (°C)
F = 1.5979, num df = 29, denom df = 29, p-value = 0.213
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.7605273 3.3571072
sample estimates:
ratio of variances
 1.597865
    
```

Ilustración 0-11: Resultados obtenidos al aplicar prueba F de Fisher.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Como podemos observar en la Ilustración 4-10 y la 4-11, obtenemos la hipótesis nula además de la hipótesis alternativa que nos dice que la media de la temperatura ambiente es menor que la media de la temperatura del invernadero.

Tabla 0-5: Validación sistema de climatización por semana.

Nº Muestras	Temperatura
1 semana	22°
2 semana	22°
3 semana	22°

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la tabla 4-5 se indican las muestras por semana indicando que el tiempo de climatización es menor a 3 minutos para mantener la temperatura deseada, activando su ventilador para expulsar el aire caliente y desactivando cuando se llega a la temperatura adecuada.

4.4. Gráficas obtenidas del prototipo instalado

DHT22: En la Ilustración 4-12, se observan las 30 muestras tomadas cada segundo, por el sensor de temperatura. Se puede observar una tendencia de 24 grados centígrados, la cual, es adecuada para la reproducción de las lombrices.

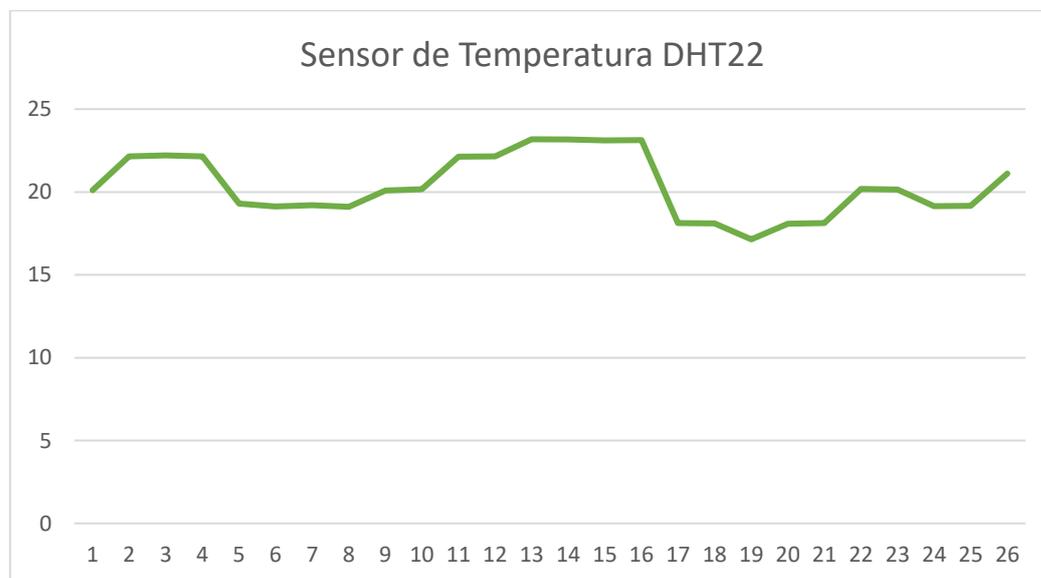


Ilustración 0-12: Grafica muestras de temperatura.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Módulo Sensor Humedad Suelo Higrómetro: Las lombrices necesitan una humedad promedio entre 70% a 80% para asimilar correctamente su alimento. Si la humedad fuera mayor al 80%, a las lombrices se les dificulta procesar el alimento y por ende producen menores cantidades de humus. Si la humedad fuera menor del 70% puede perjudicar su respiración y pueden morir. En la Ilustración 4-13, se muestra

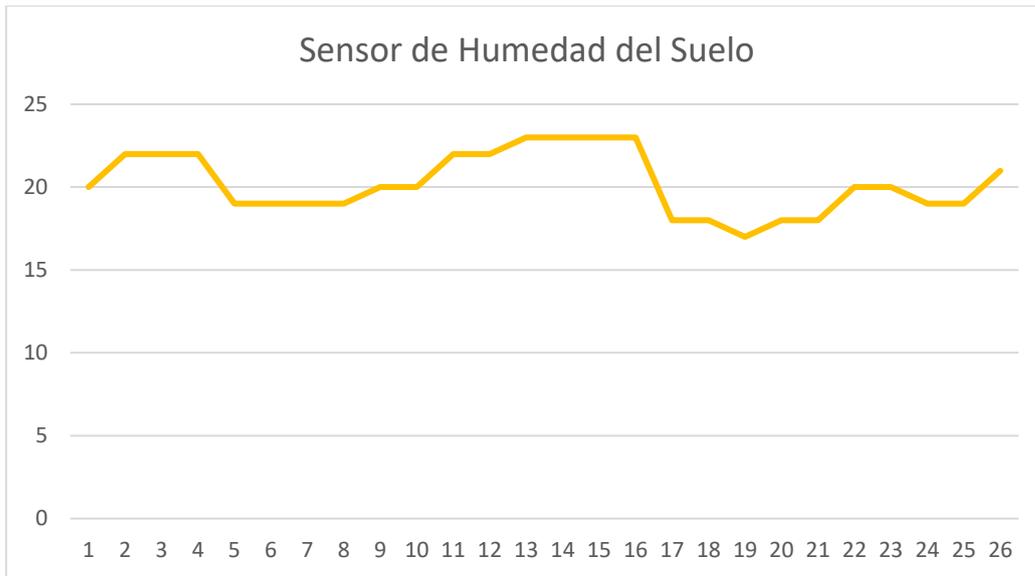


Ilustración 0-13: Grafica muestras humedad del suelo.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Sensor de PH del Suelo JXBS-3001-PH-V05: Se debe tomar en cuenta que los valores adecuados de pH en la cama de vermicompost son entre 6 y 7. Esto significa que los valores son normales para la alimentación de las lombrices acelerando su crecimiento. En la Ilustración 4-14, se tienen las muestras tomadas cada segundo a las 11 de la mañana.

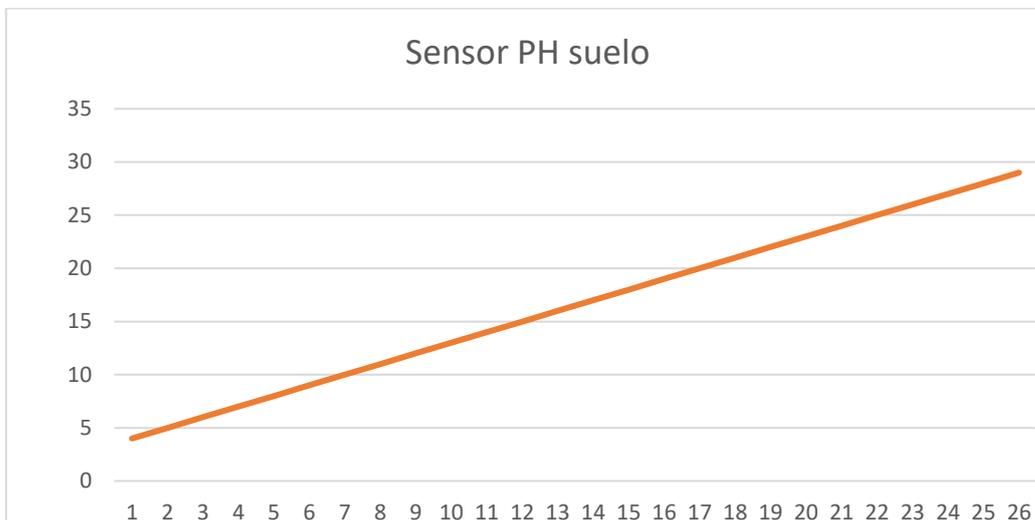


Ilustración 0-14: Grafica muestras de sensor de PH.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

4.4.1. Validación sistema de riego

Para el análisis del sistema de riego, se toma en cuenta la variable de humedad del suelo considerando la activación del sistema en condiciones por debajo del valor deseado. Cuando el

suelo se encuentra seco con un valor menor al 70% de humedad, se activan las electroválvulas del sistema de riego hasta alcanzar el valor deseado. En la Tabla 4-6 se muestra los datos obtenidos.

Tabla 0-6: Tabla de valores de humedad del suelo

N° Muestras	Hora	Humedad (%)
1	12:03:15	60%
2	12:06:30	66%
3	12:09:15	70%
4	12:12:15	72%
5	12:15:30	72%
6	12:18:15	72%
7	12:21:45	72%
8	12:24:30	72%
9	12:27:15	72%
10	12:30:30	72%
11	12:33:15	72%
12	12:36:45	72%
13	12:39:15	72%
14	12:42:30	72%
15	12:45:15	72%
16	12:48:45	72%
17	12:51:30	72%
18	12:54:15	72%
19	12:57:45	72%
20	13:00:15	72%
21	13:03:15	72%
22	13:06:30	72%
23	13:09:15	71%
24	13:12:15	71%
25	13:15:30	71%
26	13:18:15	71%
27	13:21:45	71%
28	13:24:30	71%
29	13:27:15	71%
30	13:30:30	71%

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a realizar pruebas estadísticas en el software Rstudio, para obtener la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

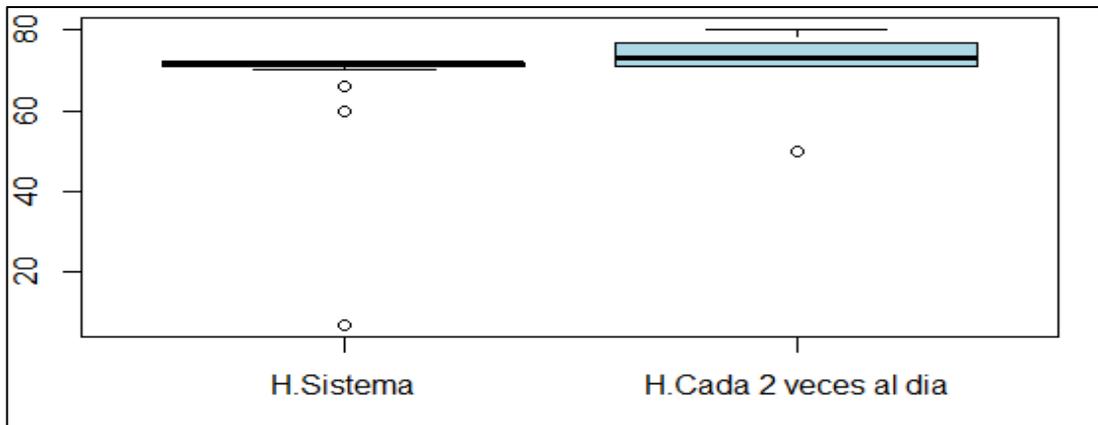


Ilustración 0-15: Diagrama de caja de humedad del sistema vs la humedad cada 2 días

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

