



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE RIEGO, PURIFICACIÓN DE AIRE Y FUMIGACIÓN PARA LA PLANTACIÓN DE TOMATE DE RIÑÓN EN INVERNADEROS MEDIANTE DISPOSITIVOS IOT EN LA AGROPECUARIA SAN MIGUEL DE SALCEDO

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías de información y comunicación

AUTOR: Alex Dario Satuquinga Congacha

TUTOR: Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg

AMBATO – ECUADOR

marzo – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Investigación con el tema: SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE RIEGO, PURIFICACIÓN DE AIRE Y FUMIGACIÓN PARA LA PLANTACIÓN DE TOMATE DE RIÑÓN EN INVERNADEROS MEDIANTE DISPOSITIVOS IOT EN LA AGROPECUARIA SAN MIGUEL DE SALCEDO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Alex Dario Satuquinga Congacha, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2023

Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: "SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE RIEGO, PURIFICACIÓN DE AIRE Y FUMIGACIÓN PARA LA PLANTACIÓN DE TOMATE DE RIÑÓN EN INVERNADEROS MEDIANTE DISPOSITIVOS IOT EN LA AGROPECUARIA SAN MIGUEL DE SALCEDO", es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023



Alex Dario Satuquinga Congacha

C.C. 1850230283

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023



Alex Dario Satuquinga Congacha

C.C. 1850230283

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Alex Darío Satuquinga Congacha, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación titulado SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE RIEGO, PURIFICACIÓN DE AIRE Y FUMIGACIÓN PARA LA PLANTACIÓN DE TOMATE DE RIÑÓN EN INVERNADEROS MEDIANTE DISPOSITIVOS IOT EN LA AGROPECUARIA SAN MIGUEL DE SALCEDO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, marzo 2023

Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Andrea Sánchez, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Clara Sánchez, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicada a la memoria de mi abuelita, quien me animo a seguir esforzándome con mi carrera con sus consejos y su amor.

A mis padres, a mis hermanos, quienes son el apoyo fundamental para lograr mis inspiraciones y objetivos propuestos, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí, han sido un pilar fundamental en el crecimiento de mi persona y de mi vida profesional.

Satuquinga Congacha Alex Darío

AGRADECIMIENTO

A mi familia, en especial a mis padres, a mis hermanos, a mi tío, a mi cuñada, quienes siempre me apoyaron y aconsejaron para salir hacia delante, por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia todo puede lograrse, por apoyarme en todo momento para que pueda culminar con mi carrera.

A todos mis amigos dentro y fuera de las aulas, quienes se convirtieron en familia.

A mis docentes que me ayudaron a forjarme como profesional y como persona.

A mi tutora Paulina Ayala quien estuvo pendiente en mi proceso de mi titulación.

Satuquina Congacha Alex Darío

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Tema de investigación	1
1.2. Antecedentes Investigativos	1
1.4. Contextualización del problema	4
1.5. Fundamentación teórica	5
1.5.1. Tecnología IoT	5
1.5.4. Sistema automatizado para invernaderos	8
1.5.5. Sistema de riego	9
1.5.6. Sistema de purificación del aire	9
1.5.7. Invernaderos	9
1.5.8. Cultivos de Tomate de riñón	11
1.6. Objetivos	13
1.6.1. Objetivo General	13
1.6.2. Objetivos Específicos	14

CAPÍTULO II	15
METODOLOGÍA	15
2.1. Materiales	15
2.2. Métodos	17
2.2.1. Modalidad de la Investigación	17
2.2.2. Recolección de Información	17
2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos	18
2.2.4. Desarrollo del Proyecto	18
CAPÍTULO III	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1. Análisis y discusión de los resultados	19
3.2. Desarrollo de la propuesta	19
3.2.1. Requerimientos del sistema	19
3.2.2. Diseño del invernadero	37
3.2.3. Diseño del sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón.	38
CAPÍTULO IV	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1. Conclusiones	67
4.2. Recomendaciones	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	73
Anexo 1: Datasheet del sensor DHT22	73
Anexo 2: Datasheet del sensor MQ135	76
Anexo 4: Datasheet del sensor de luz LDR	80
Anexo 5: Datasheet del microcontrolador Esp32	82
Anexo 6: Datasheet de la Raspberry Pi4	85

Anexo 7: Datasheet del aspersor T.....	90
Anexo 8: Datasheet de la bomba de agua	92
Anexo 9: Datasheet de la electroválvula.....	93
Anexo 10: Código de la fase de sensorización.....	94
Anexo 11: Código de los actuadores.....	96
Anexo 12: Código de la fase de automatización.....	99
Anexo 13: Entrevista realizada al ingeniero Walter López	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales del proyecto de investigación.....	15
Tabla 2: Parámetros técnicos de las condiciones ambientales del invernadero	19
Tabla 3: Enfermedades de la plantación de tomate de riñón	20
Tabla 4: Cuadro comparativo de las características de los sensores de temperatura y humedad del aire	23
Tabla 5: Cuadro comparativo de las características de los sensores de la calidad de aire.....	24
Tabla 6: Cuadro comparativo de las características de los sensores de humedad del suelo.	25
Tabla 7: Cuadro comparativo de las características de los sensores de luz	26
Tabla 8: Cuadro comparativo de las características de los microcontroladores.	27
Tabla 9: Cuadro comparativo de las características de la Raspberry PI4	31
Tabla 10: Cuadro comparativo de las características del aspersor.....	32
Tabla 11: Cuadro comparativo de las características de la bomba de agua.....	35
Tabla 12: Cuadro comparativo de las características de la electroválvula solenoide	35
Tabla 13: Cuadro comparativo de los tipos de los tanques de reservorio.....	36
Tabla 14: Características técnicas del módulo relé.....	37
Tabla 15: Tabla de número de muestras según el área del terreno	48
Tabla 16: Toma de datos de los sensores en escenario 1 (la mañana sin presencia de lluvia)	58
Tabla 17: Toma de datos de los sensores en escenario 2 (la tarde sin presencia de lluvia)	60
Tabla 17: Toma de datos de los sensores en escenario 3 (la mañana con presencia de nubes)	61
Tabla 18: Toma de datos de los sensores en escenario 4 (la tarde con presencia de lluvia)	62
Tabla 20: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 1	63
Tabla 21: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 2	63
Tabla 22: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 3	64
Tabla 23: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 4	64
Tabla 21: Presupuesto del proyecto	65

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Arquitectura IoT	6
Figura 2: Esquema de un sistema de control	8
Figura 3: Orientación para la construcción de un invernadero	10
Figura 4: Diagrama de bloques del sistema de control y monitoreo	22
Figura 5: Arquitectura de Home Assistant	29
Figura 6: Protocolo de comunicación entre ESPHome y Home Assistant	30
Figura 7: Conexión de dispositivos IoT hacia la plataforma	30
Figura 8: Medidas a considerar para la plantación de tomate de riñón.....	33
Figura 9: Plano del invernadero.....	38
Figura 10: Plano de distribución hídrica del sistema de riego y fumigación.....	39
Figura 11: Esquema del sistema de riego y fertilización	39
Figura 12: Plano en diferentes vistas del sistema de fumigación	40
Figura 13: Esquema del sistema de fumigación para el control de plagas	41
Figura 14: Plano frontal en 3D del sistema de purificación del aire.....	42
Figura 15: Plano del sistema de sensorización	43
Figura 16: Plataforma Home Assistant.....	44
Figura 17: Montaje de la plataforma Home Assistant a la Raspberry Pi	45
Figura 18: Proceso de instalación de la plataforma Home Assistant.....	45
Figura 19: Simulación de la fase de sensorización	46
Figura 20: Diseño PCB de la fase de sensorización	47
Figura 21: Gráfica de escalonamiento del sensor MQ135.....	47
Figura 22: Simulación de la fase de accionamiento	49
Figura 23: Diseño en PCB de la fase de accionamiento	49
Figura 24: Diagrama de conexión del sistema	50
Figura 25: Mapeo del sistema implementado	51
Figura 26: Tablero de control	52
Figura 27: Plano eléctrico del Tablero de conexión.	52
Figura 28: Etapa de sensorización	53
Figura 29: Sistema de riego y fumigación.....	53
Figura 30: Invernadero de tomates	54
Figura 31 (a, b, c): Sistema de control y monitoreo de la plataforma IoT	56

Figura 32 (a, b, c): Gráficas de los sensores medidos	57
Figura 33: La construcción del invernadero	58

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo del presente proyecto de investigación tiene el propósito de construir un sistema automatizado para el control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación en plantaciones de tomates de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT, el cual está conformado por un sistema de riego que acciona automáticamente cuando la humedad del suelo sea inferior al 50% para mantener la siembra en condiciones óptima, también se realizó un sistema capaz de controlar el nivel de CO₂ que se encuentra en el ambiente gracias, a los extractores de aire integrado por motores que eleva la cortinas para la circulación de aire limpio y fresco, además de climatizar la temperatura dentro del invernadero. Asimismo, se construyó un sistema de fumigación utilizando aspersores que se programó la activación una vez cada 15 días para la y cuando detecta el mosquito blanco, esto se realizó a través de válvulas y el bombeo de los insecticidas por la bomba de agua para contrarrestar los daños que genere la plaga. Todos estos eventos son controlados por el microcontrolador ESP32 y monitoreado por la plataforma IoT creada en Home Assistant en conjunto a los servicios de ESPHome que son complementos del servidor para el seguimiento de las variables de medición mediante un dashboard, configurado dentro de la plataforma, todos estos datos son transmitidos mediante una red Wifi, para la toma de decisiones hacia los actuadores.

El sistema se desarrolló debido a la falta de tecnificación que existen en los invernaderos de tomate de riñón en el cantón de Salcedo.

Palabras clave: IoT, Home Asistan, ESPHome, WI-FI

ABSTRACT

The development of this research project has the purpose of building an automated system for the control and monitoring of irrigation, air purification and fumigation in kidney tomato plantations in greenhouses through IoT devices, which is made up of an irrigation system that it activates automatically when the soil humidity is less than 50% to keep the planting in optimal conditions, a system capable of controlling the level of CO₂ found in the environment was also made thanks to the air extractors integrated by motors that raise the curtains for the circulation of clean and fresh air, in addition to conditioning the temperature inside the greenhouse. Likewise, a fumigation system was built using sprinklers that were programmed to activate once every 15 days for and when the white mosquito is detected, this was done through valves and the pumping of insecticides by the water pump to counteract the damage caused by the pest. All these events are controlled by the ESP32 microcontroller and monitored by the IoT platform created in Home Assistant together with the ESPHome services that are complements to the server for monitoring measurement variables through a dashboard, configured within the platform, all These data are transmitted through a WiFi network, for decision making towards the actuators.

The system was developed due to the lack of technology that exists in kidney tomato greenhouses in the canton of Salcedo.

Keywords: *IoT, Home Assistant, ESPHome, WI-FI*

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1.Tema de investigación

Sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IOT en la Agropecuaria San Miguel de Salcedo

1.2.Antecedentes Investigativos

En base a investigaciones desarrolladas se encontró trabajos bibliográficos en repositorios académicos como: proyectos de titulación, papers, artículos y revistas que se relacionan a sistemas inteligentes para invernaderos con el objetivo de aportar y sustentar de manera bibliográfica al proyecto.

En el año 2022, Ángel Caisa, Ecuador, desarrolló un “Prototipo IoT de telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología Lora” el mismo que cuenta con un nodo de sensorización para adquirir los datos de la temperatura, humedad y PH del suelo; un nodo gateway el que recibe los datos del nodo de sensorización y retransmite hacia el servidor alojándose en una máquina virtual Ubuntu y visualizarlos en una dashboard del nodo de red mediante una interfaz web para la monitorización y control de los actuadores. De tal manera que se concluyó la monitorización de los valores de los sensores y realizar el control de los actuadores en la etapa de goteo con el nodo actuador, donde se reciben los datos que son enviados desde la interfaz en Node-Red hacia el Gateway, y de éste al nodo actuador que permite accionar la bomba de agua y las electroválvulas pertenecientes a los sectores en donde se realiza el riego, además se envía una alerta en caso de que la humedad del cultivo baje mediante un mensajes a Telegram. [1]

El autor Nelson Romero en Ecuador, 2020, desarrolló un “Prototipo de sistema de medición de variables ambientales para agricultura de precisión en áreas amplias utilizando la modulación Lora” el cual implemento un sistema de gran alcance mediante la tecnología Loran para la medición de las variables físicas ambientales en

la agricultura. Este sistema consta de un Nodo sensor que está conformado por un Arduino uno para adquisición y recolección de los datos de las variables ambientales como: CO₂ (MG-811), humedad y temperatura del aire (DHT-22), humedad del suelo (FC-28), sensor de PH del suelo y la presión barométrica (BMP-180) enviando los dichos datos al Gateway que utiliza un microcontrolador Lopy 4 y almacenar en una base de datos local por medio de una Raspberry Pi. Además, implemento un sistema de Backup para la suministración de energía a través de paneles solares y una batería. Consiguiendo así un sistema de medición de larga distancia para el análisis de las variables climáticas en los terrenos agrícolas de bajo consumo potencia, costo y durabilidad. [2]

Nydia Salazar, 2020 en México, realizó un “Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos”, el cual implementó un prototipo automatizado híbrido (energía eléctrica y energía fotovoltaica) para cultivo de hortalizas dentro de un invernadero, utilizando la tarjeta electrónica Arduino mega para controlar el sistema mediante la obtención de los datos de los sensores: de la humedad relativa (DHT11), temperatura (DHT12), intensidad de la luz (fotorresistor LDR), humedad del suelo (hidrómetro FC-28) y la presión atmosférica (barométrico BMP-2810) para la activación de los actuadores (ventiladores y motores); además utilizo un sistema fotovoltaico para la suministración de energía. La monitorización de las variables lo realizó mediante una aplicación móvil desarrollada en App inventor. Consiguiendo así un sistema automático y acondicionado para invernaderos de bajo costo y de energía renovables. [3]

Los autores Cristina Abalco y Paul Vásquez, 2018 en Ecuador, proponen un “Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas orgánicas y tomate riñón”, para lo cual implementaron un prototipo automatizado para invernaderos de cultivos orgánicos. De tal manera que está constituida por un sistema de ventilación, un sistema de riego por goteo, un sistema de control para llenado de agua en el tanque, que se activan mediante una red de sensores que detectan la temperatura y la humedad del invernadero utilizando un PLC para las condiciones de operación del sistema y una

interfaz de usuario de visualización para la verificación del estado del invernadero. Logrando un sistema automático y manual de acondicionamiento para invernadero de bajo consumo de energía con una interfaz amigable HMI. [4]

En el año 2017 Felipe Rodríguez, Irene García, Saira Vásquez y Lucila Juárez, México, en LA REVISTA DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO publicaron un artículo científico con el tema “Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán”, donde realizaron un control del clima para invernaderos de fresas. El cual consta de un microcontrolador Arduino Mega que controla las variables físicas como la temperatura del medio (LM35) y la humedad del suelo (DHT22). Este sistema tiene un horario establecido de 8:00 a 18:00 para la monitorización de la temperatura y humedad del suelo, activando el sistema de ventilación y riego cuando estas variables de medición detecten la temperatura mayor a 25°C. Además de una interfaz de usuario donde se registrará los datos de los sensores y se analizará el comportamiento de las plantas. Obteniendo como resultado el desarrollo de la plantación de fresas en un lapso de 2 a 4 días, a diferencia de la producción tradicional que se demora de 2 a 3 semanas. [5]

En el años 2017 en México Juan Guerrero, Fermín Estrada, y Miguel Medina, en la revista IBEROAMERICANA DE SISTEMAS, CIBERNÉTICA E INFORMÁTICA, publicaron un artículo científico con el tema “Plataforma IoT para Agricultura de Precisión”, desarrollaron la plataforma SGreenH-IoT para la monitorización remota de invernaderos y campos de cultivo de bajo consumo energético, realizado en 2 etapas: la primera etapa describe el diseño de la plataforma, la cual está constituida por la recolección y toma de decisiones en función del nodo de sensores; el protocolo de comunicación para la transmisión de datos de los nodos mediante el protocolo ZigBee; la de gestión encargada de administrar datos adquiridos en la base de datos y la de consulta que es la interacción de la plataforma con el usuario. La segunda etapa es el diseño de la tarjeta electrónica compuesta por el nodo de sensores y el nodo controlador mediante un PIC18LF46K22. Consiguiendo como resultado una plataforma amplia de monitoreo remoto, de gestión y visualización en base a la

tecnología IoT con nodos de sensores y actuadores, de bajo consumo de energía para el acondicionamiento de las áreas de producción agrícola. [6]

Alejandro Cama, Francisco Gil, Julio Gómez, Amos García y Francisco Manzano, 2014 México, realizaron la Investigación “Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero” publicada en la revista SCIELO, De tal manera que el sistema consiste en una red de sensores inalámbricos (WSN) que funciona en base al protocolo 6LoWPAN y el protocolo de enrutamiento RPL para la medición de variables como: la humedad, temperatura y luz. La WSN envía los datos en tiempo real al servidor para almacenarlos y visualizarlos. De modo que concluyo en un sistema tecnificado de monitorización en tiempo real donde los nodos de sensorización establecen rutas automáticamente de enlace mediante conexión inalámbrica para la agricultura basado en software libre y un sistema de ahorro de energía. [7]

1.4.Contextualización del problema

El sector agrícola está siendo perjudicado por los cambios climáticos, afectando directamente al pequeño agricultor en la plantación de sembríos, ya que deben esperar el tiempo adecuado para cultivar, generando un alto índice de desabastecimiento de alimentos en especial de hortalizas. Lo que ha llevado a los agricultores construir invernaderos en sus terrenos, como una alternativa para cultivar alimentos bajo adecuaciones térmicas [8].