```

F test to compare two variances

data: Humedad por el sistema (%) and Humedad cada 2 veces por día (%)
F = 2.2136, num df = 29, denom df = 29, p-value = 0.03622
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 1.053590 4.650741
sample estimates:
ratio of variances
 2.213589
    
```

Ilustración 0-16: Resultados obtenidos al aplicar una prueba F de Fisher.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023.

Como podemos observar en la Ilustración 4-15 y la 4-16, obtenemos la hipótesis nula además de la hipótesis alternativa que nos dice que la media de la humedad del sistema es menor que la media de la humedad cada 2 veces al día.

Tabla 0-7: Validación sistema de riego por semana

Nº Muestras	Temperatura
1 semana	71%
2 semana	71%
3 semana	71%

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Como se puede observar en la tabla 4-7 una vez encendido el sistema de riego, alcanza su humedad desea, que está por encima de 70%.

4.5. Validación sistema IoT

Para la validación del sistema IoT, se toma en cuenta la recepción de los datos en tiempo real usando de plataforma de visualización *THINGSPEAK*. Para la transmisión de los datos se usa protocolo de comunicación MQTT. En la Ilustración 4-17 se presenta la pantalla principal durante la recepción de los datos.



Ilustración 0-17: Visualización datos tiempo real.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

4.6. Validación de sistema difuso

Para la validación del sistema con lógica difusa, se toma en cuenta distintos valores en los setpoint, tanto de temperatura como de humedad. Además, se consideran las reglas ingresadas como se muestra en la Ilustración 4-18. A medida que los valores del setpoint cambian se observa el cumplimiento de las reglas establecidas.

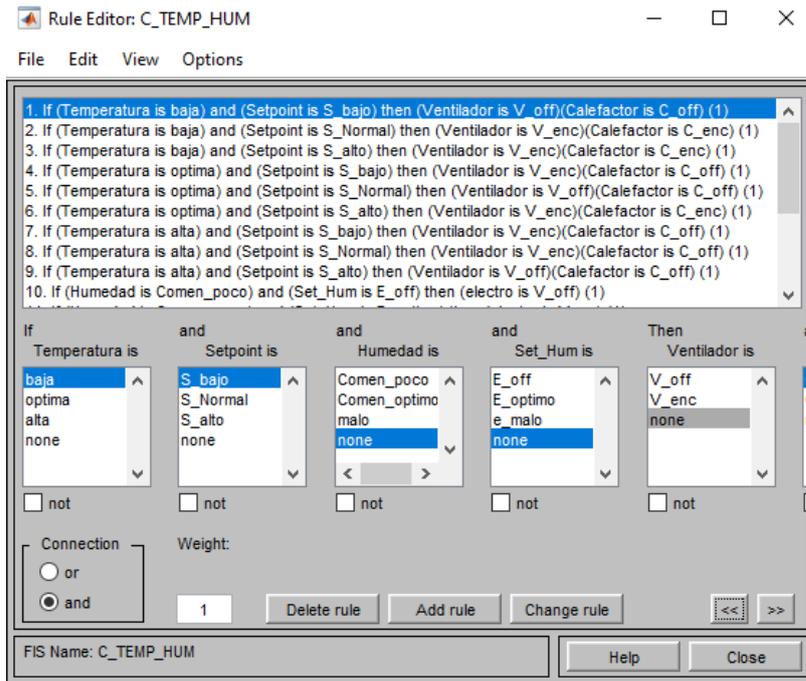


Ilustración 0-18: Reglas sistema difuso.

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

Tabla 0-8: Funcionamiento de la lógica difusa de acuerdo con los valores de setpoint de (humedad y temperatura).

Setpoint Temperatura	Setpoint Humedad	Calefactor	Ventilador	ElectroValvula
Baja	Bajo	On	Off	On
Bajo	Alto	On	Off	Off
Alto	Bajo	Off	On	On
Alto	Alto	Off	On	Off

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

En la tabla 4-8 realizamos una breve descripción sobre la forma que actúa el controlador difuso, además solo tomamos en cuenta los valores de setpoint porque son los valores que vamos a manipular, la característica principal es que tenemos un rango de funcionamiento de acuerdo a las variables de temperatura, humedad y pH que habíamos descrito en la parte del marco metodológico. En la ilustración 4-19 se puede observar el tablero con los relés activados en las distintas pruebas.



Ilustración 0-19: Indicador de pantalla con relés activos

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

4.7. Costos de proyecto

El presente proyecto es autofinanciado por los proponentes. En la tabla 4-9 se presentan los costos asociados a los componentes electrónicos usados en el proyecto.

Tabla 0-9: Tabla de costos de proyecto

Producto	Cantidad	Precio U.	Total
Modulo ESP32	1	\$ 13,00	\$ 13,00
Sensor AM2302	1	\$ 11,00	\$ 11,00
Sensor HD-38	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Sensor PH suelo RS485	1	\$ 70,00	\$ 70,00
Electroválvula	2	\$ 12,00	\$ 24,00
Pantalla LCD 16*4	1	\$ 16,00	\$ 16,00
Elevador de voltaje	1	\$ 4,00	\$ 4,00
Modulo max485	1	\$ 3,50	\$ 3,50
Modulo relé	6	\$ 2,00	\$ 12,00
Placa PCB	1	\$ 10,00	\$ 10,00

Potenciómetro	2	\$ 0,60	\$ 1,20
Cable eléctrico	50	\$ 1,20	\$ 60,00
Router	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Interruptor 3 pines	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Gabinete plástico	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Cubierta plástica negra	50	\$ 2,25	\$ 112,50
Tubo plástico pvc	40	\$ 5,50	\$ 220,00
Cajón de madera	2	\$ 70,00	\$ 140,00
Manguera para goteo	25	\$ 0,30	\$ 7,50
Manguera corrugada	30	\$ 0,40	\$ 12,00
Equipos electrónicos	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Total			\$ 800,70

Realizado por: Pulla D., Gavilanes D, 2023

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La implementación del sistema de microclimas mediante lógica difusa es de gran avance en el mundo de la lombricultura, debido a que un ambiente controlado, acelera el proceso de producción, tanto de lombrices, humus o lixiviado, garantizando un mayor tiempo de producción y vida de la lombriz.
- Mediante revisiones bibliográficas, se tomó para el sistema de microclimas los rangos de 16°C a 24°C los óptimos para la crianza de las lombrices, así mismo se tomó para la humedad del suelo un rango de 70% a 80% el cual es el adecuado para la crianza de las lombrices, se manejó dichos parámetros para el sistema IoT de supervisión y control de microclimas.
- La Hipótesis nula es aquella que, valida nuestro sistema, teniendo en pH el porcentaje de confianza de 95% con un radio de variación de 1.09, para la Humedad de suelo el porcentaje de confianza arrojo un 95% con un radio de variación de 0.98 mientras que para la Temperatura un porcentaje de confianza del 95% con un radio de variación de 0.99 en cada uno de los sensores respectivamente.
- El sistema ha medido además de comprobado con otros equipos de medición comprobados, dando resultados aceptables dentro de los rangos y muestras establecidas, según las pruebas realizadas en el software RStudio se han implementado pruebas F Fisher, las cuales arrojan datos de hipótesis alternativa verdaderos en cada uno de los sensores, con un 95% de validez del equipo implementado.
- La comunicación con los sensores y la nube se hacen en un tiempo de milisegundos obteniendo los mismos resultados en la aplicación web como en el tablero de control, su resultado final ha sido un sistema a la medida de los requerimientos establecidos en el proyecto de titulación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para seguir obteniendo mejores resultados sobre la lombricultura se debería aumentar la cantidad de dispositivos de adquisición de datos (sensores), además de actuadores que tengan una mayor respuesta a los cambios que detecten, como también otros dispositivos que midan parámetros diferentes a los ya expuestos en el documento.
- Para mejorar el sistema de lombricultivo, se debe tomar en cuenta que las zonas donde se vaya a instalar tengan: distribución eléctrica, agua potable, y actualmente Redes de comunicaciones. Debido a que, si no se tiene alguno de los requerimientos planteados, se dificulta su etapa de instalación debido a que estos factores son esenciales en el desarrollo de la lombriz
- Adicionalmente a la técnica de control inteligente previamente mencionada, se sugiere recomienda la adopción de otra técnica de control inteligente, como por ejemplo las redes neuronales. Las redes neuronales en control son empleadas debido a su habilidad para aprender el comportamiento no lineal de las variables de un proceso. Esta capacidad puede ser aprovechada en el desarrollo de sistemas que actúen como simuladores, identificadores o controladores.
- Se debe explorar otro tipo de comunicación auxiliar como por ejemplo XBee Las pequeñas radios pueden comunicarse inalámbricamente entre sí, sustituyendo cables en comunicaciones seriales, lo cual es útil en la creación de vehículos radiocontrolados. Estas radios disponen de entradas y salidas digitales y analógicas que permiten el control remoto de dispositivos, así como la conexión y lectura de datos de sensores de forma remota. De igual forma nos permite visualizar los datos de la misma manera que el protocolo que aplicamos para descargar los datos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALCÁNTARA, Sebastián.** pHmetro (Medidor de pH) - Laboratorio Químico. [En línea]. 2023. [Consulta: 01 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/phmetro.html>.
2. **AUNG, Shune.; et al.** An Application of Code Writing Problem Platform for Python Programming Learning," 2022 *IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, [En línea], 2022, pp. 856-857, [Consulta: 15 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/gcce56475.2022.10014360>.
3. **BRUNO, Andrés.** Microelectrónica Componentes SRL. [En línea]. 2019. [Consulta: 22 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.microelectronicash.com/downloads/ESP32_MANUAL.pdf.
4. **CÁRDENAS, Gabriela.** La lombricultura: Perspectivas de la producción y comercialización, aplicación en la Provincia de Pichincha. [En línea]. (tesis). Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador, 2005. [Consulta: 25 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11372>.
5. **CHEN, Hui.; et al.** Research on Low Temperature Characteristics and Application of Temperature Sensor in Alpine Region," 2022 *IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, [En línea], 2022, pp. 1551-1556, [Consulta: 18 febrero 2024]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9846491>.
6. **PALMA, Cristian & RODRÍGUEZ, Stephanie.** *Tarjetas de Desarrollo: Herramientas para el diseño.* [En línea]. Dialnet. 2011. [Consulta: 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8793398>.
7. **De, L. C., Sebastian, B. D. C., Zuluaga, T., De Bogotá, U., Lozano, J. T., De Artes, F., Diseño, Y., Académica, Á., Diseño, D. E., Producto, D. E., & Hansen, E.** CYCLUS: Lombricultura urbana para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Bogotá D.C. [En línea]. (tesis). Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador, 2021. [Consulta: 25 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11372>
8. Gallego, F. V. Sensores y actuadores. En línea. 2015. [Consulta: 25 febrero 2024]. Disponible en: [https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/141046/12/PLA3_Sensores y actuadores](https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/141046/12/PLA3_Sensores%20y%20actuadores)
9. **HABER, Rodolfo.** Sistemas de Control Inteligente: Tendencia Actual y Desarrollos Futuros. *Archivo Digital UPM | Archivo Digital UPM* [en línea]. 2010 [Consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: https://oa.upm.es/54638/1/OA_UPM_2010b.pdf.
10. **HALFACREE, Gareth.** THE OFFICIAL Raspberry Pi Beginner's Guide How to use your new computer (P. King, Ed.; Primera, Vol. 1). Raspberry Pi Trading Ltd. [Consulta: 3 enero 2024]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/news/available-now-the-official-raspberry-pi-beginners-guide-5th-edition/>
11. **MORENO, Alfredo & CÓRCOLES, Sheila.** Aprende Arduino en un fin de semana. [en línea]. 2020. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/Arduinounfinseman.pdf>

12. **ORTEGA, Andres.** ¿Qué es el humus de lombriz? - Lombricentro. Lombricentro - Vermiculatura 100% indoor [en línea]. 2021 [Consulta: el 3 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://lombricentro.com/que-es-el-humus-de-lombriz/>
13. **Pallás, R.** Sensores y acondicionadores de señal (4th ed.). MARCOMBO, S.A. [en línea]. 2003. [Consulta: el 3 de diciembre de 2023]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Sensores_y_acondicionadores_de_se%C3%B1al.html?id=Eevyk28_fVkc&redir_esc=y
14. **Pirotta, V.** El Agrario. ¿Quiénes Son Los Principales Consumidores y Exportadores de Fertilizantes Del Mundo? [en línea]. 2021. [Consulta: el 3 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.elagrario.com/actualidad-quienes-son-los-principales-consumidores-y-exportadores-de-fertilizantes-del-mundo-52853.html>
15. **Reyes, E.** Tipos de Climas y microclimas. Fundamentos Científicos, 1–12. [en línea]. 2013. [Consulta: el 13 de enero de 2024]. Disponible en: <https://reyesrodriguez.files.wordpress.com/2013/06/tipos-de-climas.pdf>
16. **Richardson, M.** Getting Started With BeagleBone. Maker Media Inc, 1–3. [en línea]. 2014. [Consulta: 13 de enero de 2024]. Disponible en: www.it-ebooks.info
17. **Rodríguez, Ó.** Qué es el sensor de humedad, qué utilidad tiene y aplicaciones. [en línea]. 2023. [Consulta: el 14 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2021-08-17/que-es-sensor-de-humedad-utilidad-aplicaciones_3220448/
18. **Salguero, B., & Pintag, J.** DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONSTANTES VITALES NO INVASIVO CON BASE EN SENSORES Y VISIÓN ARTIFICIAL. (tesis). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba – Ecuador. 2023.
19. **Somarriba, R., & Guzmán, F.** Guía de Lombricultura. (4th ed.). [en línea]. 2004. [Consulta: 25 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/>
20. **Tania, L., & Isabel, C.** IoT, El Internet de las cosas y La innovación de sus aplicaciones. [en línea]. 2015. [Consulta: 30 enero 2024]. Disponible en: <http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Revistas/R2/2313-2340>
21. **Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R.** Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. [en línea], 2017, 8(2), 407–421. [Consulta: 30 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.60>
22. **Barra Zapata, O. E., & Barra Zapata, F.** Microcontroladores PIC con programación PBP. España: Ra-Ma. [en línea]. 2015. [Consulta: 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://libroweb.alfaomega.com.mx/book/microcontroladorespicprogramacionpbp>
23. **CÉSAR BARREIRO, J. L.** DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACION, PARA INVERNADEROS DE CULTIVOS DE FLORES, A TRAVÉS DE SOFTWARE. RIOBAMBA. [en línea]. 2009. [Consulta: 5 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/1677>

24. **De La Ossa De La Espriella, E., & De La Cruz Vega, L.** Transmisión de información de GPS por WIFI. Universidad del Norte. [en línea]. 2016. [Consulta: 5 febrero 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10584/5868>
25. **Estrella.** AGROFACTO. [en línea]. 2022. [Consulta: 22 enero 2024] Disponible en: <https://agrofacto.com/invernaderos-inteligentes/>
26. **Gallegos, E. F.** SISTEMA DE CONTROL DIFUSO PARA EL MONITOREO DE LA TEMPERATURA, LA HUMEDAD, EL PH Y LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN INVERNADEROS DE PLANTAS ORNAMENTALES. COLIMA. [en línea]. 2017.[Consulta: 22 enero 2024] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/397994613/Sistema-de-Control-Difuso-Para-El-Monitoreo-de-La>
27. **Grand, A.** orgprints. [en línea]. 2020.[Consulta: 1 febrero 2024] Disponible en: https://orgprints.org/40037/7/ES-COMPOST_%20VERMICOMPOST%20%281%29.pdfA
28. **Gtush.** Microclimas [en línea]. 28 de septiembre de 2019. [Consulta: 14 noviembre 2023] Disponible en: <https://www.gtush.com/microclimas/>
29. **KiCad.** INTRODUCCION KICAD. [en línea]. 2024. [Consulta: 15 enero 2024] Disponible en: <https://docs.kicad.org/7.0/en/introduction/introduction.html#welcome>.
30. **MANRIQUE., C. C.** MODELAMIENTO DEL MICROCLIMA Y DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA CULTIVOS HORTOFRUTICOLAS EN LAS SABANAS DE DEPARTAMENTO DE SUCRE. CARTAGENA. [en línea]. 2013. [Consulta: 29 diciembre 2023] Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1050/0069040.pdf?sequence=1>
31. **MATHWORKS.** MATHWORKS. [en línea] s.f.. [Consulta: 13 enero 2024] Disponible en: <https://la.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>
32. **MORALES, C. P.** ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA PARA EL IMCREMENTO EN LA GERMINACION Y CRECIMIENTO DE Cucumis sativus EN UN ANTROSOL EMPLEANDO ELECTRODOS MODIFICADOS CON ÓXIDOS DE METALES DE TRANSICIÓN. SANTIAGO DE QUERETARO. [en línea]. 2020.[Consulta: 22 diciembre 2023] Disponible en: <http://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/442>
33. **Naranjo, A. D.** PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL MANEJO DEL MICROCLIMA Y CONTROL DE BIODETERIORO DEL ARCHIVO Y BLIBLIOTECA DEL CONJUNTO CONVENTUAL DE LA ORDEN FRANSISCANA, QUITO. [en línea]. 2015.[Consulta: 20 noviembre 2023] Disponible en: <https://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/103/browse?type=author&order=ASC&rpp=75&value=Donoso+Naranjo%2C+Andres>
34. **Parra, P., Aguirre, S., & Reyes, M.** Automatización de un invernadero de Jitomates basada en lógica difusa. Mexico. [en línea].2005. [Consulta: 20 noviembre 2023] Disponible en: <http://hdl.handle.net/11285/631672>
35. **PILAGUANO, D. S.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEUN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA CONTROLAR EL MICROCLIMA EN UNA CAMARA DE GERMINACION Y ENRAIZAMIENTO. RIOBAMBA. [en línea]. 2020. [Consulta: 28 enero 2024] Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/14307>

36. **Python.** INTRODUCCION PYTHON. [en línea]. **2022.** [Consulta: 13 diciembre 2023] Disponible en: <https://www.python.org/about/>.
37. **Shijiazhuang , K. T.** Inteligente agrícola de efecto invernadero. Alibaba. [en línea]. **2020.** [Consulta: 15 octubre 2023] Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Smart-greenhouse-Intelligent-agricultural-remote-monitoring-1600266682930.html>
38. **SILVESTRE, S., & SALAZAR, J.** El mundo Internet of Things (IoT). [en línea]. 2020. [Consulta: 08 enero 2024] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185120/LM01_R_ES.pdf
39. **SUTHAR, S.** Feasibility of vermicomposting in biotabilization of sludge from a distillery industry. [en línea]. 2008.[Consulta: 14 noviembre 2024] Disponible en: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=950201>
40. **VACA, K. M.** DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE VENTILACION Y SUPERVISION DE VARIABLES CLIMATICAS PARA UN INVERNADERO, BASADO EN LA WEB PARA LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI. RIOBAMBA [En línea]. (TESIS). ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL CHUMBORAZO. RIOBAMBA-ECUADOR. 2023.
41. **VALDOVINOS, E. C.** SISTEMA DE CONTROL DIFUSO PARA MONITOREO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA EN CULTIVOS DE PLATANOS. COLIMA. [en línea]. 2018. [Consulta: 15 noviembre 2023] Disponible en: <https://dspace.itcolima.edu.mx>
42. **Yarlequé Adrianzén, J. C.** Sistema Web para la Trazabilidad Interna de la Empresa Tallanes Packers S.A.C”. Perú: Universidad César Vallejo. [en línea]. 2021.[Consulta: 24 enero 2024] Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75541>

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGOS DE TARJETA DE DESARROLLO PROGRAMADA EN EL IDE DE ARDUINO

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Tesis4.ino
1 //////////////////////////////////////////////////Lombricultura_4.0////////////////////////////////////
2 #include <Wire.h>
3 #include <SoftwareSerial.h>
4 #include <IOXhop_FirebaseESP32.h>
5 #include <WiFi.h>
6 #include <ThingSpeak.h>
7 #include <DHT.h>
8 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
9 //////////////////////////////////////////////////
10 #define DHTPIN 5
11 #define DE_PIN 47 //R485data
12 #define RE_PIN 23 //R485data
13 #define DHTTYPE DHT22
14 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
15 //////////////////////////////////////////////////
16 #define FIS_TYPE Float
17 #define FIS_RESOLUTION 101
18 #define FIS_MIN -3.4028235E+38
19 #define FIS_MAX 3.4028235E+38
20 typedef FIS_TYPE(* FIS_MF)(FIS_TYPE, FIS_TYPE*);
21 typedef FIS_TYPE(* FIS_ARR_OP)(FIS_TYPE, FIS_TYPE);
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Tesis4.ino
26 const byte ph[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x0d, 0x00, 0x01, 0x15, 0xc9};
27 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,4);
28 byte pHValue;
29 byte pHBuffer[11];
30 SoftwareSerial RS485Serial(19,18);
31
32 const char* ssid = "Tesis Invernadero";
33 const char* password = "12345678ec";
34 unsigned long channelNumber = 2416854;
35 const char* apiKeyW = "7PBAQKKG3UE7EK62";
36 WiFiClient cliente;
37
38
39 #define FIREBASE_AUTH "https://esp32data-6b54a-default-rtdb.firebaseio.com/"
40 #define FIREBASE_HOST "A4urAFQW6oxKP17yprQ76eQfsmvpw58vdlUza3Gg"
41
42 const int Hpin=34;
43 int sensorvalor;
44 int Hsuelo;
45 const int st=32;
46 int stemp;
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Tesis4.ino
47 int stemp;
48 int set_temp;
49 const int sh=35;
50 int shum;
51 int set_hum;
52
53
54 const int fis_gcI = 4;
55 const int fis_gcO = 3;
56 const int fis_gcR = 18;
57
58 FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
59 FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
60 int conctexion = 0;
61 void setup() {
62   lcd.init();
63   lcd.backlight();
64   Serial.begin(115200);
65   Serial.print("DHT TEST");
66   dht.begin();
67   RS485Serial.begin(9600); // RS485 communication
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Tesis4.ino
67 lcd.init();
68 lcd.backlight();
69 Serial.begin(115200);
70 Serial.print("DHT TEST");
71 dht.begin();
72 RS485Serial.begin(9600);
73 pinMode(DE_PIN, OUTPUT);
74 pinMode(RE_PIN, OUTPUT);
75 pinMode(34, INPUT);
76 digitalWrite(DE_PIN, LOW);
77 digitalWrite(RE_PIN, LOW);
78
79 WiFi.begin(ssid, password);
80 Serial.println("Connecting");
81 while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
82   Serial.println(".");
83   delay(5000);
84 }
85
86 Serial.println("Conectado al WiFi");
87 ThingSpeak.begin(cliente);
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Tesis4.ino
87 ThingSpeak.begin(cliente);
88
89
90 pinMode(32, INPUT);
91 pinMode(35, INPUT);
92
93
94
95 pinMode(15, OUTPUT);
96 pinMode(13, OUTPUT);
97 pinMode(16, OUTPUT);
98
99 Serial.println();
100 Serial.println("Connected:");
101 Serial.println(WiFi.localIP());
102 Firebase.begin(FIREBASE_AUTH, FIREBASE_HOST);
103 }
104
105
106
107 void loop() {
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...
Tesis4.ino
114 void loop() {
115   delay(1000);
116   float t = dht.readTemperature();
117   sensorvalor = analogRead(Hpin);
118   Hsuelo = (100-((sensorvalor/4095.00)*100));
119   shum = analogRead(sh);
120   set_hum = (shum/40.95);
121   stemp = analogRead(st);
122   set_temp = (stemp/40.95);
123   g_fisInput[0] = dht.readTemperature();
124   g_fisInput[1] = (set_temp);
125   g_fisInput[2] = Hsuelo;
126   g_fisInput[3] = (set_hum);
127
128   g_fisOutput[0] = 0;
129   g_fisOutput[1] = 0;
130   g_fisOutput[2] = 0;
131
132   fis_evaluate();
133   digitalWrite(15, g_fisOutput[0]);
134   digitalWrite(13, g_fisOutput[1]);
```

```

Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
138   fis_evaluate();
139   digitalWrite(15 , g_fisOutput[0]);
140   digitalWrite(13 , g_fisOutput[1]);
141   digitalWrite(16 , g_fisOutput[2]);
142
143   if(!isnan(t)){
144     Serial.println("Error al leer sensor DHT!");
145     return;
146   }
147   Serial.print("Humedad Suelo: ");
148   Serial.print(Hsuelo);
149   Serial.println("%");
150   Serial.print("setpoint_humedad: ");
151   Serial.println(g_fisInput[3]);
152   Serial.print("Temperature: ");
153   Serial.print(t);
154   Serial.println("°C");
155   Serial.print("setpoint: ");
156   Serial.println(g_fisInput[1]);
157   Serial.print("PH Soil: ");
158   Serial.print(pHvalue);