En el cantón Salcedo existe una gran cantidad de invernaderos convencionales que no cuentan con las adecuaciones específicas para el desarrollo y crecimiento de los sembríos. Causando efectos negativos sobre la producción agrícola, ya que el cambio climático, la temperatura, la humedad, escasez o exceso de agua y las plagas; ocasionan daños irreversibles hacia la plantación provocando que no se desarrolle, no madure, y por ende ocasione pérdidas económicas al agricultor. Las adecuaciones de los invernaderos son indispensables para una buena producción de hortalizas, tamaño adecuado, un color brillante y mejor sabor, y al controlar las condiciones ambientales permite madurar a la planta y acelerar el crecimiento en cualquier época del año [9]

La tecnología cada vez va en desarrollo, y gracias a dispositivos IoT se puede acondicionar el interior de los invernaderos permitiendo controlar la temperatura, la ventilación, el agua y las plagas en los cultivos, dando solución a esta problemática para los pequeños agricultores.

La presente investigación beneficiará a la Agropecuaria San Miguel de Salcedo al contribuir a los productores a satisfacer directamente la necesidad y la demanda de las hortalizas como el “tomate de riñón”, utilizando tecnologías modernas, logrando mejorar la producción. Por consiguiente, existe la necesidad de implementar un sistema automatizado de riego, purificación de aire, control de temperatura y plagas para las plantaciones en invernaderos, para lo cual se cuenta con los conocimientos técnicos y los materiales necesarios para la factibilidad del proyecto.

1.5.Fundamentación teórica

1.5.1. Tecnología IoT

La tecnología IoT o también conocidas como el internet de las cosas ha revolucionado al mundo, transformándole digitalmente gracias la tecnología inalámbrica, a los sistemas microelectrónicos, sistemas electromecánicos y los servicios que ofrece el internet, permitiendo conectar un conjunto de equipos electrónicos como: sensores, actuadores, electrodomésticos, maquinaria, entre otros; que se pueden conectar inalámbricamente mediante el internet formando así, una red colectiva de dispositivos para la transmisión y recepción de datos, los cuales son visualizados a través de un servidor de aplicaciones para el monitoreo y control de procesos. [10, 11]

Esta tecnología se caracteriza por combinar dispositivos electrónicos, la computadora y redes basadas en el protocolo IP para controlar y monitorear procesos; procesar y analizar datos. Actualmente existe una gran variedad de aplicativos en diferentes campos como: la industrias 4.0, redes energéticas, implementación de ciudades y casa inteligentes, seguridad electrónica, agricultura, en la medicina, la educación, el sector automotor, entre otros [11]

Arquitectura IoT

La arquitectura IoT está conformada de 4 etapas como se puede observar en la figura 1 donde cada etapa cumple una función específica: en la primera etapa recopila información de los sensor y actuadores mientras, que en la segunda etapa estos datos son transformados de datos análogos a datos digitales, en la tercera etapa permite analizar los datos obtenidos y finalmente en la cuarta etapa los datos sean procesados y se transmitan al centro de datos o la nube. [12]

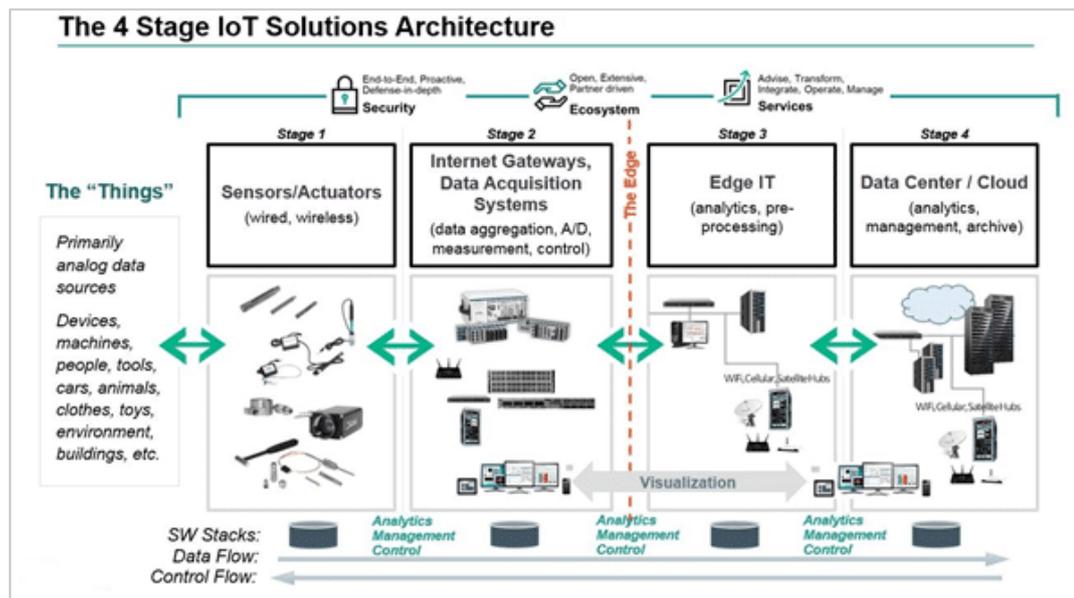


Figura 1: Arquitectura IoT [12]

Ventajas y desventajas de la tecnología IoT

Las ventajas de la tecnología tenemos [11]:

- La capacidad de conectar dispositivos electrónicos a través de la red
- Transmisión y recepción de información de manera eficiente en tiempo real
- Consumo energético bajo
- Monitoreo remoto
- Control a largas distancia
- Comunicación directa

Desventajas de la tecnología IoT son [11]:

- No cuenta con información encriptada, es decir es vulnerable a hackeos y robos de información.
- Los dispositivos no tienen confidencialidad.
- Falta de compatibilidad.

1.5.2. Plataforma IoT

La plataforma IoT proporciona la facilidad de conectar dispositivos físicos en línea para gestionar y administrar. Fue desarrollada para crear aplicativos o servicios que contenga infraestructura propia o basada en la nube y que permita la conexión de las personas y las cosas [12]. Sin embargo, es necesario que se base en los siguientes criterios:

- Una conectividad eficiente de datos que contenga varios protocolos de comunicación que garantice la transmisión de datos.
- Es importante la gestión de los dispositivos para el funcionamiento adecuada de los dispositivos que se encuentran conectados
- Almacenamiento de datos
- La interfaz sea interactiva hacia el cliente
- Adquisición y análisis de datos a través de dispositivos electrónicos.
- Facilidad de uso
- Seguridad de datos

1.5.3. La agricultura y la tecnología IoT

La agricultura inteligente es definida por el uso de nuevas tecnologías con el fin de beneficiar la producción del campo agrícolas y la calidad de los cultivos mediante la interconexión de dispositivos como: sensores, actuadores, cámaras, motores, drones entre otros que son programados para operar en conjunto y así monitorizar, evaluar y controlar los sembríos a través del internet. [13, 14]

Actualmente existe diferentes aplicativos prácticos que se puede utilizar en el ámbito agrícola como: El sistemas de riego, sistema de fertilización y fumigación, el control de los sembríos, el control de clima y de plagas, donde se conecta diferentes dispositivos que ayudan y aportan en las fases de los cultivos desde la preparación del

suelo, la plantación, cosecha y las condiciones físicas de las plantas tomando decisiones y estrategias mediante la automatización de procesos, teniendo un control en los cultivo de una manera eficiente por el agricultor y a la vez beneficiarse en la reducción de tiempo y recursos en el campo. [14, 15]

1.5.4. Sistema automatizado para invernaderos

Un sistema automatizado para invernadero debe está conformado por:

A. Sistema de control

Un sistema de control se lo define al conjunto de elementos que influyen en el comportamiento de un sistema para una determinada tarea. Está conformado por variables de control que pueden se manipuladas y por las variables de salida que es la acción que ejerce sobre las ordenes de las variables de control. En la figura 2 se ilustra un esquema general de un sistema de control. [16]

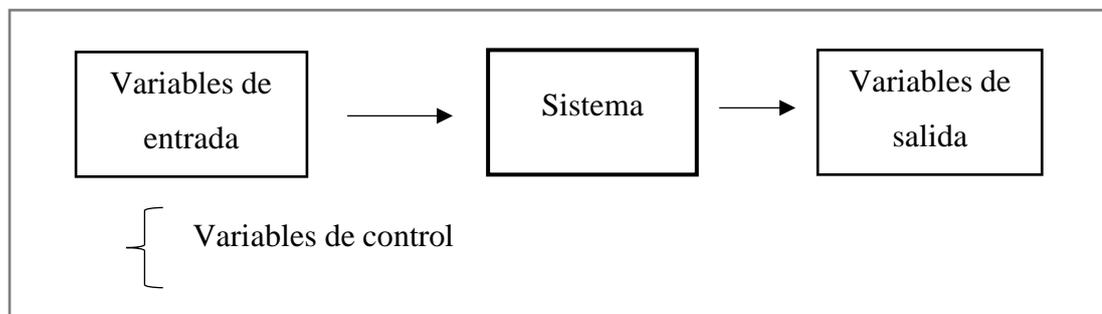


Figura 2: Esquema de un sistema de control [16]

A. Sensores

Los sensores son dispositivos que detectan variables físicas dentro de su entorno que se asemeje a la percepción de una persona, ya que recibe e interpreta las señales adquiridas para tomar decisiones. Los sensores se caracterizan principalmente por el rango de medición, la sensibilidad, precisión, exactitud. Existen diferentes tipos de sensores según el funcionamiento tenemos:

- Sensores hidráulicos
- Sensores mecánicos
- Sensores Fotoeléctricos
- Sensores de presión

- Sensores de temperatura
- Sensores de proximidad entre otro.

B. Actuadores

Los actuadores son componentes mecánicos o eléctricos que ejerce acción cuando reciben órdenes de las señales de control ejerciendo una fuerza para mover o actuar entre ellos tenemos el motor eléctrico, electroválvulas, ventiladores y relés.

1.5.5. Sistema de riego

Los sistemas de riego son un conjunto de estructuras, que permiten determinar qué área puede ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. Consta de varios componentes y estos dependerán de si se trata de riego superficial, por aspersión o por goteo. [17]

- Riego por Goteo es donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados, que permite la utilización óptima de agua y abonos.
- Riego por Microaspersión lanza a presión cortinas de gotas de agua de corto alcance ideales para el riego de plantas pequeñas como hortalizas.
- Riego por Subfoliar es un sistema de riego parecido a la lluvia. Es decir, el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y mediante pulverizadores, llamados aspersores y gracias a una presión determinada, el agua se eleva para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar.
- Riego con aspersores alcance superior a 6 metros, por lo que lanzan el agua a esta distancia dependiendo de la presión y el tipo de boquilla que tenga.

1.5.6. Sistema de purificación del aire

Los purificadores de aire son dispositivos que permite eliminar la contaminación existente en el medio de una determinada área mediante filtros, los cuales retienen todas las partículas en el aire. [18]

1.5.7. Invernaderos

Los invernaderos son estructuras físicas de madera o metal que se encuentra cubiertos de plástico que sirven para crear microclima específico y para proteger a los cultivos

de diversos factores como: del sol, del frío, la lluvia, de las plagas y de los animales. [17, 19]

Para construir un invernadero hay que tomar ciertos factores importantes como:

Conocer la zona en donde se va a construir el invernadero para saber cuál es la orientación correcta del invernadero es decir en zonas templadas la orientación del invernadero será sur-norte y en zonas cálidas será oeste – este como se visualiza en la figura 3. [19]

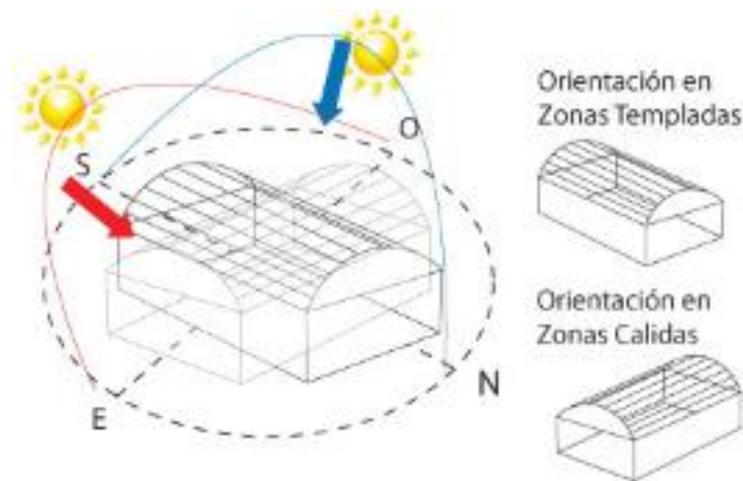


Figura 3: Orientación para la construcción de un invernadero

El material del cual se va a construir sea de madera o metal. Sin embargo, la mayoría de ellos invernaderos se lo realiza de madera debido a que tiene una menor probabilidad a que las plantas se enfermen. [19]

La forma del invernadero a construir depende mucho del desfogar el agua lluvia que desee tener entre ellos tenemos [19]:

- Invernadero plano
- Invernadero tipo parral
- Invernadero de capilla
- Invernadero de capilla doble
- Invernadero tipo túnel
- Invernadero con techumbre curva

Ventajas y desventajas de los invernaderos

Las ventajas de los invernaderos son:

- Permiten una protección contra condiciones climáticas adversas
- Obtención de cosecha fuera de época
- Mejor calidad de sembríos
- Aumento de producción al año
- Control de plagas
- Menor riesgo de pérdidas de producción

Las desventajas de los invernaderos son:

- Alta inversión inicial de infraestructura
- Alta supervisión de monitorea a las condiciones climáticas
- Deficiencia de ventilación
- Construcción compleja

1.5.8. Cultivos de Tomate de riñón

El tomate de riñón es una hortaliza que requiere que el clima se apropiado para su crecimiento y producción por lo cual se cultiva en zonas tropicales a campo abierto y en zonas andinas en condiciones de invernaderos tomate de riñón puede ser cultivado en diferentes temporadas. Tenemos 8 tipos de tomate que se comercializan en los diferentes mercados del Ecuador como: la cita, daniela, red, dynamo, titan, cherry y pietro que es cultivado en la sierra céntrica del país. [20]

A. Etapas del cultivo de tomate riñón

Las etapas del cultivo de tomate de riñón son los siguientes pasos [21]:

1. Prepara la tierra de los sembríos
2. Surcado
3. Preparación de las camas
4. Abono y fertilización
5. Acolchado plástico
6. Trasplantar
7. Riego
8. Fertiirrigación

9. Deshierba

B. Factores para el desarrollo del cultivo de tomate de riñón:

La temperatura es un factor indispensable para el crecimiento de los sembríos de tomate de riñón; lo cual requiere de 18°C A 25°C, en especial en el proceso anabólico (la fotosíntesis), catabólico (la respiración) y fisiológico de la planta, donde la variación del clima influye en el desarrollo de la planta, así como también, en la germinación de la semilla, el crecimiento de tallo, la floración y los frutos, es decir que el calor permite a la planta absorber los nutrientes y el agua del suelo para su alimentación [21].