```

```

Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod... Verify

Tesis4.ino
160   Serial.print("PH Soil: ");
161   Serial.print(pHvalue);
162   Serial.println(" mg/kg");
163   Serial.println("-----DATOS ENVIADOS-----");
164   //set value
165   Firebase.setFloat("Humedad: ", Hsuelo);
166   //Handle error
167   if(Firebase.failed()){
168     Serial.print("Setting/number failed:");
169     Serial.println(firebase.error());
170     return;
171   }
172
173   Firebase.setFloat("Temperature:", t);
174   //Handle error
175   if(Firebase.failed()){
176     Serial.print("Setting/number failed:");
177     Serial.println(firebase.error());
178     return;
179   }

```

```

Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
180
181   Firebase.setFloat("pH:", pHvalue);
182   //Handle error
183   if(Firebase.failed()){
184     Serial.print("Setting/number failed:");
185     Serial.println(firebase.error());
186     return;
187   }
188
189   sendRequest();
190
191
192   ThingSpeak.writeFields(channelNumber, apiKeyW);
193
194   ThingSpeak.setField(1,t);
195   ThingSpeak.setField(2,Hsuelo);
196   ThingSpeak.setField(3,pHvalue);
197   ThingSpeak.setField(4,set_temp);
198   ThingSpeak.setField(5,set_hum);
199
200   lcd.setCursor(0,0);

```

```

Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
201   lcd.print(" Kuru 4.0 ");
202   lcd.setCursor(2,1);
203   lcd.print("T=");
204   lcd.print(t);
205   lcd.print("°C");
206   lcd.setCursor(-4,2);
207   lcd.print("H:");
208   lcd.print(Hsuelo);
209   lcd.print("%");
210   lcd.setCursor(3,2);
211   lcd.print("ST=");
212   lcd.print(set_temp);
213   lcd.print("°C");
214   lcd.setCursor(-4,3);
215   lcd.print("PH:");
216   lcd.print(pHvalue);
217   lcd.print(" ");
218   lcd.setCursor(3,3);
219   lcd.print("SH=");
220   lcd.print(set_hum);
221   lcd.print("%");

```

```

Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
224 void sendRequest() {
225
226   // Send request command for each chemical
227   pHvalue = (getph());
228   delay(250);
229 }
230
231 byte getph(){
232   digitalWrite(DE_PIN,HIGH);
233   digitalWrite(RE_PIN,HIGH);
234   delay(10);
235   if(RS485Serial.write(ph,sizeof(ph))==8){
236     digitalWrite(DE_PIN,LOW);
237     digitalWrite(RE_PIN,LOW);
238     for(byte i=0;i<7;i++){
239       pBuffer[i] = RS485Serial.read();
240       //Serial.print(pHBuffer[i],HEX);
241       //Serial.print("\t");
242     }
243     //Serial.println();
244   }

```

```

Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
248 //*****
249 // Support functions for Fuzzy Inference System
250 //*****
251 // Trapezoidal Member Function
252 FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
253 {
254   FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
255   FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ? ((d - x) / (d - c)) : 0)));
256   FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ? ((x - a) / (b - a)) : 0)));
257   return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
258 }
259 int aa=0;
260 float aaa=aaa;
261 // Triangular Member Function
262 FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
263 {
264   FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
265   FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
266   FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
267   if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
268   if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));

```

```

Tesis4.ino
269   if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
270   t1 = min(t1, t2);
271   return (FIS_TYPE) max(t1, aaa);
272 }
273
274 FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
275 {
276   return min(a, b);
277 }
278
279 FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
280 {
281   return max(a, b);
282 }
283
284 FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP pfncOp)
285 {
286   int i;
287   FIS_TYPE ret = 0;
288
289   if (size == 0) return ret;

```

```

Tesis4.ino
286   int i;
287   FIS_TYPE ret = 0;
288
289   if (size == 0) return ret;
290   if (size == 1) return array[0];
291
292   ret = array[0];
293   for (i = 1; i < size; i++)
294   {
295     ret = (*pfncOp)(ret, array[i]);
296   }
297
298   return ret;
299 }
300
301
302 //*****
303 // Data for Fuzzy Inference System
304 //*****
305 // Pointers to the implementations of member functions
306 _FIS_MF fis_gMF[] =

```

```

Tesis4.ino
302 //*****
303 // Data for Fuzzy Inference System
304 //*****
305 // Pointers to the implementations of member functions
306 _FIS_MF fis_gMF[] =
307 {
308   fis_trapmf, fis_trinf
309 };
310
311 // Count of member function for each Input
312 int fis_gIMFCount[] = { 3, 3, 3, 3 };
313
314 // Count of member function for each Output
315 int fis_gOMFCount[] = { 2, 2, 2 };
316
317 // Coefficients for the Input Member Functions
318 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff1[] = { 0, 0, 7, 14 };
319 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff2[] = { 14, 18, 22 };
320 FIS_TYPE fis_gMF1Coeff3[] = { 22, 26, 40, 48 };
321 FIS_TYPE* fis_gMF1Coeff[] = { fis_gMF1Coeff1, fis_gMF1Coeff2, fis_gMF1Coeff3 };
322 FIS_TYPE fis_gMF1Coeff1[] = { 0, 0, 7, 14 };

```

```

Tesis4.ino
322 FIS_TYPE fis_gMF1Coeff1[] = { 0, 0, 7, 14 };
323 FIS_TYPE fis_gMF1Coeff2[] = { 14, 18, 22 };
324 FIS_TYPE fis_gMF1Coeff3[] = { 22, 26, 40, 48 };
325 FIS_TYPE* fis_gMF1Coeff[] = { fis_gMF1Coeff1, fis_gMF1Coeff2, fis_gMF1Coeff3 };
326 FIS_TYPE fis_gMF2Coeff1[] = { 0, 0, 65, 70 };
327 FIS_TYPE fis_gMF2Coeff2[] = { 70, 75, 80 };
328 FIS_TYPE fis_gMF2Coeff3[] = { 80, 85, 100, 100 };
329 FIS_TYPE* fis_gMF2Coeff[] = { fis_gMF2Coeff1, fis_gMF2Coeff2, fis_gMF2Coeff3 };
330 FIS_TYPE fis_gMF3Coeff1[] = { 0, 0, 65, 70 };
331 FIS_TYPE fis_gMF3Coeff2[] = { 70, 75, 80 };
332 FIS_TYPE fis_gMF3Coeff3[] = { 80, 85, 100, 100 };
333 FIS_TYPE* fis_gMF3Coeff[] = { fis_gMF3Coeff1, fis_gMF3Coeff2, fis_gMF3Coeff3 };
334 FIS_TYPE** fis_gMF3Coeff[] = { fis_gMF3Coeff1, fis_gMF3Coeff2, fis_gMF3Coeff3 };
335
336 // Coefficients for the Output Member Functions
337 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff1[] = { 0, 0, 0, 0 };
338 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff2[] = { 0, 50, 100 };
339 FIS_TYPE* fis_gMF0Coeff[] = { fis_gMF0Coeff1, fis_gMF0Coeff2 };
340 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff1[] = { 0, 0, 0, 0 };
341 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff2[] = { 0, 50, 100 };
342 FIS_TYPE* fis_gMF0Coeff[] = { fis_gMF0Coeff1, fis_gMF0Coeff2 };

```

```

Tesis4.ino
344 FIS_TYPE fis_gMF0Coeff2[] = { 0, 50, 100 };
345 FIS_TYPE* fis_gMF0Coeff[] = { fis_gMF0Coeff1, fis_gMF0Coeff2 };
346 FIS_TYPE** fis_gMF0Coeff[] = { fis_gMF0Coeff1, fis_gMF0Coeff2 };
347
348 // Input membership function set
349 int fis_gMF10[] = { 0, 1, 0 };
350 int fis_gMF11[] = { 0, 1, 0 };
351 int fis_gMF12[] = { 0, 1, 0 };
352 int fis_gMF13[] = { 0, 1, 0 };
353 int* fis_gMF1[] = { fis_gMF10, fis_gMF11, fis_gMF12, fis_gMF13 };
354
355 // Output membership function set
356 int fis_gMF00[] = { 0, 1 };
357 int fis_gMF01[] = { 0, 1 };
358 int fis_gMF02[] = { 0, 1 };
359 int* fis_gMF0[] = { fis_gMF00, fis_gMF01, fis_gMF02 };
360
361 // Rule Weights
362 FIS_TYPE fis_gWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };
363
364 // Rule Type

```

```

Tesis4.ino
365 int fis_gRIType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };
366
367 // Rule Inputs
368 int fis_gRI0[] = { 1, 1, 0, 0 };
369 int fis_gRI1[] = { 1, 2, 0, 0 };
370 int fis_gRI2[] = { 1, 3, 0, 0 };
371 int fis_gRI3[] = { 2, 1, 0, 0 };
372 int fis_gRI4[] = { 2, 2, 0, 0 };
373 int fis_gRI5[] = { 2, 3, 0, 0 };
374 int fis_gRI6[] = { 3, 1, 0, 0 };
375 int fis_gRI7[] = { 3, 2, 0, 0 };
376 int fis_gRI8[] = { 3, 3, 0, 0 };
377 int fis_gRI9[] = { 0, 0, 1, 1 };
378 int fis_gRI10[] = { 0, 0, 1, 2 };
379 int fis_gRI11[] = { 0, 0, 1, 3 };
380 int fis_gRI12[] = { 0, 0, 2, 1 };
381 int fis_gRI13[] = { 0, 0, 2, 2 };
382 int fis_gRI14[] = { 0, 0, 2, 3 };
383 int fis_gRI15[] = { 0, 0, 3, 1 };
384 int fis_gRI16[] = { 0, 0, 3, 2 };
385 int fis_gRI17[] = { 0, 0, 3, 3 };

```

```

Tesis4 Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
385 int fis_gR17[] = { 0, 0, 3, 3 };
386 int* fis_gR1[] = { fis_gR10, fis_gR11, fis_gR12, fis_gR13, fis_gR14, fis_gR15 };
387 int* fis_gR1[] = { fis_gR16, fis_gR17, fis_gR18, fis_gR19, fis_gR20, fis_gR21, fis_gR22, fis_gR23 };
388 // Rule Outputs
389 int fis_gR00[] = { 1, 1, 0 };
390 int fis_gR01[] = { 2, 2, 0 };
391 int fis_gR02[] = { 2, 2, 0 };
392 int fis_gR03[] = { 2, 1, 0 };
393 int fis_gR04[] = { 1, 1, 0 };
394 int fis_gR05[] = { 2, 2, 0 };
395 int fis_gR06[] = { 2, 1, 0 };
396 int fis_gR07[] = { 2, 1, 0 };
397 int fis_gR08[] = { 1, 1, 0 };
398 int fis_gR09[] = { 0, 0, 1 };
399 int fis_gR010[] = { 0, 0, 2 };
400 int fis_gR011[] = { 0, 0, 2 };
401 int fis_gR012[] = { 0, 0, 1 };
402 int fis_gR013[] = { 0, 0, 1 };
403 int fis_gR014[] = { 0, 0, 2 };
404 int fis_gR015[] = { 0, 0, 1 };
405 int fis_gR016[] = { 0, 0, 1 };
406 int fis_gR017[] = { 0, 0, 1 };
407 int* fis_gR0[] = { fis_gR00, fis_gR01, fis_gR02, fis_gR03, fis_gR04, fis_gR05, fis_gR06,
408

```

```

Tesis4 Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
399 int fis_gR010[] = { 0, 0, 2 };
400 int fis_gR011[] = { 0, 0, 2 };
401 int fis_gR012[] = { 0, 0, 1 };
402 int fis_gR013[] = { 0, 0, 1 };
403 int fis_gR014[] = { 0, 0, 2 };
404 int fis_gR015[] = { 0, 0, 1 };
405 int fis_gR016[] = { 0, 0, 1 };
406 int fis_gR017[] = { 0, 0, 1 };
407 int* fis_gR0[] = { fis_gR00, fis_gR01, fis_gR02, fis_gR03, fis_gR04, fis_gR05, fis_gR06,
408
// Input range Min
409 FIS_TYPE fis_gMin[] = { 0, 0, 0, 0 };
410
// Input range Max
411 FIS_TYPE fis_gMax[] = { 40, 40, 100, 100 };
412
// Output range Min
413 FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0, 0, 0 };
414
// Output range Max
415 FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 100, 100, 100 };
416

```

```

Tesis4 Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
421 //*****
422 // Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
423 //*****
424 FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE* fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int o)
425 {
426     FIS_TYPE mfOut;
427     int r;
428
429     for (r = 0; r < fis_gCR; ++r)
430     {
431         int index = fis_gR0[r][o];
432         if (index > 0)
433         {
434             index = index - 1;
435             mfOut = (fis_gMF[fis_gMF0[o][index]])(x, fis_gMFCoeff[o][index]);
436         }
437         else if (index < 0)
438         {
439             index = -index - 1;
440             mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMF0[o][index]])(x, fis_gMFCoeff[o][index]);
441         }
442     }
443 }

```

```

Tesis4 Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
460 // calculate the area under the curve formed by the MF outputs
461 for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
462     dist = fis_gMin[o] + (step * i);
463     slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
464     area += slice;
465     momentum += slice*dist;
466 }
467
468 return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) : (momentum / area));
469 }
470
471 //*****
472 // Fuzzy Inference System
473 //*****
474 void fis_evaluate()
475 {
476     FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0 };
477     FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
478     FIS_TYPE fuzzyInput2[] = { 0, 0, 0 };
479     FIS_TYPE fuzzyInput3[] = { 0, 0, 0 };
480     FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gCI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, fuzzyInput2, fuzzyInput3, };
481 }

```

```

Tesis4 Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
474 void fis_evaluate()
475 {
476     FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0 };
477     FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
478     FIS_TYPE fuzzyInput2[] = { 0, 0, 0 };
479     FIS_TYPE fuzzyInput3[] = { 0, 0, 0 };
480     FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gCI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, fuzzyInput2, fuzzyInput3, };
481     FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0 };
482     FIS_TYPE fuzzyOutput1[] = { 0, 0, 0 };
483     FIS_TYPE fuzzyOutput2[] = { 0, 0, 0 };
484     FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gCO] = { fuzzyOutput0, fuzzyOutput1, fuzzyOutput2, };
485     FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gCR] = { 0 };
486     FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gCR] = { 0 };
487     FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
488     FIS_TYPE sW = 0;
489
490     // Transforming input to fuzzy Input
491     int i, j, r, o;
492     for (i = 0; i < fis_gCI; ++i)
493     {
494         for (j = 0; j < fis_gMFCCount[i]; ++j)
495         {
496             fuzzyInput[i][j] =
497                 (fis_gMF[fis_gMF1[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFCoeff[i][j]);
498         }
499     }
500
501     int index = 0;
502     for (r = 0; r < fis_gCR; ++r)
503     {
504         if (fis_gRType[r] == 1)
505         {
506             fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
507             for (i = 0; i < fis_gCI; ++i)
508             {
509                 index = fis_gR1[r][i];
510                 if (index > 0)
511

```

```

Tesis4 Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
490 // Transforming input to fuzzy Input
491 int i, j, r, o;
492 for (i = 0; i < fis_gCI; ++i)
493 {
494     for (j = 0; j < fis_gMFCCount[i]; ++j)
495     {
496         fuzzyInput[i][j] =
497             (fis_gMF[fis_gMF1[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFCoeff[i][j]);
498     }
499 }
500
501 int index = 0;
502 for (r = 0; r < fis_gCR; ++r)
503 {
504     if (fis_gRType[r] == 1)
505     {
506         fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
507         for (i = 0; i < fis_gCI; ++i)
508         {
509             index = fis_gR1[r][i];
510             if (index > 0)
511

```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
501 int index = 0;
502 for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
503 {
504     if (fis_gRType[r] == 1)
505     {
506         fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
507         for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
508         {
509             index = fis_gRI[r][i];
510             if (index > 0)
511                 fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
512             else if (index < 0)
513                 fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
514             else
515                 fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
516         }
517     }
518     else
519     {
520         fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
521         for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
520         fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
521         for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
522         {
523             index = fis_gRI[r][i];
524             if (index > 0)
525                 fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
526             else if (index < 0)
527                 fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
528             else
529                 fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
530         }
531     }
532
533     fuzzyFires[r] = fis_gWweight[r] * fuzzyFires[r];
534     sW += fuzzyFires[r];
535 }
536
537 if (sW == 0)
538 {
539     for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
```

```
Tesis4 | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
ESP32-WROOM-DA Mod...