La humedad del aire ayuda a que la planta no se marchite, no crezca hongos, ni se enferme por eso es recomendable que el sembrío tenga entre el 50% y 70% de humedad en el ambiente [21].

La luz del sol perjudica el crecimiento de la planta debido a que provoca exceso en la transpiración, facilidad de intercambio de gases por la fotosíntesis y la respiración celular [21].

El viento cumple un papel fundamental en el cultivo de tomate de riñón ya que ayuda a la polinización y oxigenación de la planta regulando la temperatura y humedad, por lo que se recomienda construir invernaderos en lugares donde existe viento para el beneficio para la hortaliza [21]

La plantación de tomate en invernadero requiere de un sistema de riego por goteo por lo cual hay que tomar en cuenta: el terreno a regar, el cultivo, la densidad de la plantación, el caudal del agua, contener un reservorio de agua, la presión suficiente para operar el riego o requiere de una bomba eléctrica y disponibilidad de energía eléctrica. En el caso del tomate de riñón requiere de abundante agua debido a que necesita calcio para su desarrollo y al inicio de la plantación se debe dar frecuencias bajas de agua e ir incrementando semanalmente mientras sigue desarrollando el cultivo debido a que las hojas cuando se encuentra bien desarrolladas pierden el agua con rapidez

a través de la evapotranspiración de sus hojas. Comúnmente se realiza el regadío dos veces al día. [21]

Los sembríos de tomate de riñón también requieren de un sistema de fertilización para transportar nutrientes para las plantas a través del agua de riego y de un sistema de fumigación para la eliminación de enfermedades y plagas que pueda adquirir las plantaciones. [21]

C. Enfermedades volátiles que son trasmisibles por el ambiente y afectan a la plantación de tomate.

Las enfermedades y las plagas de la plantación de tomate bajo condiciones del invernadero se desarrollan por factores ambientales cuando la temperatura del invernadero es superior a 30°C y la humedad sobrepasa los 80%, dando lugar que las plantas se infestaran de enfermedades, las cuales dañara el cultivo por tal motivo es necesario tener ventilación en los invernaderos para nivelar la temperatura. Además, se recomienda realizar desinfecciones con productos químicos, fumigar y deshierbar ya que muchas de estas plagas se trasportan a través de aire, el suelo, arbustos o hierbas para alojarse en las plantaciones dañando los tallos, raíces, frutos y hojas hasta ocasionar la muerte de las plantas. [21]

Las plantaciones de tomate de riñón son siempre afectadas por el mosquito blanco que absorben los nutrientes de la planta provocando manchas negras en las hojas y el tronco, sin embargo, cuando la mosquita blanca deposita en las hojas y fruto las heces, esto se convierte en hongo conocido como fumagina que impide a la planta respirar por medio de las hojas hasta causarle la muerte. A esta enfermedad se la conoce como Botrytis y es muy usual en las plantaciones bajo invernadero. [21]

1.6.Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Implementar un sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT en la Agropecuaria San Miguel de Salcedo.

1.6.2. Objetivos Específicos

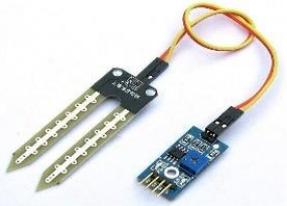
- Analizar los parámetros y factores que afecta a la producción de tomates.
- Elaborar un prototipo automatizado de control y monitoreo de riego, purificación de aire y control de plagas para la plantación de tomate riñón en invernaderos.
- Desarrollar la interfaz de comunicación IoT para el control y monitoreo del sistema de riego, purificación de aire y control de plagas para la plantación de tomate riñón.

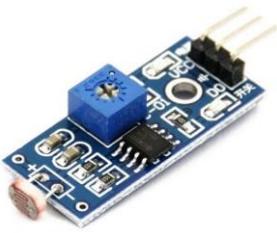
CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Materiales

En el desarrollo de la investigación se utilizaron varios dispositivos electrónicos para la implementación del sistema, los cuales se detallan en la tabla 1

Tabla 1: Materiales del proyecto de investigación

Dispositivo electrónico	Gráfico	Función
Sensor HW080		Encargado de detectar la humedad del suelo a través de la conductividad de la tierra por medio de las sondas, el sensor contiene un convertidor que permite adquirir las señales medidas tanto análogas como digitales.
Sensor MQ135		Encargado de medir la calidad de aire que se encuentra en el invernadero, mediante la variación de la resistencia que contiene cuando se encuentra en contacto con gases.
Sensor DHT22		Es el encargado de medir la temperatura y la humedad del medio que se encuentra dentro del invernadero, está integrado por un sensor capacitivo de humedad y un termistor para la medición del aire circulante

Sensor de luz LDR		Encargado de detectar plagas volátiles que se encuentren en las plantaciones dentro del invernadero mediante la intensidad de luz emitida.
Motobomba monofásica 110v		La motobomba permitirá absorber el agua de riego y los químicos de fumigación de los tanques de reserva
Electroválvula solenoide		Las electroválvulas permitieron el accionamiento automático del sistema de riego y fumigación para el paso de fluidos de los tanques de reservorio.
Microcontrolador ESP32		Permite obtener y enviar las variables físicas de los sensores y almacenarlos en el servidor.
Raspberry PI		La Raspberry PI4 se utilizó como un servidor para el almacenamiento de las variables adquiridas por los sensores

Elaborado por: Darío Satuquinga, en base a [22, 23, 24, 25, 26, 27]

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de la Investigación

Modalidad de investigación aplicada

El presente proyecto se enmarcó dentro de la investigación aplicada por el análisis de las tecnologías utilizadas actualmente para el cultivo y sistema de purificación del aire y a su vez, llegar al productor con la finalidad incentivar con esta tecnología que mejoraría su producción, la cual va directamente ejecutado en el lugar de desarrollo de la investigación, aplicando nuevas técnicas de implementación para un óptimo funcionamiento del sistema.

Modalidad de investigación bibliográfica

El proyecto se desarrolló dentro de la investigación bibliográfica por el nivel de información requerido para el análisis de nuevas tecnologías, métodos de reducción respecto a calidad de aire, la comunicación y transición de datos entre el sistema/usuario mediante un interfaz local que requieren información de fuentes como libros, páginas web, publicaciones, revistas y artículos científicos.

Modalidad de investigación de campo

En el trabajo se aplicó la modalidad de investigación de campo, para la recolección de información de variables físicas que ayudaron al método de observación permitiendo realizar un estudio detallado de lugares con mayor índice de productores, así como también de entrevistas y encuestas hacia los agricultores, quienes son los beneficiarios directos del proyecto.

2.2.2. Recolección de Información

La información se obtuvo principalmente de libros, revistas científicas, artículos y proyectos de titulación desarrollados en los últimos años, cada uno de estos relacionadas y vinculadas a Sistemas Electrónicos, Servidores con Bases de Datos, Sistemas de interfaz gráfica, y Sistemas de Comunicación por lo que se requiere de Investigación bibliográfica, también se realizará a través de la investigación de campo, en lugares en donde la baja producción de tomate genera pérdidas económicas, con el propósito de realizar un diseño eficiente, confiable y autocontrolado.

2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se realizó las siguientes actividades:

- Revisión de la información recopilada de fuentes bibliográficas y entrevistas a agricultores de tomate de riñón.
- Estudio de una solución para mejorar la calidad del aire en el interior de los invernaderos con el propósito de evitar pérdidas a los agricultores.
- Determinación de la mejor propuesta de solución mediante estudios de antecedentes investigativos, pruebas de laboratorio y corrección de errores.
- Ejecución de la propuesta de solución mediante tecnologías capaces de interactuar con el agricultor.

2.2.4. Desarrollo del Proyecto

Para la implementación del sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT, se planteó las siguientes actividades:

1. Estudio de las etapas del cultivo de tomate riñón
2. Análisis de los factores ambientales adecuados para la producción de tomate.
3. Investigación de enfermedades volátiles que son trasmisibles por el ambiente y afectan a la plantación de tomate.
4. Estudio de las características del sistema de control para invernaderos.
5. Identificación de las tecnologías actuales en sistemas de purificación de aire existentes.
6. Determinación de los requerimientos de hardware y software para el sistema de automatización
7. Configuración de dispositivos IoT de acuerdo a las necesidades del sistema
8. Diseño de la interfaz con dispositivos IoT de acuerdo a los requerimientos del sistema.
9. Programación de la interfaz HMI para la monitorización y control de usuario.
10. Implementación del prototipo de automatización
11. Validación del funcionamiento del sistema.
12. Elaboración del informe final

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

La implementación de un sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT, permite tecnificar el proceso de cultivar el tomate de riñón y mejorar las condiciones que perjudican el crecimiento y desarrollo del fruto para evitar pérdidas en el cultivo, ayudando directamente los productores e indirectamente a los distribuidores de fertilizantes y economía del cantón Salcedo y sus alrededores.

3.2. Desarrollo de la propuesta

3.2.1. Requerimientos del sistema

Para el desarrollo del sistema se realizó un estudio de los parámetros técnicos de las condiciones climáticas de la plantación de tomate de riñón en invernaderos, lo cual es necesario para el diseño e implementación del prototipo. Los requerimientos se detallan a continuación:

- El sistema debe ser capaz de detectar las variables físicas del ambiente para el desarrollo de la plantación de tomate de riñón como:

Tabla 2: Parámetros técnicos de las condiciones ambientales del invernadero

Variable física de medición	Rango de medición
Humedad del ambiente	50% al 70%
Humedad del suelo	Mayor a 14°C
Temperatura del ambiente	18°C a 25°C
Dióxido de carbono	700ppm a 1000 ppm

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en la entrevista [28]

- Debe contener un control de plagas

Tabla 3: Enfermedades de la plantación de tomate de riñón

Condiciones	Enfermedad	Afecta	Imágenes
Temperatura y humedad del ambiente elevada	Tirzo temprano	Tallo Hoja Fruto	
	Pata blanca	Tallo	
	Tirzo tardío	Tallo Hojas Fruto	
	Mancha gris	Tallo Hoja	
	Moho de la hoja	Hoja	
Temperatura elevada y baja humedad del ambiente	Cenicilla	Tallo Hoja	

Alta humedad del suelo	Marchitez	Raíz Tallo Cuello Semilla	
	Mal de los almácigos	Tallo Raíz	
	Moho blanco	Tallo fruto	
Escasa Ventilación	Botrytis o moho gris	Flores Fruto	

Elaborado por: Darío Satuquinga en base a [21, 29]

- El invernadero debe tener una ventilación adecuada para ambientar la temperatura.
- Debe disponer de un sistema de goteo, fumigación y fertilización.
- Debe tener una plataforma IoT para la gestión, control, monitoreo del sistema a través de la red.
- Debe permitir almacenar las variables medidas en una base de datos

Según el estudio realizado, el diseño del proyecto está basado en el siguiente diagrama de bloques, como se puede observar en la figura 3.

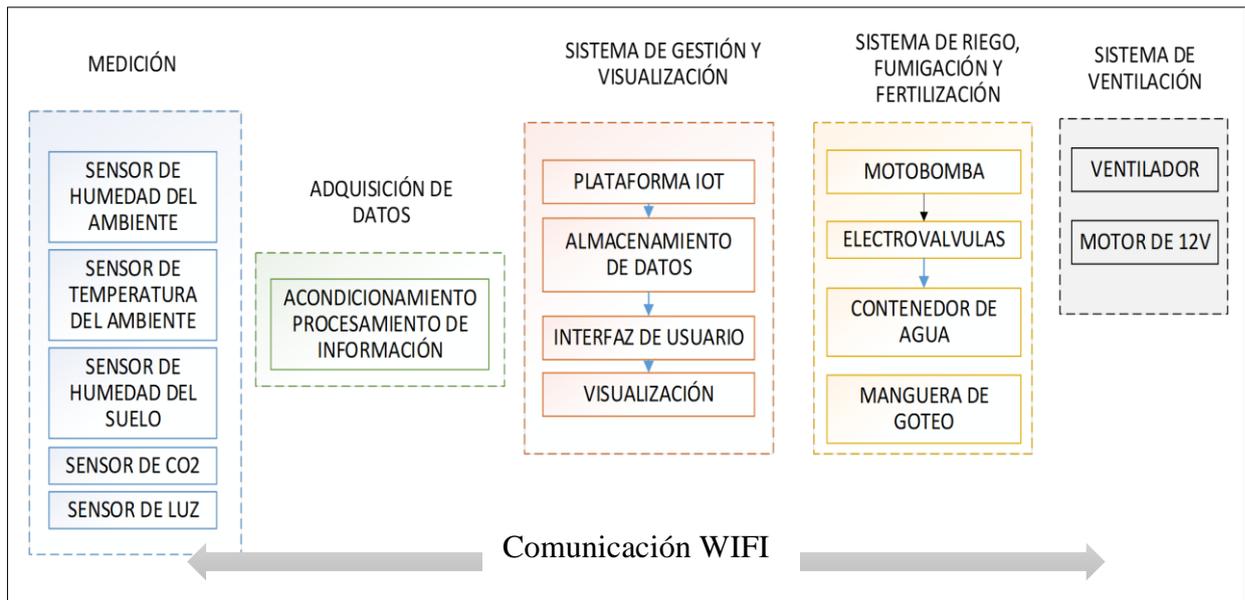


Figura 4: Diagrama de bloques del sistema de control y monitoreo

Elaborado por: Darío Satuquinga

El proyecto se desarrolló en 5 fases como se puede visualizar en la figura 4:

La fase de medición, donde se encuentran los sensores que permitieron medir las condiciones fisiológicas del suelo y climática que se encuentra el invernadero.

La fase de adquisición de datos, es el encargado de acondicionar las señales adquiridas por los sensores y controlar los eventos para el accionamiento automático de los actuadores mediante un microcontrolador.

La fase de gestión y visualización, toma los eventos controlados a través de una plataforma IoT creada en Home Assistant en conjunto a los servicios de ESPHome que son complementos del servidor para el seguimiento de las variables de medición mediante un dashboard, configurado dentro de la plataforma,

La fase de riego, se acciona automáticamente cuanto la humedad del suelo sea inferior al 50% para mantener la siembra en condiciones óptima y la fase de fumigación utilizando aspersores que se activa una vez cada 15 días y cuando detecta el mosquito blanco a través de válvulas y el bombeo de los insecticidas para contrarrestar los daños que genere la plaga.