Tesis4.ino
532
533     fuzzyFires[r] = fis_gWweight[r] * fuzzyFires[r];
534     sW += fuzzyFires[r];
535 }
536
537 if (sW == 0)
538 {
539     for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
540     {
541         g_fisOutput[o] = ((fis_gWMax[o] + fis_gWMin[o]) / 2);
542     }
543 }
544 else
545 {
546     for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
547     {
548         g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
549     }
550 }
551 }
552
```

ANEXO B: HOJAS TÉCNICAS DE LOS DISTINTOS COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN



RS485 Modbus
JXBS-3001-NPK-RS Soil NPK Sensor User Manual

JXCT®

Contents

- 1 Introduction 3**
 - 1.1 Product Overview.....3
 - 1.2 Parameters3
 - 1.3 Structure & Size.....3
 - 1.4 System Frame Diagram4
- 2 Installation & Wiring 5**
 - 2.1 Product & Accessories5
 - 2.2 Interface Description6
 - 2.3 Surface measurement method6
 - 2.4 Buried measurement method7
 - 2.5 Remarks7
- 3 Software..... 8**
 - 3.1 Sensor access to the computer.....8
 - 3.2 Use of sensor monitoring software8
 - 3.3 Modify the baud rate and device ID.....9
- 4 Communication Protocol10**
 - 4.1 Communication Basic Parameters.....10
 - 4.2 Data Frame Format Definition.....10
 - 4.3 Register Address11
 - 4.4 Communication Protocol Examples.....11

RS485 Modbus
JXBS-3001-NPK-RS Soil NPK Sensor User Manual

JXCT®

1 INTRODUCTION

1.1 Product Overview

The NPK sensor is designed for detecting the content of nitrogen, phosphorus and potassium in soil, determining the fertility of the soil and facilitating the evaluation of the soil condition by the customer system.

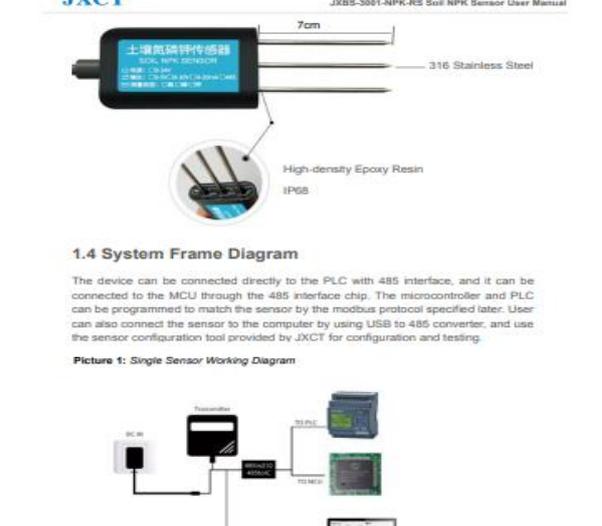
The product can be widely used in rice fields, greenhouse cultivation, rice, vegetable cultivation, orchard nursery, flowers and soil research.

1.2 Parameters

Parameters	Technical Specs
Measure Range	0-1999mg/kg
Accuracy	±2%F.s
Resolution	1mg/kg(mg/l)
Response Time (T90, Seconds)	<10s
Working Temperature	5-45℃
Working Humidity	5-95%RH (Relative humidity), no condensation
Baud Rate	2400/4800/9600
Communication Port	RS485
Power Supply	12V-24V DC

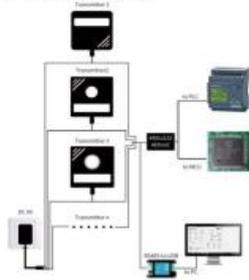
1.3 Structure & Size

The sensors probes are made of 316 stainless steel for anti-rust and electrolysis resistance, salt and alkali corrosion resistance purpose, to ensure the long-term operation of the probe part. Sensor body is made IP68, filled with high-density epoxy resin for high-temperature vacuum filling, effectively preventing moisture from. Rs485 Cable length is 0.6m by default. Can be customized.



sensors. If you need to connect more 485 sensors, you can use 485 repeater to expand more 485 devices, and the other end to connect PLC with 485 interface and pass 485 interface chip. Connect to the micro-controller, or use USB to 485 to connect to the computer, use the sensor configuration tool provided by our company for configuration and testing.

Picture 2: Multiple Sensors Working Diagram



2 Hardware Connections

2.1 Product & Accessories

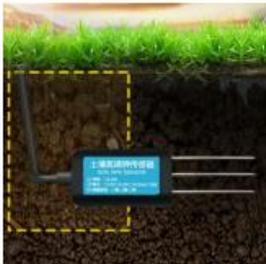
Check the list of devices before installation:

Product Name	Qty
Soil NPK Sensor	1 Pc
12V Power Adapter (Optional)	1 Pc
485 to USB Converter (Optional)	1 Pc



2.4 Buried Measurement Method

Vertically dig pits with a diameter of >20cm, insert the sensor steel needle horizontally into the pit wall at a given depth, fill the pits tightly, and stabilize for a period of time, then measure and record for several days, months or even longer.



2.5 Remarks

1. The steel needle must be inserted into the soil during the measurement.
2. Avoid strong sunlight directly on the sensor for high temperature. Use in the field to

2.2 Interface Description

The power interface can be 12-24V for wide voltage power supply. When wiring the 485 signal line, note that the A/B lines cannot be connected in reverse, and the addresses between multiple devices on the bus cannot conflict.



Function	Cable Color	Specs
Power	Brown	Power supply +
	Black	Power supply -
Communication	Yellow (grey)	485-A
	Blue	485-B

Note: Please be careful not to connect the wrong line sequence. The wrong wiring will cause the device to burn out.

The factory default supply of 1.5 meters long wire, customers can extend the wire as needed or in sequence.

Note that there is no yellow line in the line sequence that may be provided in some factory batches, in which case the gray line is equivalently replaced by the yellow line.

2.3 Surface Measurement Method

Select the appropriate measurement location, avoid the stone, ensure that the steel needle will not touch the hard object, throw off the topsoil according to the required measurement depth, keep the original soil tightness under the ground, hold the sensor vertically into the soil, insert it is not allowed to sway from side to side. It is recommended to measure the average for multiple measurements within a small range of one measurement point.

prevent lightning strikes.

3. Do not violently bend the steel needle, do not pull the sensor lead wire, do not beat or violently hit the sensor.
4. The sensor protection class IP68 can soak the sensor in the water.
5. Due to the presence of radio frequency electromagnetic radiation in the air, it is not suitable to be energized in the air for a long time.

3 Configuration Tool Installation

JXCT provides the matching "SENSOR MONITORING SOFTWARE", which can conveniently use the computer to read the parameters of the sensor, and flexibly modify the device ID and address of the sensor.

3.1 Sensor access to the computer

After the sensor is properly connected to the computer via USB to 485 and powered, find COM port in the computer ("My Computer - Properties - Device Manager - Port") to view the COM port). Shown as in below screenshot:



As shown in above, serial port number is COM10 at this time. Please remember this serial port. It shall be filled in the serial port number in the sensor monitoring software.

If the COM port is not found in the device manager, it means that you have not plugged in the USB to 485 or did not install the driver correctly, please contact the technical staff for assistance.

3.2 Use of sensor monitoring software

The configuration interface is as shown in the figure. First, obtain the serial port number according to the method in section 3.1 and select the correct serial port, then click to automatically obtain the current baud rate and address to automatically detect

all devices and baud rates on the current 485 bus. Please note that there is only one sensor on the 485 bus that needs to be automatically acquired using the software.



Then click on the connected device to get sensor data information in real time.

If your device is a gas concentration sensor, please select "Gas Concentration Sensor" at the sensor type, "Formaldehyde Transmitter" for the formaldehyde sensor, "Analog Transmitter Module" for the analog transmitter, and "Atmospheric Pressure" for the atmospheric pressure sensor, "Sensor", the illuminance sensor selects "Optical Light 20W", the oxygen sensor selects "Oxygen Transmitter", and the other sensors select the default "No Other Sensor".

3.3 Modify the baud rate and device ID

In the case of disconnecting the device, click the device baud rate and setting address in the communication settings to complete the relevant settings. Please note that after the setting, please restart the device, and then "automatically obtain the current baud rate and address", you can find the address. And the baud rate has been changed to the address and baud rate you need.

If you need to modify the baud rate and address using the modbus command, you can refer to the appendix "How to Modify the Baud Rate and Address Using the modbus Command".

Answer Frames

Address code	Function Code	Effective number of bytes	Data area	Second data area	Nth data area	Check code
1bit	1bit	2bit	2bit	1bit	2bit	2bit

4.3 Register Address

Register Address	PLC or configuration address	Content	Operating
001E H	4001F (40021)	Nitrogen content (unit mg/kg)	Read-Only
001F H	40020 (40022)	Phosphorus content (unit mg/kg)	Read-Only
0020 H	40021 (40023)	Potassium content (unit mg/kg)	Read-Only
0100 H	40101	Device address(D-252)	Read/Write
0101 H	40102	Baud rate(2400/4800/9600)	Read/Write

4.4 Communication Protocol Examples

4.4.1 Read the Soil NPK Value from Device Address 0x01

Address Code	Function Code	Register Start Address	Register Length	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x00 0x1E	0x00 0x03	0x34	0x0D

Address Code	Function Code	Effective number of bytes	Nitrogen content	Phosphorus content	Potassium content	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x06	0x00 0x20	0x00 0x25	0x00 0x30	0x5	0x3D

4 Communication Protocol

4.1 Communication Basic Parameters

Parameters	Specs
Coding	8-bit binary
Data bit	8-bit
Parity bit	no
Stop bit	1-bit
Error check	CRC(redundant cyclic code)
Baud Rate	2400bps/4800bps/9600bps. Can customize. Default: 9600bps

4.2 Data Frame Format Definition

Adopt Modbus-RTU communication protocol, the format is as follows:

Initial structure ≥ 4 bytes of time
 Address code = 1 byte
 Function code = 1 byte
 Data area = N bytes
 Error check = 16-bit CRC code
 End structure ≥ 4 bytes of time
 Address code: is the address of the transmitter, which is unique in the communication network (factory default 0x01).
 Function code: The instruction function of the command sent by the host. This transmitter only uses function code 0x03 (read register data).
 Data area: The data area is the specific communication data. Note that the 16-bit data high byte is in front!
 CRC code: Two-byte check code.

Address Code	Function Code	Register Start Address	Register Length	CRC_L	CRC_H
1bit	1bit	2bit	2bit	1bit	1bit

NPK content:
 0020 H (hexadecimal) =32=>Nitrogen=32mg/kg
 0025 H (hexadecimal) =37=>Phosphorus=37mg/kg
 0030 H (hexadecimal) =48=>Potassium=48mg/kg

4.4.2 Reading the value of soil nitrogen at device address 0x01

Address Code	Function Code	Register Start Address	Register Length	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x00 0x1e	0x00 0x01	0xB5	0xCC

Address Code	Function Code	Effective No. of bytes	Nitrogen content	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x02	0x00 0x20	0xA	0x3D

Nitrogen content : 0020 H (hexadecimal) =32=>Nitrogen=32mg/kg

4.4.3 Reading the Value of Soil Phosphorus in Device Address 0x01

Address Code	Function Code	Register start address	Register length	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x00 0x1f	0x00 0x01	0xE4	0xC

Address Code	Function Code	Effective No. of bytes	Phosphorus content	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x02	0x00 0x25	0xA	0x3D

Phosphorus content : 0025 H (16hexadecimal) =37=>Phosphorus=37mg/kg

4.4.4 Reading the Value of Soil Potassium in Device Address 0x01

Address Code	Function Code	Register start address	Register length	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x00 0x20	0x00 0x01	0xB5	0xC0

Address Code	Function Code	Effective No. of bytes	Potassium content	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x02	0x00 0x30	0xA	0x3D

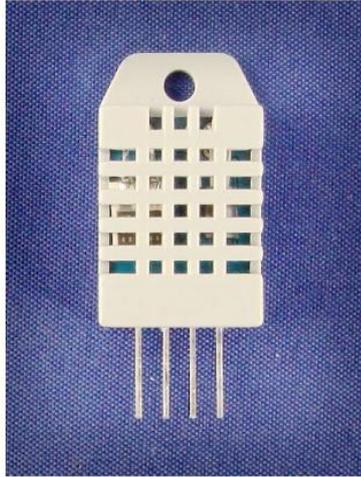
Potassium : 0030 H (16hexadecimal) =48=>Potassium=48mg/kg

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module sensor

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal * Outstanding long-term stability * Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

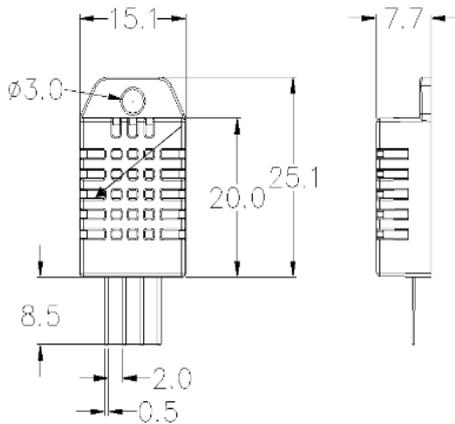
3. Technical Specification:

Model	DHT22	
Power supply	3.3-6V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH;	temperature -40-80Celsius
Accuracy	humidity ±2%RH(Max ±5%RH);	temperature ±0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity ±1%RH;	temperature ±0.2Celsius
Humidity hysteresis	±0.3%RH	
Long-term Stability	±0.5%RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	small size 14*18*5.5mm;	big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



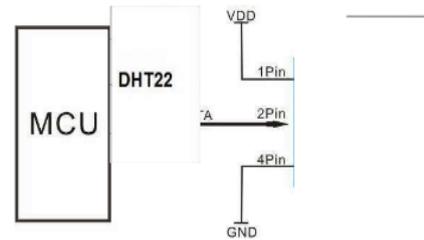
Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD---power supply
2	DATA---signal
3	NULL
4	GND

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

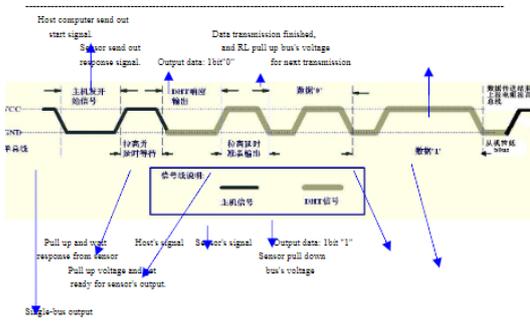
When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in increasing humidity & temperature sensors

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



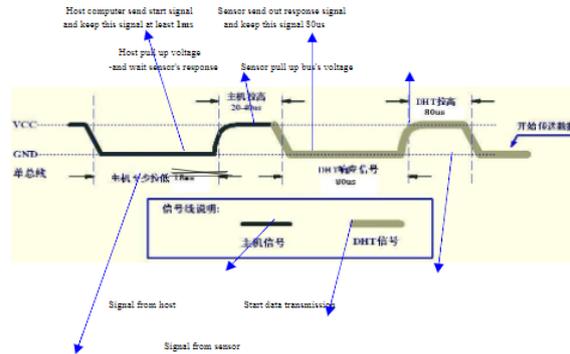
2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 30-40us for DHT22's response.

Check bellow picture for step 1:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in increasing humidity & temperature sensors



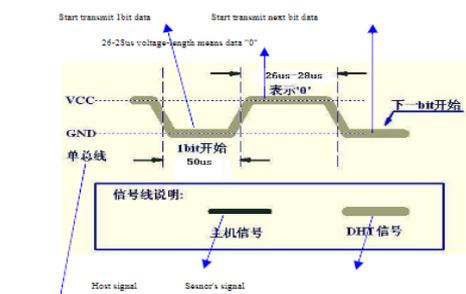
Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

Check bellow picture for step 2:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in increasing humidity & temperature sensors



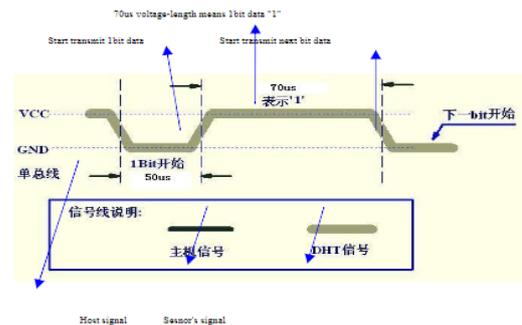
Step 3: DHT22 send data to MCU

When DHT22 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is '1' or '0'.

Check bellow picture for step 3:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in increasing humidity & temperature sensors



If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second	2			Second

*Collecting period should be: >= 2 second.

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in increasing humidity & temperature sensors

8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

*Welding temperature should be bellow 260Celsius.

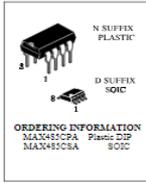
*Avoid using the sensor under dew condition.

*Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

Low-Power, Slow-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers

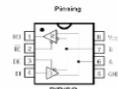
General Description

The MAX485 is low-power transceivers for RS-485 and RS-422 communication. IC contains one driver and one receiver. The driver slew rates of the MAX485 is not limited, allowing them to transmit up to 2.5Mbps. These transceivers draw between 120µA and 500µA of supply current when unloaded or fully loaded with disabled drivers. All parts operate from a single 5V supply. Drivers are short-circuit current limited and are protected against excessive power dissipation by thermal shutdown circuitry that places the driver outputs into a high-impedance state. The receiver input has a fail-safe feature that guarantees a logic-high output if the input is open circuit. The MAX485 is designed for half-duplex applications.



Features

- Low Quiescent Current: 300µA
- -7V to +12V Common-Mode Input Voltage Range
- Three-State Outputs
- Slow Propagation Delays, 5ns Skew
- Full-Duplex and Half-Duplex Versions Available
- Operate from a Single 5V Supply
- Allows up to 32 Transceivers on the Bus
- Data rate: 2.5 Mbps
- Current-Limiting and Thermal Shutdown for Driver Overload Protection
- The transmitter outputs and receiver inputs are protected to ±15kV Air ESD



MAX485

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = 5V ±2%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
No-Load Supply Current (Note 3)	I _{CC}	DE = V _{CC} RE = 0V or V _{CC} DE = 0V		300	900	µA
Driver Short-Circuit Current	I _{OSCC}	-7V ≤ V _{CC} ≤ 12V (Note 4)	35		250	mA
V _S = High						
Driver Short-Circuit Current	I _{OSCC}	-7V ≤ V _S ≤ 12V (Note 4)	35		250	mA
V _S = Low						
Receiver Short-Circuit Current	I _{OSCC}	0V ≤ V _S ≤ V _{CC}	7		95	mA

SWITCHING CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 5V ±2%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Driver Input to Output	t _{PROP}	R _{DR} = 24Ω C _{IN} = C _{OUT} = 100pF	10	30	60	ns
Driver Output Skew to Output	t _{SKW}	R _{DR} = 24Ω, C _{L1} = C _{L2} = 100pF		5	10	ns
Driver Enable to Output High	t _{EH}	C _L = 100pF, S2 closed		40	70	ns
Driver Enable to Output Low	t _{EL}	C _L = 100pF, S1 closed		40	70	ns
Driver Disable Time from Low	t _{SL}	C _L = 15pF, S1 closed		40	70	ns
Driver Disable Time from High	t _{SH}	C _L = 15pF, S2 closed		40	70	ns
1.0V _{CC} - 0.9V _{CC} Differential	t _{PROP}	R _{DR} = 24Ω C _{IN} = C _{OUT} = 100pF		13		ns
Receiver Skew	t _{SKW}	C _{IN} = C _{OUT} = 100pF				ns
Receiver Enable to Output Low	t _{EL}	C _{IN} = 15pF, S1 closed		20	50	ns
Receiver Enable to Output High	t _{EH}	C _{IN} = 15pF, S2 closed		20	50	ns
Receiver Disable Time from Low	t _{SL}	C _{IN} = 15pF, S1 closed		20	50	ns
Receiver Disable Time from High	t _{SH}	C _{IN} = 15pF, S2 closed		20	50	ns
Maximum Data Rate	f _{MAX}			2.5		Mbps

Note 1: All currents into device pins are positive; all currents out of device pins are negative. All voltages are referenced to device ground unless otherwise specified.
Note 2: 50 typical specifications are given for V_{CC} = 5V and T_A = 25°C.
Note 3: Skew is current specification is valid for loaded transmitters when DE = 0V.
Note 4: Applies to peak current; see Typical Operating Characteristics.

MAX485

Operation timing diagram of MAX 485

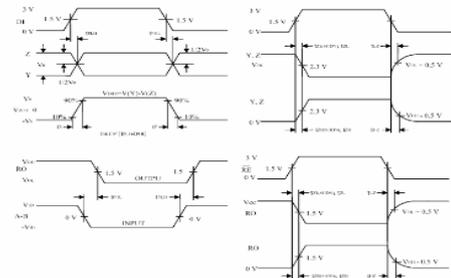


Table of MAX 485 operation

Transmitting					Receiving				
RE	DE	DI	Z	Y	RE	DE	A-B	RO	Z