Sistema de ventilación, controla el nivel de CO₂ que se encuentra en el ambiente gracias a los extractores de aire y los motores que eleva las cortinas para la circulación de aire fuera del invernadero

Selección de hardware y software para el proyecto

Para la selección de los dispositivos electrónicos que se van a utilizar, se efectuó un análisis de las características técnicas, tecnológicas, facilidad de adquisición y costo de cada uno de los elementos a utilizar. De tal manera, se realizó una comparación de diferentes elementos electrónicos que existen en el mercado para la elección de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Medición y adquisición de datos

En la medición y adquisición de datos se requiere de sensores que permitan detectar las condiciones climáticas dentro del invernadero, así como también la calidad del aire.

- Temperatura y humedad del ambiente

Tabla 4: Cuadro comparativo de las características de los sensores de temperatura y humedad del aire

Parámetros técnicos	KY-015 	DHT22 	HDC1080 
Voltaje de operación	3V – 5V	3V – 6V DC	3.3V – 5V
Corriente de operación	0.5mA – 2.5mA	2.5mA	2.5mA
Rango de medición de temperatura	0°C – 50°C	-40°C – 80°C	-40°C – 125°C
Precisión de medición de temperatura	±0.2°C	< ±0.5°C	±0.2°C

Rango de medición de humedad	20% A 90% RH	0 a 100% RH	0 a 100% RH
Precisión de medición de humedad	±5%	2% - 5%	±2%
Tiempo de sensado	1 seg	2 seg	2 seg
Alcance de medición	2m	2m	2m
Costo	\$8,00	\$9,50	\$13,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [23, 25, 30]

En la tabla 3, se puede observar las características de tres tipos de sensores que permitirán obtener la medición de la temperatura y humedad relativa del ambiente, lo cual según sus características se optó por el sensor DHT22 debido a que presenta mayores prestaciones a comparación de otros sensores. Gracias a que está compuesto internamente por un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir la temperatura hace que su medición sea más precisa y exacta. Las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 1.

- Calidad de aire

Tabla 5: Cuadro comparativo de las características de los sensores de la calidad de aire.

Parámetros técnicos	MG811 	MQ135 	MQ7 
Voltaje de operación	5v DC	5v DC	5v DC
Corriente de operación	200mA	150mA	140mA
Potencia de consumo	1200mW	800mW	700mW

Resistencia de carga	Potenciómetro regulable	Potenciómetro regulable	Potenciómetro regulable
Rango de detección	350ppm-10000ppm	10ppm-1000ppm	20ppm-2000ppm
Concentración de oxígeno	21%	2% - 21%	2% - 21%
Humedad de operación	65% RH	95% RH	70% RH
Temperatura de operación	-20°C – 50°C	-20°C – 70°C	-10°C – 70°C
Alcance de medición	1.5m	1.5m	1.5m
Costo	\$25,00	\$15,00	\$35,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [23, 24]

Para la medición de la calidad de aire dentro del invernadero se evaluaron los parámetros técnicos que tienen los tres sensores, que se puede apreciar en la tabla 4. Por consiguiente, se decidió utilizar el sensor MQ135 ya que es un sensor de alta sensibilidad también considerado un sensor electroquímico capaz de medir la concentración de gases volátiles como: amoníaco, dióxido de nitrógeno, alcohol, benceno dióxido, monóxido de carbono y humo que contaminan el medio. Se detalla las características en el anexo 2

- Humedad del suelo

Tabla 6: Cuadro comparativo de las características de los sensores de humedad del suelo.

	Sensor capacitivo v1.2	Sensor FC-28	Sensor YL-38
Parámetros técnicos			
Sensor	Capacitivo	Resistivo	Resistivo
Voltaje de operación	3.3V – 5V DC	3.3V – 5V DC	3.3V – 5VDC

Corriente de operación	5mA	35mA	35mA
Voltaje de señal de salida analoga	0 a 3.3 VCC	0 a VCC	0 a VCC
Voltaje de señal de salida digital	-----	3.3V – 5V TTL	3.3V – 5V TTL
Alcance de medición	1m – 10m	1m – 2m	1m – 4m
Costo	\$4,50	\$8,00	\$25,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [23, 26, 30]

Para la medición de la humedad del suelo se seleccionó el sensor FC-28 por la facilidad de adquisición a diferencia del sensor YI-38, aunque son similares en características y funcionamiento, estos dos sensores trabajan a través de dos electrodos que crean un puente entre los dos electrodos al detectar humedad, el sensor contiene un amplificador que funciona como un comparador de precisión LM393 el cual transforma la conductividad formada por el sensor a un valor análogo o digital. Las características técnicas se pueden observar en el anexo 3.

- Detección de plagas volátiles

Tabla 7: Cuadro comparativo de las características de los sensores de luz

Parámetros técnicos	Sensor TEMT6000 	Sensor de luz LDR 	Sensor GY-30 
Voltaje de operación	3.3V A 5V	3.3V A 5V	3.3V A 5V
Corriente de operación	35mA	50mA	35mA
Sensibilidad	Angulo de sensibilidad +/- 60	Sensible y un potenciómetro que	Regula la luz a través de un potenciómetro

		regula el brillo de la luz	
Temperatura de funcionamiento	-40°C – 85°C	-25°C – 80°C	-25°C – 70°C
Longitud de onda	570nm	320nm – 700nm	320nm – 700nm
Salida	Digital y analógica	Digital y analógica	Digital y analógica
Alcance de medición	1m	1m	1m
Costo	\$6.50	\$5.00	\$7.00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [22, 26, 27]

Para la detección de plagas, se utilizó el sensor de luz LDR debido a la sensibilidad de la luz y, además, permite regular el brillo mediante un potenciómetro. Las características se encuentran en el anexo 4.

Acondicionamiento y procesamiento de la señal

Para el acondicionamiento y procesamiento de las señales de los sensores se tomó en cuenta que la tarjeta electrónica tenga suficiente almacenamiento y procesamiento de datos, que tipo de tecnología tiene, que contenga pines de entrada y salida necesarios para la conexión de la tarjeta y los sensores. En la tabla 7, se detallan las características de tres tipos de tarjetas electrónicas.

Tabla 8: Cuadro comparativo de las características de los microcontroladores.

	Arduino UNO	Nodemcu ESP8266	Nodemcu Esp32
Parámetros técnicos			
CPU	ATMega328P	Tensilica Xtensa Single-Core 32-bit L106	Tensilica Xtensa Dual-Core 32-bit LX6
Memoria	Eeprom: 1Kbyte	ROM: 448 Kbyte	ROM: 448 Kbyte

	RAM: 32 Kbyte SRAM: 2 Kbyte	RAM: 64 Kbyte SRAM: 8 Kbyte	RAM: 520 Kbyte SRAM: 16 Kbyte
Chip USB-Serial	ATMega328P	CP106	CP2102
Voltaje de alimentación	5V DC	5V DC	5V DC
Corriente de operación	20mA	80mA	80mA
Frecuencia de reloj	16MHZ	80 MHz	400MHz
Pines GPIO	14	16	24
Tecnología	Serial	Wifi	Wifi Bluetooth
Costo	\$12,00	\$12,00	\$15,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [23, 31, 32]

Se realizó la comparación de las características técnicas de las tarjetas electrónicas más utilizadas y se optó por el microcontrolador Esp32 por la facilidad de adquisición, además, permite utilizar los diferentes tipos de comunicación que dispone sin la necesidad de usar módulos externos a diferencia de las otras tarjetas electrónicas. La tarjeta esp32 es un microcontrolador completo integrado de una variedad de funciones en un chip compacto. El Datasheet se puede observar en el anexo 5

Sistema de gestión y visualización

Para el sistema de gestión y visualización se desarrolló una plataforma IoT que permitió controlar el sistema a través de la red y se le colocó en una Raspberry pi4. [33]

Home Assitant es un software que permite controlar medios físicos a través de una plataforma de manera inalámbrica, cableada o utilizando un protocolo como ZigBee, bluetooth, entre otros. La ventaja de la plataforma es poder conectarse sin la necesidad de internet de manera local y segura, que tiene una estructura de comunicación desde la Core hasta el dashboard, su arquitectura se ilustra en la figura 5. [33]

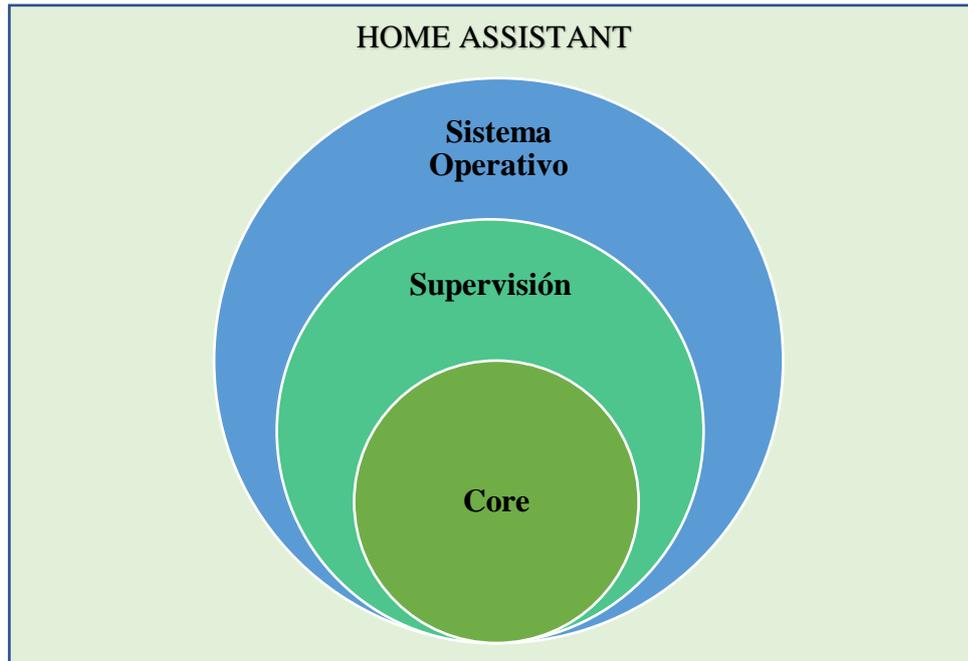


Figura 5: Arquitectura de Home Assistant

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [33]

Este software gratuito trabaja como un sistema de control central de automatización donde se interconectan varios dispositivos IoT, software, aplicaciones y servicios a través del protocolo Message Queing Telemetry Transport (MQTT)

Características

- Es compatible con diferentes marcas
- Tiene herramientas complementarias para administración de la automatización
- Tiene un aplicativo móvil para controlar la automatización a través del celular para recibir notificaciones
- Ahorro de energía
- Los datos quedan seguros
- No requiere de un servidor en la nube
- Plataforma de código abierto

ESPHome es una herramienta complementaria de Home Assistant que lee ficheros por medio de editores de texto en formato YAML y crea un firmware para subir a las tarjetas electrónicas Esp32 y Esp8266 comunicándose por el protocolo MQTT como se observa en la figura 5.



Figura 6: Protocolo de comunicación entre ESPHome y Home Assistant

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [33]

Los dispositivos de desarrollo IoT como las placas de Espressif Systems como el ESP32 y ESP8266 se complementa mediante código YAML, que puede integrar sensores, actuadores y más, en la figura 6 se puede observar cómo se interconectan los dispositivos a la plataforma.

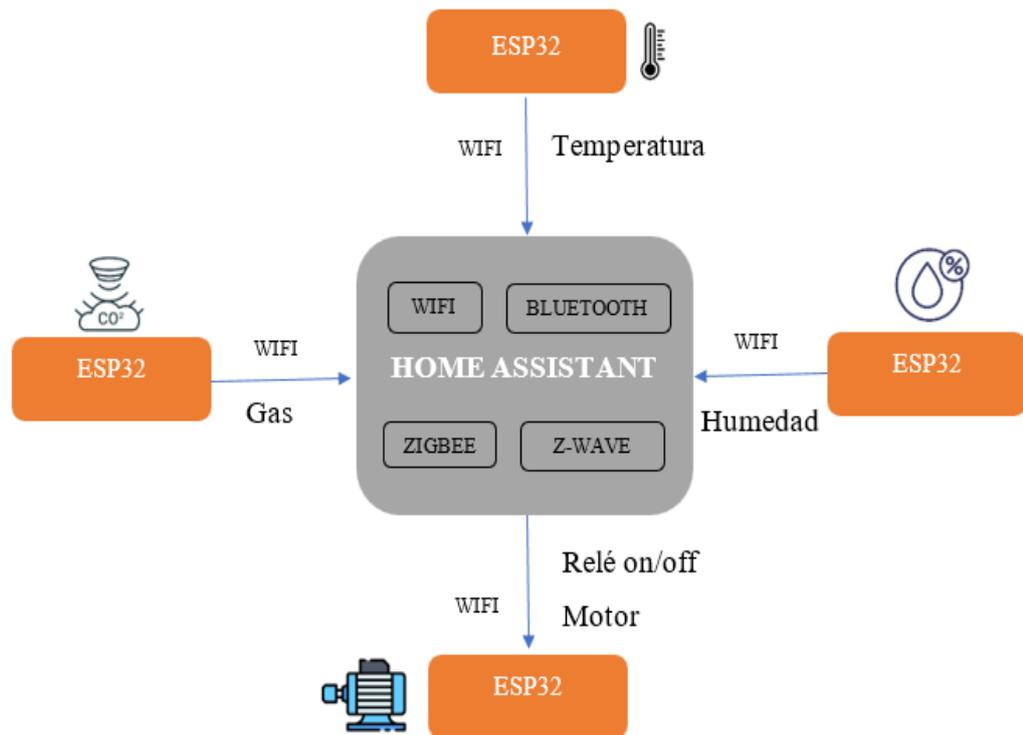


Figura 7: Conexión de dispositivos IoT hacia la plataforma

Elaborado por: Darío Satuquinga

- Raspberry PI

Tabla 9: Cuadro comparativo de las características de la Raspberry PI4

Parámetros técnicos	Raspberry PI4 	Orange PI Zero 	Odroid U4 
Chip	Broadcom BCM2711	ARM Mali-400 MP2	ARM big. LITTLE
CPU	Procesador de cuatro núcleos Cortex-A72	Allwinner H3 quad core ARM Cortex-A7 a 1.5GHz	Exynos5422 Cortex A-15 2GHz
Memoria RAM	4GB	1GB	2GB
Frecuencia de reloj	1.5GHz	600MHz	2GHz
Conectividad	Wifi, Bluetooth, Gigabit Ethernet	Wifi, Ethernet	Wifi, Bluetooth, Gigabit Ethernet
Puertos	3 USB 3.0, 2USB 2.0, HDMI, puerto de audio, ranura de tarjeta Micro SD	2 USB 2.0, HDMI, puerto de audio, ranura de tarjeta Micro SD	3 USB 2.0, HDMI, puerto de audio, ranura de tarjeta Micro SD
Sistemas operativos compatibles	Ubuntu Linux Raspbian Centos Windows	Ubuntu Linux Centos	Ubuntu Linux Android
Alimentación	5V	5V	5V
Costo	\$55,00	\$85,00	\$120,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [34, 35, 36]

Según el análisis realizado en la tabla 9, se decidió utilizar el microordenador Raspberry Pi4 porque posee un procesador de cuatro núcleos y una memoria RAM de 4GHz que permitió procesar varios datos al mismo tiempo, en especial facilitó la creación de la plataforma IoT basado en el software Home Assistant. Las características se detallan en el anexo 6.

Sistema de riego y fumigación

- Aspersores

Tabla 10: Cuadro comparativo de las características del aspersor

Parámetros técnicos	Microaspersor T-spray	Microaspersor Naandan 2001	Microaspersor Monojet
			
Rotación	360°	fijo	180°
Caudal	3.71 litro/min – 10litro/min	2 litros/min – 5 litros/min	0.75litro/min
Diámetro de rosio	6.4m	10 m	1m
Presión relativa	15– 40psi	20.3 – 58psi	20 – 30psi
Costo	\$15,00	\$25,00	\$8,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [37, 38]

Al concluir el análisis de la tabla 10, se optó por utilizar el microaspersor T-spray de Senninger rotacional de 360 debido al alcance de rosio que posee, puede ser instalado de manera vertical o invertido y por el material, que es elaborado que es de plástico de alta resistencia, lo que permite mayor durabilidad y resistencia a los químicos para la fumigación de las plantaciones. Las características se detallan en el anexo 7.

- Bomba de agua

Para la selección de la bomba de agua se realizó un cálculo del caudal de la bomba de agua que se requiere para el abastecimiento del sistema de riego y fumigación para ello se tomó en cuenta lo siguiente:

El consumo de agua, en las plantaciones de tomate consumen de 0.1 a 2 litros de agua por minuto dependiendo del desarrollo de la planta, en una plantación de 1 a 4 semanas requeriré de 0.1 a 0.3 litros/min mientras que, en una planta adulta de 5 semanas a 12 semanas tendría un consumo de agua de 0.4 a 2 litros/min. [21, 28].

El tiempo de accionamiento de la bomba, dependerá específicamente del lapso de tiempo que requiera la plantación de tomate, según fuentes bibliográficas y la entrevista realizada al ingeniero de la institución , el lapso de riego por goteo del tomate de riñón es de 10 a 15 minutos con una frecuencia de dos veces por día de acuerdo a las condiciones climáticas y el tipo de suelo [21, 28].

La cantidad de plantas depende exclusivamente del tamaño del invernadero existe otros factores que se debe tomar en cuenta como: la trasplantación del tomate de riñón tiene una distancia 30cm de separación, la distancia entre filo del invernadero y surco, y de surco a surco es de 50cm, y la dimensión de la cama es de 60cm de ancho por 15cm de altura [21, 28]. Se visualizar en la figura 8.

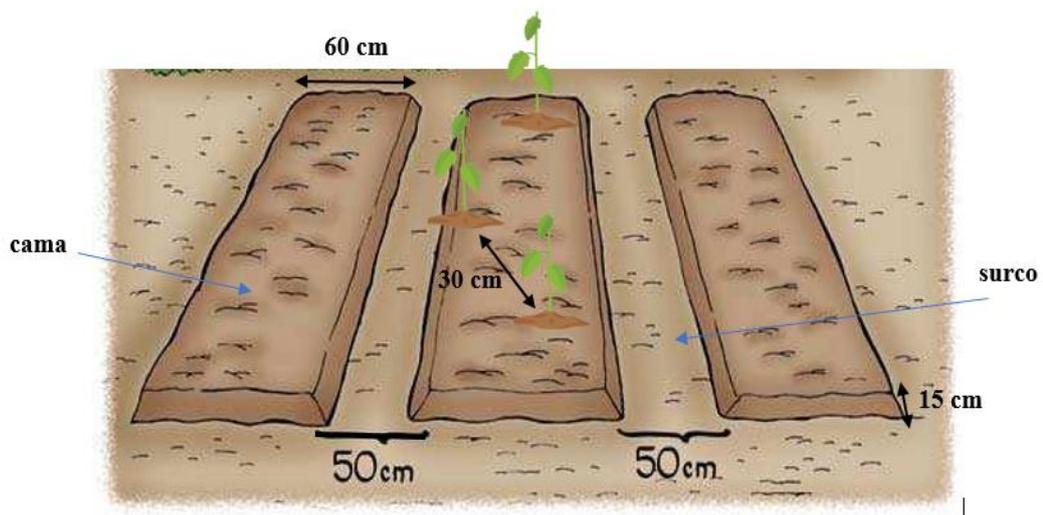


Figura 8: Medidas a considerar para la plantación de tomate de riñón

Elaborado por: Darío Satuquinga

El invernadero que se construyó tiene una dimensión de $12m^2$ el cual se realizó 2 camas de 4m de largo por 60cm de ancho cada una y tiene 5 surcos 4 al contorno del invernadero y 1 en el medio de las 2 camas, lo cual tenemos un espacio 5,2m formando 2 camas 2.6m espacio donde se trasplantó 9 plantas en cada una, teniendo un total de 18 plantas de tomate de riñón

Para conocer el caudal que requiere en el sistema de riego y fumigación se estableció el tiempo de activación de la bomba bajo dos condiciones:

Las 4 primeras semanas del desarrollo de las plantas se realizó dos veces al día con un periodo de 10 minutos.

A partir de la 5 semana el accionamiento de la bomba tiene un tiempo de duración de 15 minutos dos veces al día, debido a que la planta adulta requiere abundante agua para su desarrollo.

Entonces se realizó el cálculo del caudal como se puede observar en la ecuación 1

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Ecuación 1: Formula para calcular el caudal de agua [39]

Donde:

$Q =$ Es el caudal

$V =$ Volumen

$t =$ tiempo

Las 4 primeras semanas

$$Q = \frac{18 \text{ plantas} * 0.1 \text{ litros}}{10 \text{ min}} = 18 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Desde la 5 semana en adelante

$$Q = \frac{18 \text{ plantas} * 2 \text{ litros}}{15 \text{ min}} = 24 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Tabla 11: Cuadro comparativo de las características de la bomba de agua

Parámetros técnicos	Bomba de agua periférica 	Motobomba JET 
Voltaje de funcionamiento	110 V	220v
Altura máxima	62m	46m
Succión máxima	8m	4m
Caudal máximo	50 litros/min	120 litros/minuto
Potencia	1Hp	1.5Hp
Presión relativa	100psi – 0.7MPa	0.2MPa-0.4Mpa
Costo	\$390	\$890

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [40, 41]

Al finalizar el análisis de la tabla 11, se optó por una bomba de agua periférica Aguastrong con accionamiento eléctrico de 110V debido a que tiene un caudal 50litros/min para el abastecimiento del sistema de riego y fumigación, ya que nuestro sistema requiere de un caudal 18 a 24 litros/minuto para una dimensión de $12m^2$. En el Anexo 8 se detalla los parámetros técnicos de la motobomba eléctrica.

- Electroválvulas

Tabla 12: Cuadro comparativo de las características de la electroválvula solenoide

Parámetros técnicos	Electroválvula 12V 	Electroválvula 110V 
Material	Polietileno	Cobre
Voltaje de funcionamiento	12 V	110V

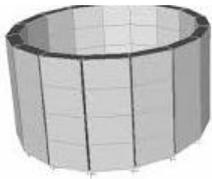
Modo de operación	Acción directa normalmente cerrado	Acción directa normalmente cerrado
Tamaño de puerto	1/2"	1/2"
Presión de salida	2.9 psi – 116 psi	0 – 145 psi
Temperatura de operación	-5°C – 60°C	-5°C – 80°C
Costo	\$15,00	\$5,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [26, 42]

Se selecciona una electroválvula solenoide de 12v de polietileno resistente debido al ducto ya que no se corroe al momento de dar paso a los insecticidas para el sistema de fumigación a diferencia de la electroválvula de cobre, la cual se deteriora por el paso de químicos, los parámetros técnicos se detallan en el anexo 9.

- Tanques de reservorio

Tabla 13: Cuadro comparativo de los tipos de los tanques de reservorio

	Tanque polietileno	Tanque de acero inoxidable	Tanque de concreto
Parámetros técnicos			
Material	Polietileno	Acero inoxidable	Hormigón
Función	Almacenar agua	Almacenar: Alimentos Químicos Cosméticos Farmacéuticos Petróleo	Almacenar agua
Sector	Agricultura y ganadería	Sector industrial	Sector industrial, hidráulico Contra incendios

			Tratamiento de agua residual
Costo	\$15,00	\$80,00	\$1900,00

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [43]

Al concluir el análisis de la tabla 13, se optó por dos tanques de reservorio elaborados de polietileno resistente que no se oxida al estar expuestos a la intemperie y muy utilizados en el campo de la agricultura y ganadería, el primero para el almacenamiento de agua con una capacidad de 80 litros y el segundo tanque para el almacenar de los fungicidas con una capacidad de 60 litros

- **Módulo relé**

Se utilizó un módulo opto acoplador de 5v que trabaja como un interruptor para el accionamiento automático de la moto bomba de 110v y las electroválvulas de 12v mediante una señal de 0 lógico y así permita el paso de la corriente cerrando el circuito. Los parámetros se visualizan en la tabla 14.

Tabla 14: Características técnicas del módulo relé

Parámetros técnicos	Módulo Relé
Voltaje de funcionamiento	5 V
Nº de relays	8 canales
Corriente máxima	10A (NO) 5A (NA)
Tiempo de reacción	10 min
Señal de control	TTL 3.3V o 5V
Costo	\$20

Elaborado por: Darío Satuquinga basado en [23]

3.2.2. Diseño del invernadero

- Se construyó un prototipo de invernadero tipo sierra cuya dimensión es 3m de ancho, 4m de largo y 2 metros de alto.

- Los soportes son de madera y cubierto de film plástico el cual es sujeto por listones.
- Se realizó una ventana de ventilación del invernadero para ambientar la temperatura dentro del invernadero de 2.5m de ancho por 90cm de largo.

En la figura 9, se puede observar el plano del invernadero.

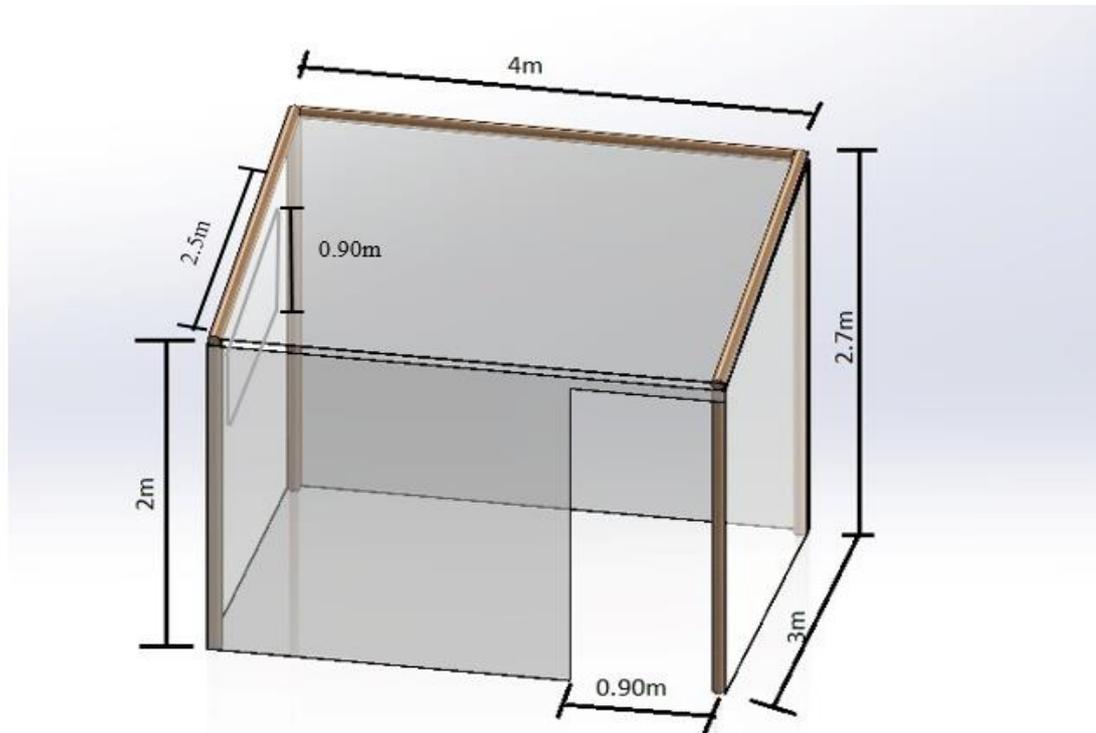


Figura 9: Plano del invernadero

Elaborado por: Darío Satuquinga

3.2.3. Diseño del sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón.

Sistemas de riego y fertilización.

El sistema de riego y fertilización que se construyó en el proyecto consta de:

- Una red principal de distribución hídrica que es la encargada del conducir el agua desde el tanque de reserva hacia los sembríos utilizando tuberías, codos, adaptadores flex y tees.
- Un cabezal de riego que está conformado por electroválvulas para la activación automática del paso del agua, un motor eléctrico de 110v para suministrar el agua hacia las plantas en forma de gotas y un tanque de reserva de agua para el abastecimiento de agua.

- Una red de distribución secundaria o líneas de goteo en forma de ramales que es extendida sobre la superficie del terreno en cada hilera de las plantas que se encuentra conectada a la red principal para entregar pequeños volúmenes de agua en forma de gota periódicamente a las plantas.

En la figura 10 y figura 11, se ilustra el plano de construcción y esquema del sistema de riego y fumigación

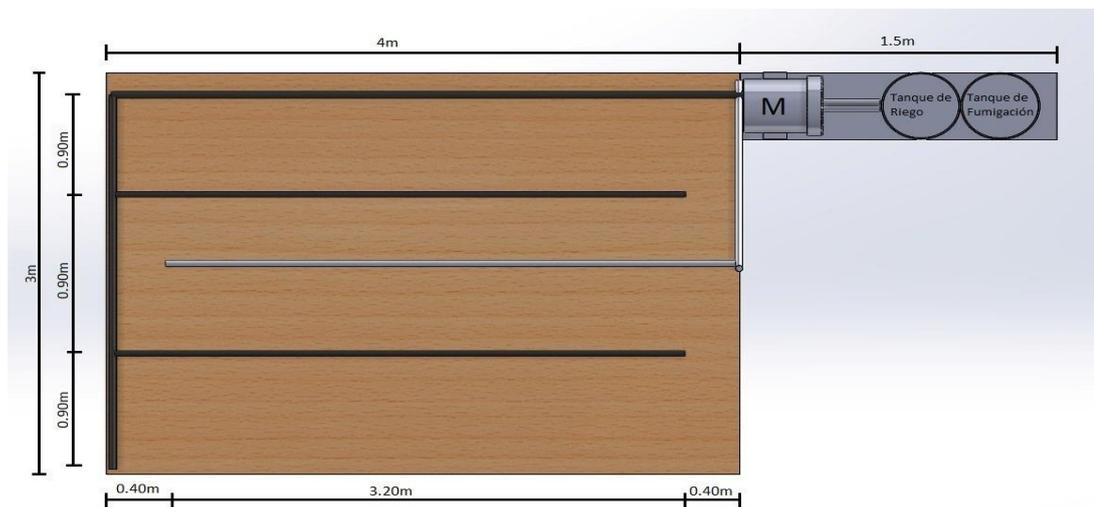


Figura 10: Plano de distribución hídrica del sistema de riego y fumigación

Elaborado por: Darío Satuquinga

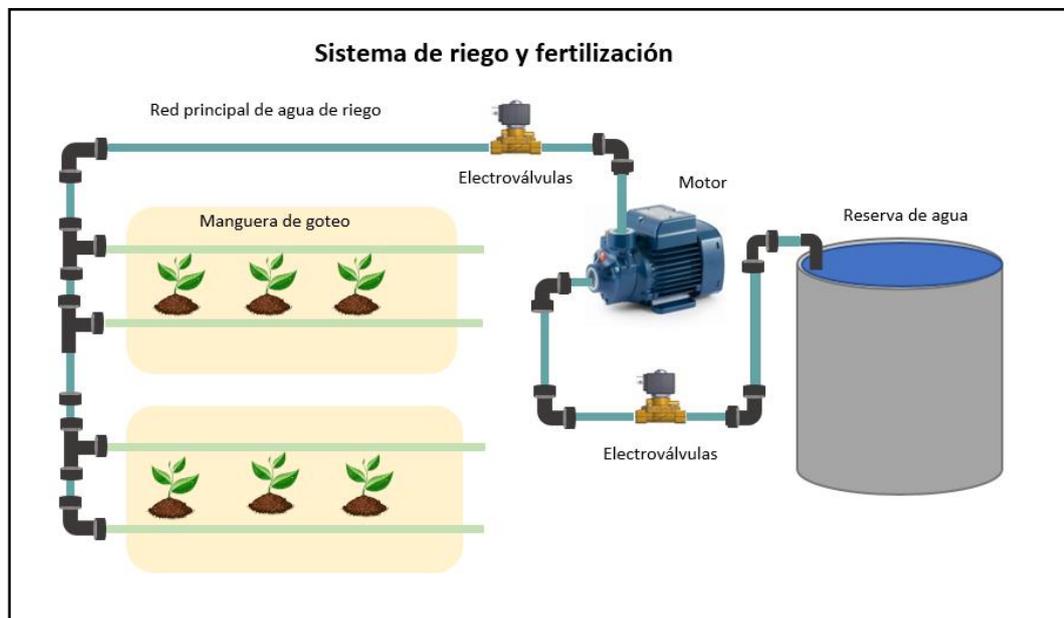


Figura 11: Esquema del sistema de riego y fertilización

Elaborado por: Darío Satuquinga

Sistema de fumigación

El sistema de fumigación incluye:

- Una red principal de fumigación realizada de tubería resistente para el paso de químicos como fungicidas, insecticidas que ayudara a combatir a las plagas volátiles que se entren en las plantas de tomate de riñón.
- Dos micros aspersores con una rotación de 360° y un diámetro de rosio de 6.4m para la dispersión de los químicos para la fumigación.
- Una electroválvula para el accionamiento automático y paso de los insecticidas
- Una estación de bombeo para la succión y circulación de los químicos a través de la red de distribución de fumigación.

Se ilustra en la figura 12 y figura 13, el plano y esquema del sistema de fumigación

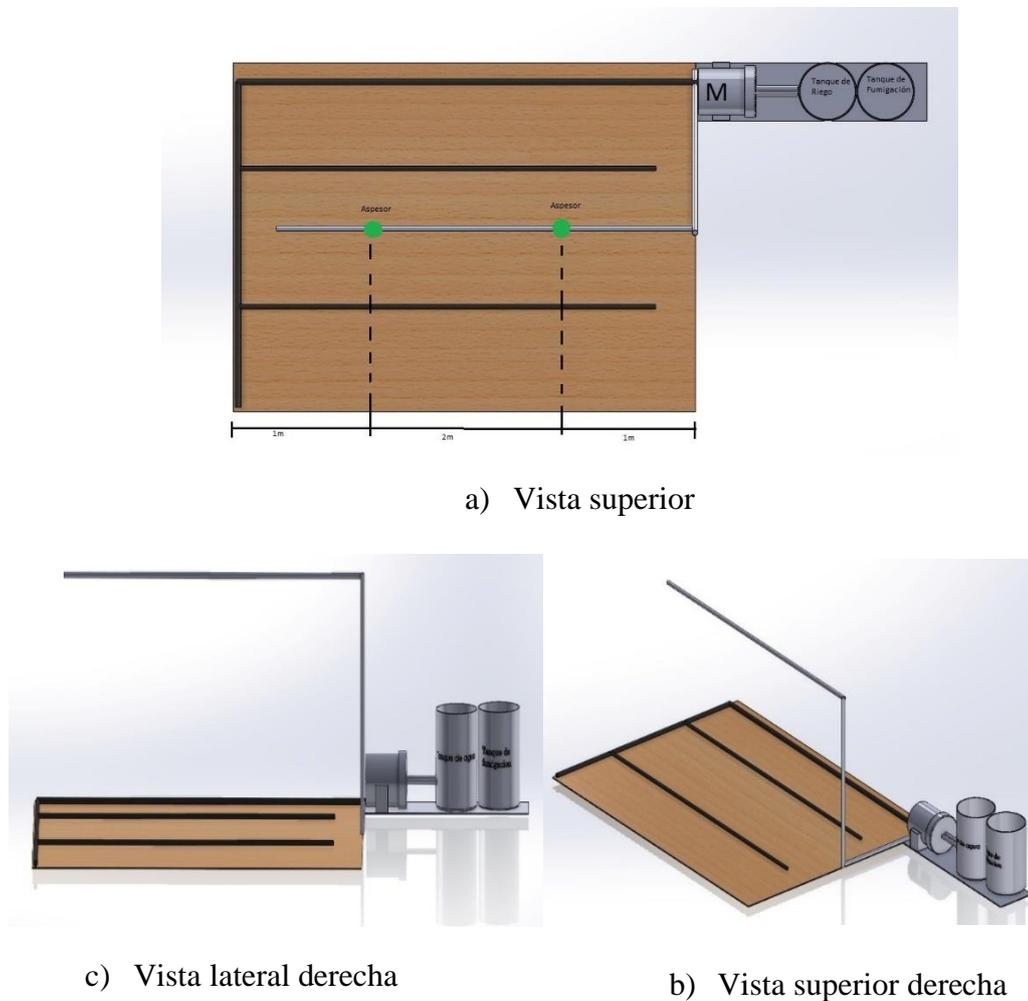


Figura 12: Plano en diferentes vistas del sistema de fumigación

Elaborado por: Darío Satuquina.

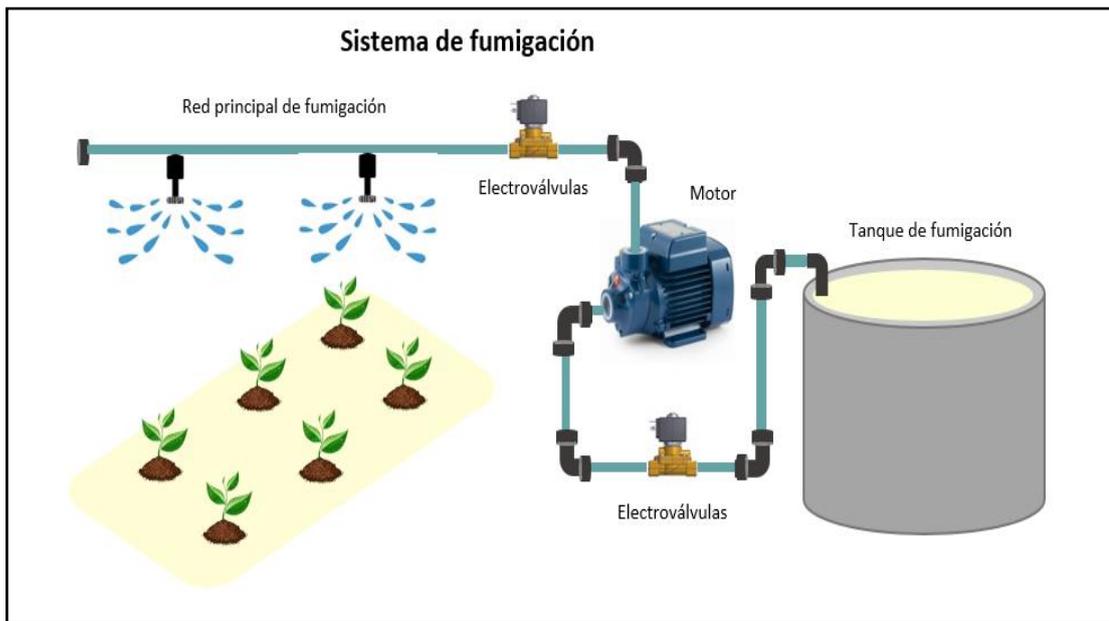


Figura 13: Esquema del sistema de fumigación para el control de plagas

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Sistema de purificación

El sistema de purificación incluye:

- Un sensor de CO₂ del ambiente capaz de detectar entre 200 ppm hasta 1000ppm para determinar si el área está contaminada o no.
- Un extractor para la circulación del aire mejorando la distribución de la temperatura dentro del invernadero e impidiendo cualquier daño al cultivo causado por la sobrepresión.
- Un motor elevador de cortinas (persianas), que logra establecer un ducto para el ingreso del aire de la parte exterior del invernadero regenerando los niveles de CO₂ en la plantación de tomate de riñón

Se visualiza en la figura 14 el plano y ubicación de los dispositivos del sistema de purificación

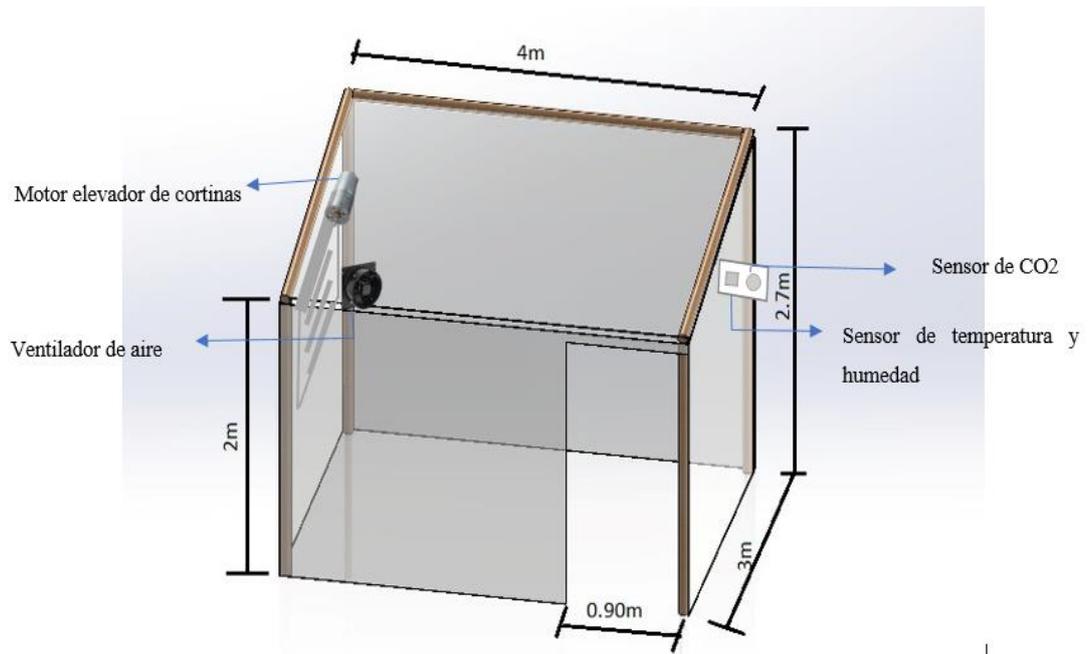


Figura 14: Plano frontal en 3D del sistema de purificación del aire

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Sistema de sensorización

El sistema de sensorización cuenta con:

- Un sensor DHT22 que actualiza su registro cada 2 segundos para determinar de los niveles de humedad y temperatura dentro del invernadero.
- Un sensor MQ135 que actualiza su registro cada 2 segundos para verificar los niveles de CO2 dentro de la plantación.
- Un sensor de humedad del suelo capaz de detectar entre 20% a 99% de humedad para verificar si la plantación tiene suficiente líquido en su tierra, este sensor se actualiza cada 2 segundos logrando determinar con precisión niveles bajos de agua para evitar muerte por sequía de la plantación de tomates.
- Un sensor de cantidad luminosa que adquiere la luz del ambiente cada 2 segundos para determinar la plaga por mosquito blanco, este sensor estaría en funcionamiento en el día, es el horario donde se puede determinar si la plantación ha sido infectada por la plaga.

En la figura 15 se ilustra la ubicación del sistema de sensorización

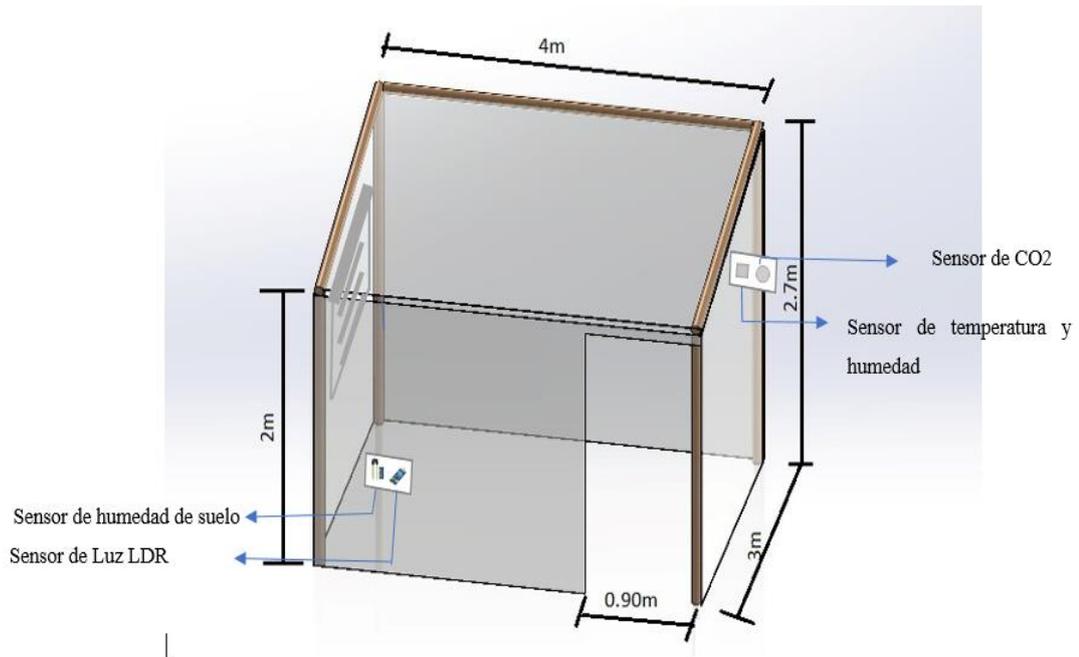


Figura 15: Plano del sistema de sensorización

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Sistema de control y monitoreo

El sistema de control y monitoreo cuenta con:

- Un servidor IoT configurado en una Raspberry Pi 4 que se encarga de gestionar los sensores, actuadores, datos de entrada y salida, registro, usuarios de conexión, configuración de escenas de automatización, entre otras funciones que le garanticen el funcionamiento de un invernadero automatizado.
- Una plataforma de Home Assistant que es el servidor IoT donde se gestiona el dashboard de monitoreo y control para invernadero, logrando así visualizar de mejor manera el funcionamiento.
- Una integración de ESPHOME que es el complemento para dispositivos de desarrolladores que es compatible con la mayoría de placas IoT, así se obtiene una configuración personalizada de dispositivos con sensores y actuadores que requiere el sistema.

3.2.4. Desarrollo, configuración e implementación del Sistema

El sistema de control y monitoreo de riego está configurado en una Raspberry pi 4 que funciona como un servidor de dispositivos IoT en conjunto con Home Assistant y ESPHome, para lo cual se necesita instalar el servidor. Se detalla los pasos a seguir para la instalación.

Home Assistant es un software libre, su imagen se encuentra en GitHub, el cual permite obtener para su instalación. Con la ayuda de una aplicación llamada “balenaEtcher” se procedió a montar la imagen desde la url del archivo, tal como se observa en la figura 16.

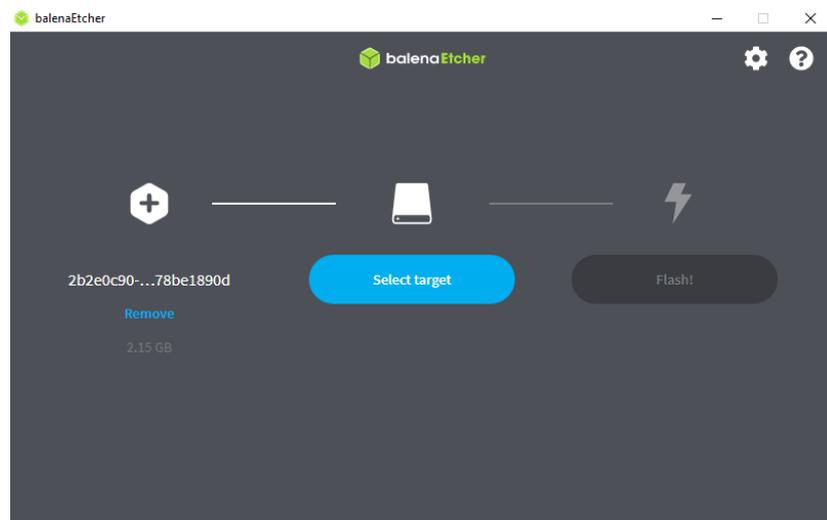


Figura 16: Plataforma Home Assistant

Elaborado por: Darío Satuquina.

Home Assistant es una plataforma de integración de dispositivos de control que puede ser instalada en mini ordenadores, ordenadores, máquina virtual, entre otras distribuciones. En el presente proyecto se procedió con la instalación en un mini ordenador de Raspberry Pi, en la instalación se procede a instanciar en una microSD de una capacidad mínima de 32GB tal como se observa en la figura 17.

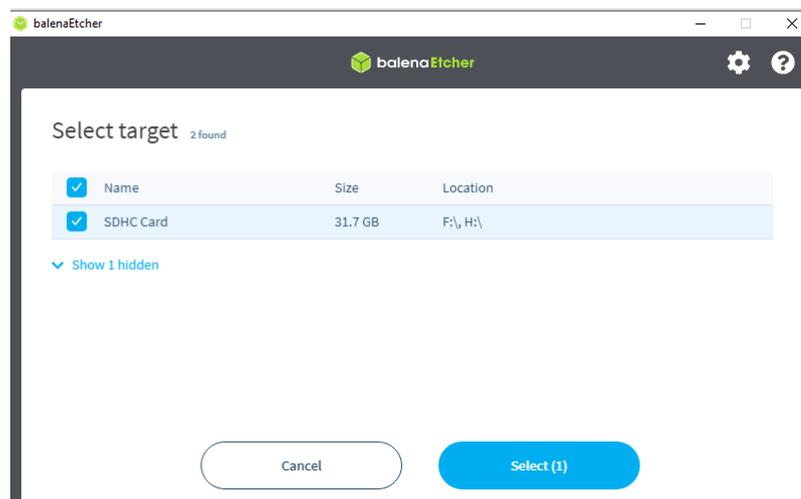


Figura 17: Montaje de la plataforma Home Assistant a la Raspberry Pi

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Para la instalación de Home Assistant toma unos minutos en la escritura de los archivos al microSD, al finalizar la transferencia de datos desde el servidor de Git-Hub al medio de almacenamiento (microSD de 32GB) la aplicación ilustra una leyenda de **Flash Complete** como se puede apreciar en la figura 18.

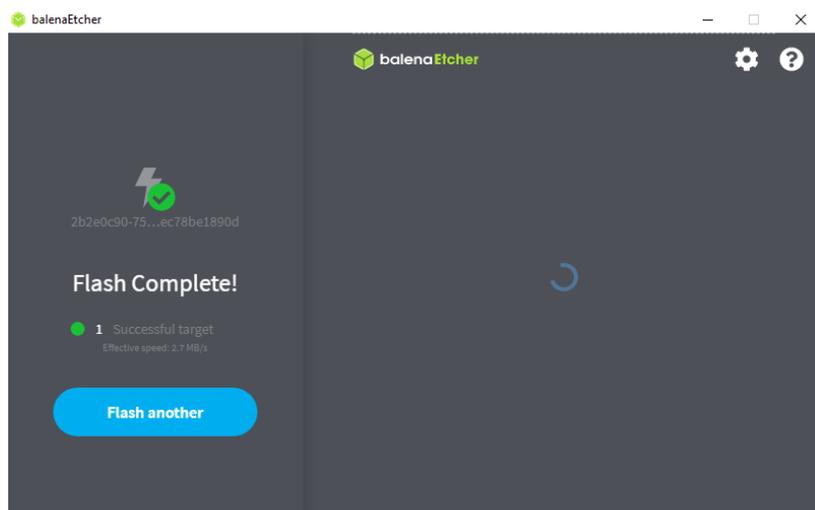


Figura 18: Proceso de instalacion de la plataforma Home Assistant

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Se procedió a inicializar el mini ordenador que va ejecutar la plataforma IoT para la integración de los módulos creados para el sistema de control y monitoreo de riego, donde se configuró un usuario administrador y contraseña, de la misma forma se puede configurar acceso a usuarios sin privilegios de administrador, se registra los nombres

de usuario de acceso a monitoreo y control del sistema. Para la creación de los dispositivos se utilizó placas de desarrollo IoT que van a estar configurados en dos fases.

Fase 1.- Integra de un módulo ESP32 con acceso a una red WiFi para ser configurado a la plataforma IoT (Home Assistant), donde tiene la capacidad de interpretar las variables físicas dentro del invernadero como: temperatura/humedad del ambiente, humedad del suelo, CO2 en el ambiente, cantidad de luz en el ambiente. Para ello se puede observar el esquemático en la figura 19, además su código de configuración en el Anexo 10.

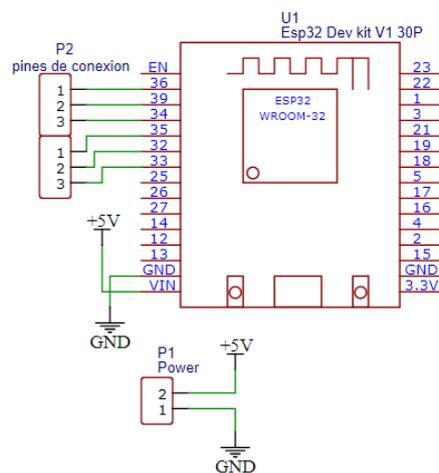


Figura 19: Simulación de la fase de sensorización

Elaborado por: Darío Satuquinga.

En la figura 20 se puede observar la PCB de la fase de sensorización, compuesto de pines para el ingreso de las señales eléctricas emitidas por los sensores: DHT22, MQ135, Sensor de Humedad de suelo, Sensor de luz y de un microcontrolador que se encarga de enviar los datos al servidor para ser monitoreadas.

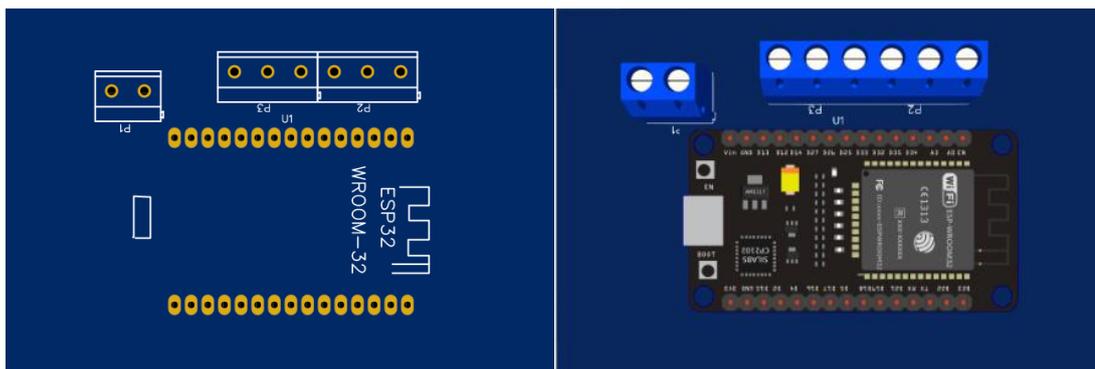


Figura 20: Diseño PCB de la fase de sensorización

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Además, en la fase 1 o fase de sensorización, se configuró los sensores que requieran de un valor escalado para ser representado de forma adecuada en el dashboard de Home Assistant. Se determinó la escalabilidad que tiene el sensor MQ135 de acuerdo a la cantidad de CO₂ en el ambiente por medio de su Datasheet, con los parámetros técnicos del fabricante se determina una variación de voltaje de acuerdo a la cantidad de contaminación del aire por CO₂ que detecte dentro del invernadero, el cual se realiza un escalonamiento de datos para obtener en ppm (partículas por millón) como se observa en la figura 21. Generando una ecuación con respecto al voltaje y partículas por millón (V/ppm), para que este dato pueda ser interpretado por el microcontrolador ESP32

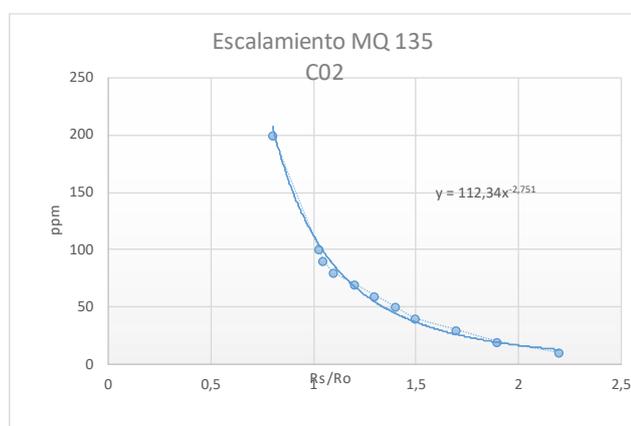


Figura 21: Grafica de escalonamiento del sensor MQ135

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Los sensores, de luz, de humedad de suelo y DHT22, no necesitan escalamiento, sus datos se interpreta de manera correcta en el desaborad del sistema.

La cantidad de sensores a utilizar depende del área de implementación de acuerdo a la tabla 15 donde determina el número de muestras a tomar para cubrir una zona específica, el sistema de riego y fumigación cubrió un área de 12m², es menor al rango de 0,2 Ha o menor a 4000m², el cuadro nos determina que el sistema debe tener una muestra por cada variable a medir, llegando a la conclusión que necesitamos ubicar un sensor por cada determinate física en medición.

Tabla 15: Tabla de número de muestras según el área del terreno [44]

Número de muestras por hectárea	Área de interés (Ha)
1	0.2
5	0.5
10	1
20	2
50	4

Fase 2.- Está compuesto de un módulo ESP32 con acceso a una red WiFi para ser integrado a la plataforma IoT (Home Assistant), donde tiene la capacidad de accionar salidas para controlar el motor y electroválvulas, generando un switch compuesto de fumigación o riego, según el evento que se presente en el sistema. El firmware de configuración se codifica en formato YAML para el intérprete en el sistema, su código se encuentra en el Anexo 11, además se puede observar el esquemático en la figura 22.

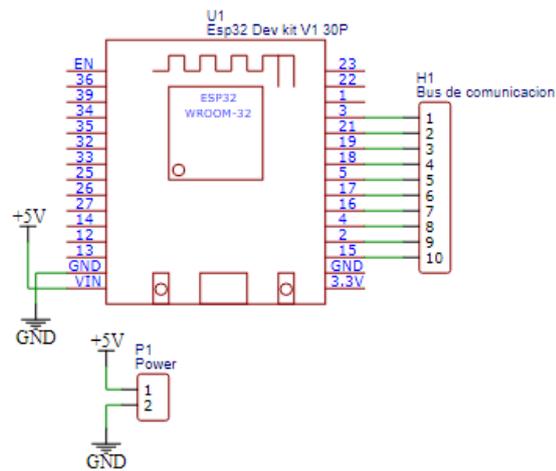


Figura 22: Simulación de la fase de accionamiento

Elaborado por: Darío Satuquinga.

En la figura 23 se puede observar la PCB de la fase de accionamiento, compuesto de pines para la salida de las señales eléctricas emitidas por el microcontrolador cuando se ejecuta alguna acción, permitiendo activar y desactivar el motor y las electroválvulas, según los datos recibidos del servidor IoT.

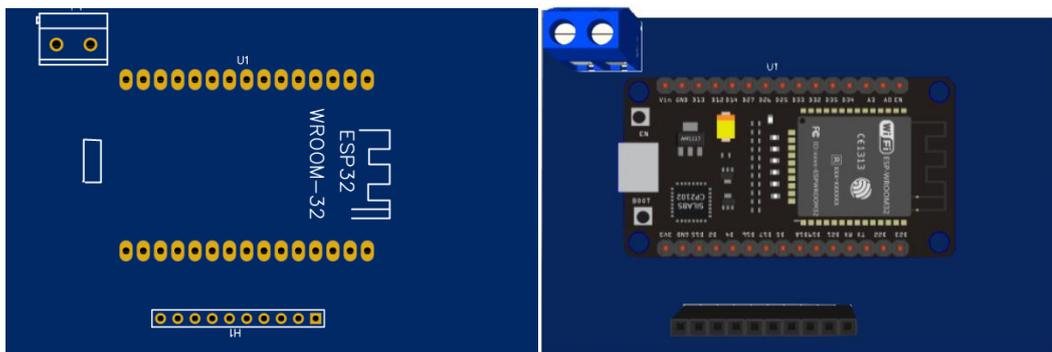


Figura 23: Diseño en PCB de la fase de accionamiento

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Para la integración de los dispositivos en la plataforma IoT es necesario la configuración de un intérprete llamado ESPHome, el cual permite la manipulación de dispositivos creados en placas de desarrollo como ESP32, ESP8266, Raspberry pico, entre otras placas de desarrollo, los cuales tienen la característica de conectarse al servidor mediante una comunicación inalámbrica para la transmisión de datos. En la

figura 24, se observa la conexión entre el servidor IoT y los dispositivos de sensorización y control.

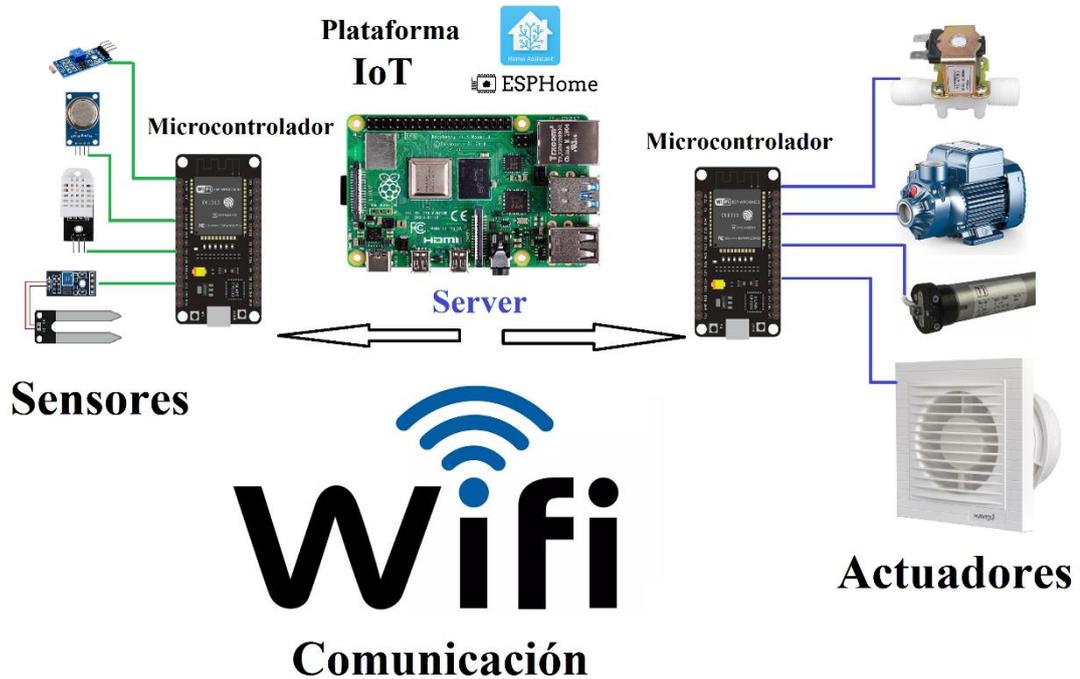


Figura 24: Diagrama de conexión del sistema

Elaborado por: Darío Satuquina.

La fase de configuración tiene escenas de automatización que incluye la herramienta Home Assistant, esta herramienta robusta permite obtener una conexión entre varios dispositivos a través de ESPHome para controlar dispositivos de acuerdo a los datos de sensores, usuarios o eventos establecidas como la hora, fecha o ubicación, son acciones que efectúan cada uno de los dispositivos interconectados al sistema IoT. La configuración de la escena de automatización se encuentra en el Anexo 12.

El sistema de riego y fumigación tiene una comunicación mediante una red inalámbrica wifi de 2,4 GHz que este dentro del área a implementarse, para lo cual se representa un mapeo del prototipo que ilustra la figura 25.

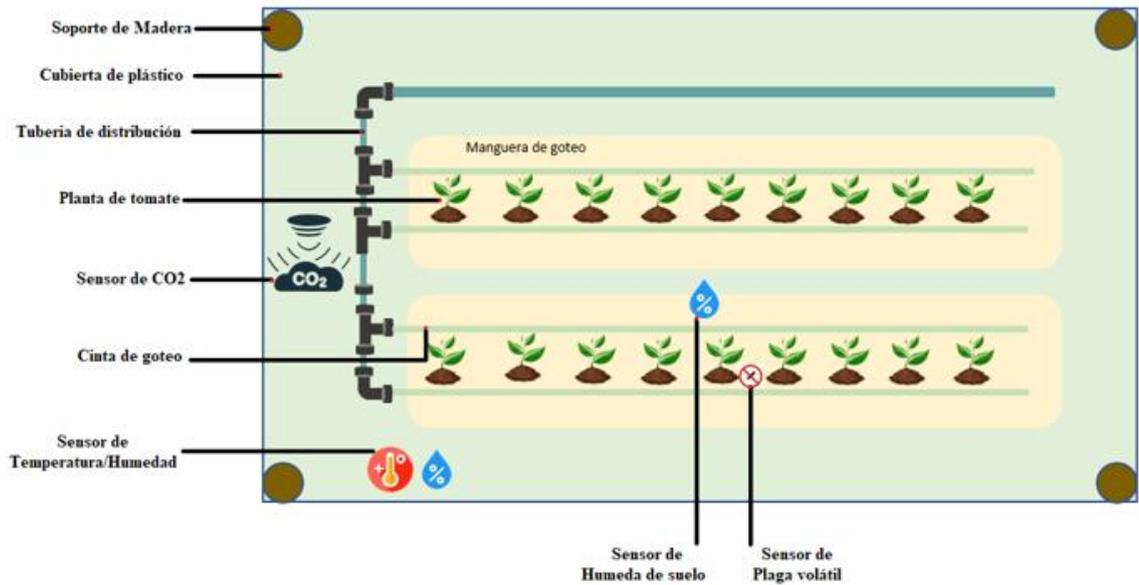


Figura 25: Mapeo del sistema implementado

Elaborado por: Darío Satuquinga

3.2.5. Pruebas de funcionamiento

Se realizó las pruebas de funcionamiento del motor, los sensores, del control del sistema, comunicación y suministro de energía necesaria para el proyecto, comprobando cada etapa implementada del sistema de monitoreo y control de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT en la Agropecuaria San Miguel de Salcedo.

En la figura 26 se observa el funcionamiento del tablero de control donde llegan todas las conexiones del sistema de riego y fumigación, en la figura 27 se ilustra el plano del tablero de conexión; del sistema de ventilación; el sistema de purificación y el sistema de sensorización, las cuales son controladas por las ESP32 y conectan al servidor local para que mediante la plataforma realizada que controle y monitoreo el estado del invernadero de tomate de riñón

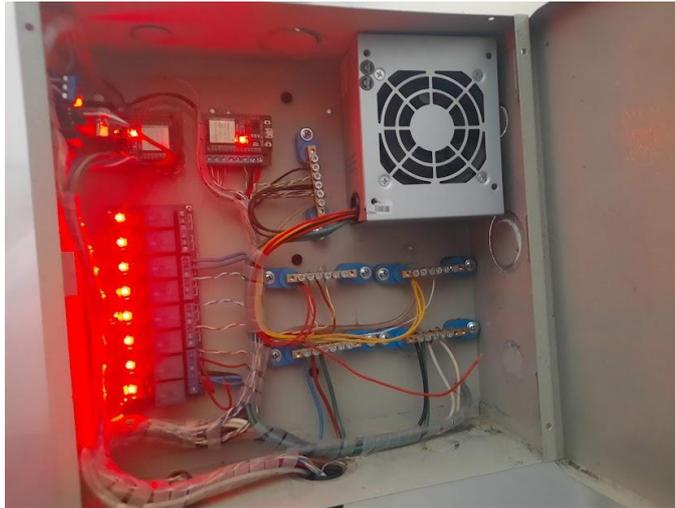


Figura 26: Tablero de control

Elaborado por: Darío Satuquinga.

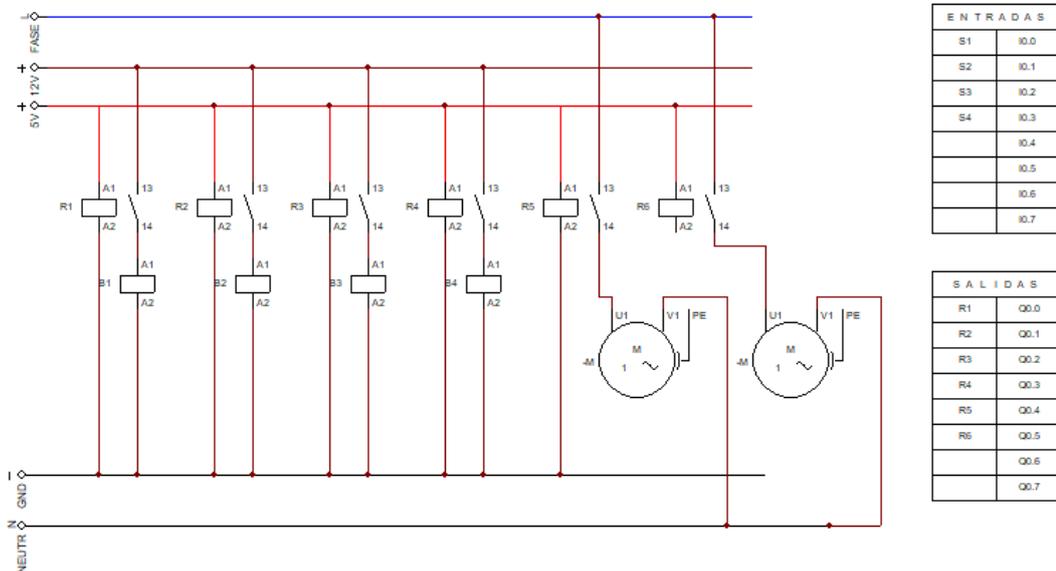


Figura 27: Plano eléctrico del Tablero de conexión.

Elaborado por: Darío Satuquinga.

Simbología del plano:

- R1 al R6 son los relés ocupados por el sistema
- S1 al S4 son las entras al microcontrolador ESP32 se las señales de los sensores
- B1 al B4 son las salidas de electroválvulas.
- M1 motor Hídrico
- M2 motor de purificación de aire

En la figura 28 se observa la colocación y funcionamiento de los sensores para la medición de las variables físicas o condiciones climáticas del invernadero.



Figura 28: Etapa de sensorización

Elaborado por: Darío Satuquina.

En la figura 29 se ilustra la instalación y funcionamiento del sistema de riego y fumigación



Figura 29: Sistema de riego y fumigación

Elaborado por: Darío Satuquina.

En la figura 30 se ilustra la instalación de tanques de reserva y fumigación que ocupará el sistema, además el motor que encarga de suministrar el líquido por todo el invernadero.



Figura 30: Invernadero de tomates

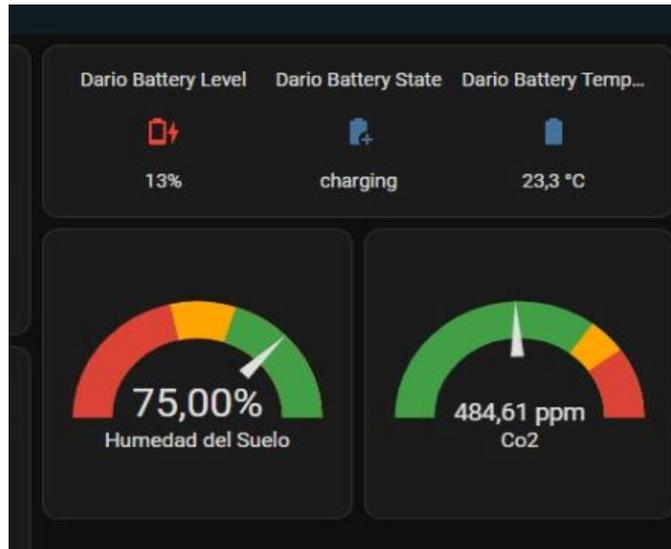
Elaborado por: Darío Satuquinga.

En la figura 31 y figura 32 se visualiza el medio de control y monitoreo de la plataforma IoT. Además, de las gráficas de los datos obtenidos por los sensores.



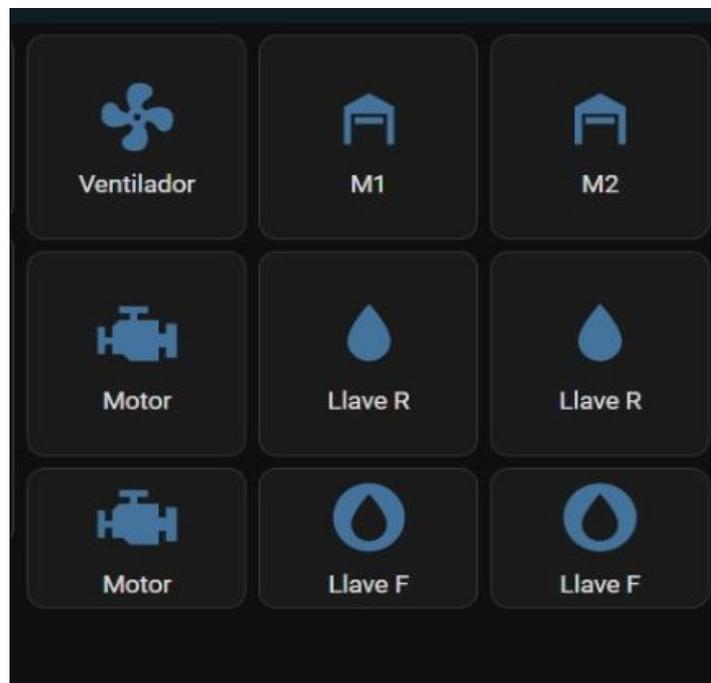
(a): Monitoreo de Temperatura de Ambiente y Humedad de Ambiente

Elaborado por: Darío Satuquinga



(b): Monitoreo de Humedad de Suelo y Cantidad de CO2

Elaborado por: Darío Satuquinga



(c): Pilotos de Control y Monitores de Electrovalvulas y Motores

Elaborado por: Darío Satuquinga

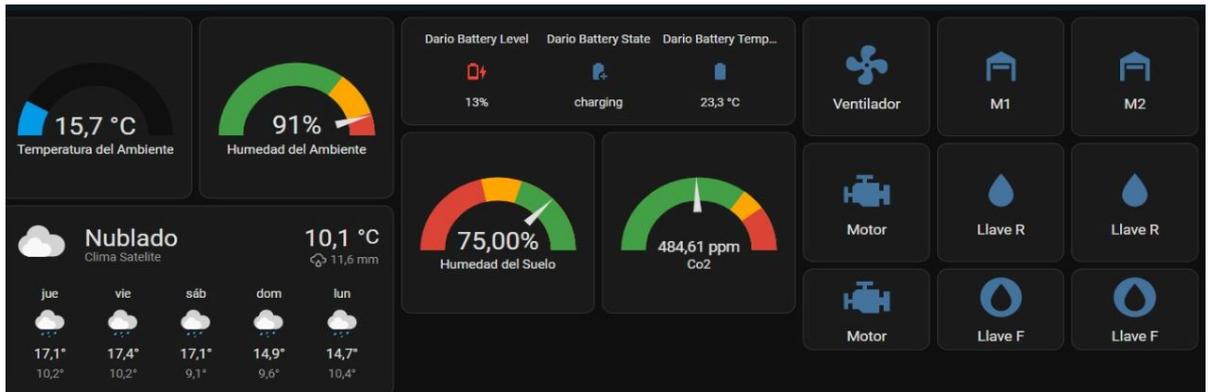
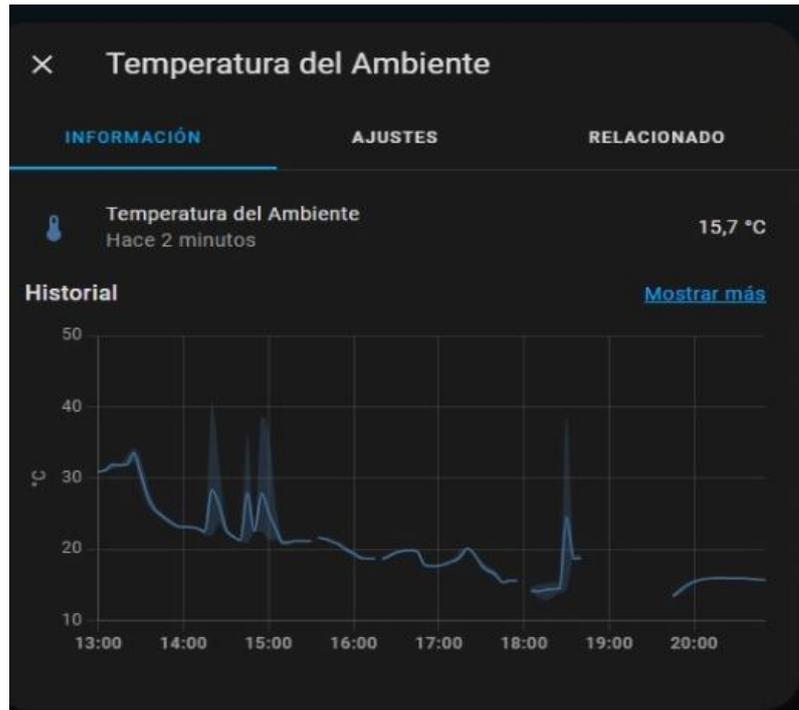


Figura 31 (a, b, c): Sistema de control y monitoreo de la plataforma IoT

Elaborado por: Darío