X	1	1	0	1	0	0	+0.2V	1	1
X	1	0	1	0	0	0	-0.2V	1	0
0	0	X	Z	Z	0	0	Open	0	1
1	0	X	Z	Z	1	0	X	Z	0

X: don't care
Z: high impedance

MAX485

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC})	12V	Continuous Power Dissipation (T _A = -70°C)	
Control Input Voltage	-0.5V to (V _{CC} + 0.5V)	8-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above -70°C)	727mW
Driver Input Voltage (DI)	-0.5V to (V _{CC} + 0.5V)	8-Pin SOP (derate 5.88mW/°C above -70°C)	471mW
Driver Output Voltage (A, B)	-5V to +12.5V	Operating Temperature Ranges	0°C to +70°C
Receiver Input Voltage (A, B)	-5V to +12.5V	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
Receiver Output Voltage (RO)	-0.5V to (V _{CC} + 0.5V)	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 5V ±5%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TV	MAX	UNITS
Differential Driver Output (no load)	V _{OH}			5		V
Differential Driver Output (with load)	V _{OH}	R = 50Ω (RS-422)		2		V
Change in Magnitude of Driver Differential Output Voltage for Complementary Output States	ΔV _{OH}	R = 27Ω (RS-485), Figure 4		1.5		V
Driver Common-Mode Output Voltage	V _{CM}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			0.2	V
Change in Magnitude of Driver Common-Mode Output Voltage for Complementary Output States	ΔV _{CM}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			0.2	V
Input High Voltage	V _{IH}	DE, DI, RE		2.0		V
Input Low Voltage	V _{IL}	DE, DI, RE			0.8	V
Input Current	I _{IN}	DE, DI, RE			±2	µA
Input Current (A, B)	I _{IN}	DE = 0V, V _{IN} = 12V			1.0	mA
Receiver Differential Threshold Voltage	V _{TR}	V _{CC} = 0V or 5.25V, V _{IN} = -7V	-0.2		0.2	V
Receiver Input Hysteresis	ΔV _{TR}	V _{CC} = 0V		70		mV
Receiver Output High Voltage	V _{OH}	I _S = -4mA, VID = 200mV		3.5		V
Receiver Output Low Voltage	V _{OL}	I _S = 4mA, VID = -200mV			0.4	V
Three-State (high impedance)	I _{OHZ}	0.4V ≤ V _S ≤ 2.4V			±1	µA
Receiver Input Resistance	R _{IN}	-7V ≤ V _{IN} ≤ 12V			±15	kΩ

MAX485

Test Circuits

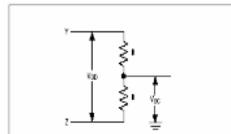


Figure 4. Driver DC Test Load

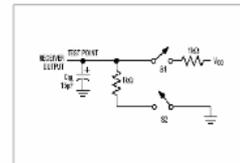


Figure 5. Receiver Timing Test Load

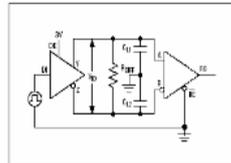


Figure 6. Driver/Receiver Timing Test Circuit

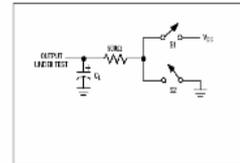
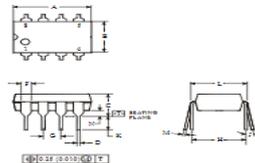


Figure 7. Driver Timing Test Load

MAX485

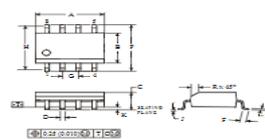
N SUFFIX PLASTIC DIP (AS - 001BA)



Symbol	Dimension, mm	
	MIN	MAX
A	8.51	10.16
B	6.1	7.11
C		5.33
D	0.36	0.36
F	1.14	1.78
G		2.54
H		7.62
J	0°	15°
K	2.92	3.81
L	7.62	8.26
M	0.2	0.36
N	0.38	

NOTES:
1. Dimensions "A", "B" do not include mold flash or protrusion. Maximum mold flash or protrusion 0.25 mm (0.010) per side.

D SUFFIX SOIC (AS - 012AA)



Symbol	Dimension, mm	
	MIN	MAX
A	4.8	5
B	3.8	4
C	1.35	1.75
D	0.23	0.31
F		1.27
G		3.75
H	0°	8°
K	0.1	0.25
M	0.19	0.25
P	3.8	6.2
R	0.25	0.5

NOTES:
1. Dimensions A and B do not include mold flash or protrusion.
2. Maximum mold flash or protrusion 0.15 mm (0.006) per side for A; for B - 0.25 mm (0.010) per side.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Features

- Wide 5V to 32V Input Voltage Range
- Positive or Negative Output Voltage Programming with a Single Feedback Pin
- Current Mode Control Provides Excellent Transient Response
- 1.25V reference adjustable version
- Fixed 400KHz Switching Frequency
- Maximum 4A Switching Current
- SW PIN Built in Over Voltage Protection
- Excellent line and load regulation
- EN PIN TTL shutdown capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 94%
- Built in Frequency Compensation
- Built in Soft-Start Function
- Built in Thermal Shutdown Function
- Built in Current Limit Function
- Available in TO263-5L package

General Description

The XL6009 regulator is a wide input range, current mode, DC/DC converter which is capable of generating either positive or negative output voltages. It can be configured as either a boost, flyback, SEPIC or inverting converter. The XL6009 built in N-channel power MOSFET and fixed frequency oscillator, current-mode architecture results in stable operation over a wide range of supply and output voltages. The XL6009 regulator is special design for portable electronic equipment applications.

Applications

- EPC / Notebook Car Adapter
- Automotive and Industrial Boost / Buck-Boost / Inverting Converters
- Portable Electronic Equipment



TO263-5L
Figure1. Package Type of XL6009

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Pin Configurations

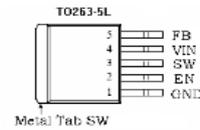


Figure2. Pin Configuration of XL6009 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin.
2	EN	Enable Pin. Drive EN pin low to turn off the device, drive it high to turn it on. Floating is default high.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW).
4	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL6009 operates from a 5V to 32V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.
5	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Function Block

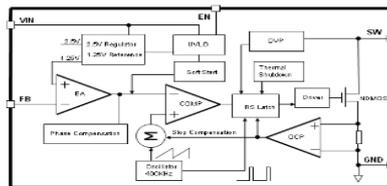


Figure3. Function Block Diagram of XL6009

Typical Application Circuit

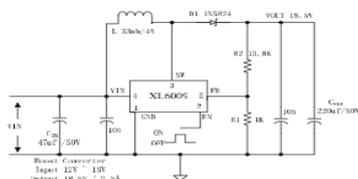


Figure4. XL6009 Typical Application Circuit (Boost Converter)

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Marking ID	Packing Type
		Lead Free	Lead Free	
		XL6009E1	XL6009E1	Tube
		XL6009TRE1	XL6009E1	Tape & Reel

XLSEMI Pb-free products, as designated with "E1" suffix in the part number, are RoHS compliant.

Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V _{in}	-0.3 to 36	V
Feedback Pin Voltage	V _{FB}	-0.3 to V _{in}	V
EN Pin Voltage	V _{EN}	-0.3 to V _{in}	V
Output Switch Pin Voltage	V _{Output}	-0.3 to 60	V
Power Dissipation	P _D	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263-5L) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	R _{θJA}	50	°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	-40 to 125	°C
Storage Temperature	T _{STG}	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	T _{LEAD}	260	°C
ESD (HBM)		>2000	V

Note1: Stresses greater than those listed under Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

XL6009 Electrical Characteristics

T_a = 25°C, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit, figure4</i>						
V _{FB}	Feedback Voltage	V _{in} = 12V to 16V, V _{out} = 18V I _{load} = 0.1A to 2A	1.213	1.25	1.287	V
η	Efficiency	V _{in} = 12V, V _{out} = 18.5V I _{out} = 2A	-	92	-	%

Electrical Characteristics (DC Parameters)

V_{in} = 12V, GND = 0V, V_{in} & GND parallel connect a 220uf/50V capacitor; I_{out} = 0.5A, T_a = 25°C; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V _{in}		5		32	V
Shutdown Supply Current	I _{STBY}	V _{FB} = 0V		70	100	uA
Quiescent Supply Current	I _q	V _{FB} = 2V, V _{EN} = V _{in}		2.5	5	mA
Oscillator Frequency	F _{OSC}		320	400	480	KHz
Switch Current Limit	I _L	V _{FB} = 0		4		A
Output Power NMOS	R _{ds(on)}	V _{in} = 12V, I _{in} = 4A		110	120	mohm
EN Pin Threshold	V _{EN}	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	I _{EN}	V _{EN} = 2V (ON)		3	10	uA
	I _L	V _{EN} = 0V (OFF)		3	10	uA
Max. Duty Cycle	D _{MAX}	V _{FB} = 0V		90		%

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Schottky Diode Selection Table

Current	Surface Mount	Through Hole	V _R (The same as system maximum input voltage)				
			20V	30V	40V	50V	60V
1A	✓		1N5817	1N5818	1N5819		
3A	✓		1N5820	1N5821	1N5822		
	✓		MBR320	MBR330	MBR340	MBR350	MBR360
	✓		SK32	SK33	SK34	SK35	SK36
	✓		30WQ03	30WQ04	30WQ05		
5A	✓		31DQ03	31DQ04	31DQ05		
	✓		SR302	SR303	SR304	SR305	SR306
	✓		1N5823	1N5824	1N5825		
	✓		SR502	SR503	SR504	SR505	SR506
	✓		SB520	SB530	SB540	SB550	SB560
	✓		50WQ03	50WQ04	50WQ05		

Typical System Application for EPC/Notebook Car Adapter – Boost (Output 18.5V/2.5A)

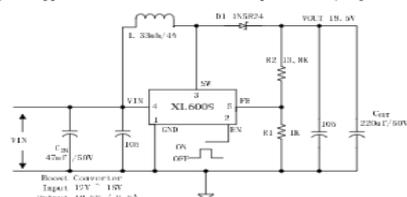
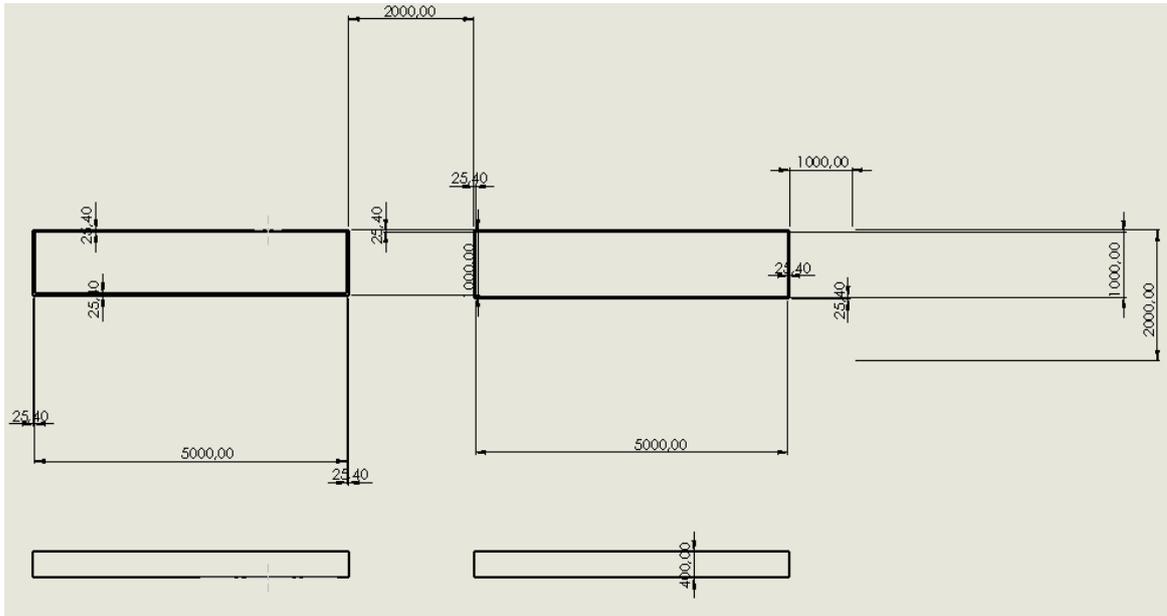


Figure5. XL6009 Typical System Application (Boost Converter)

ANEXO C: DIMENSIONES DE LAS CAJAS DE LOMBRICES, DISEÑADAS EN SOLIDWORKS.



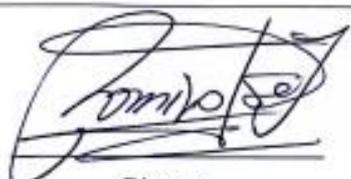
ANEXO D: ENTREGA DE INVERNADERO INTELIGENTE PARA PROYECTO DE VINCULACIÓN A LAS AUTORIDADES DE CIENCIAS PECUARIAS





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 13/05/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Diego Armando Pulla Marín
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Electrónica y Automatización
Título a optar: Ingeniero en Electrónica y Automatización
 Director Ing. Ramiro Fernando Isa Jara
 Asesor Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez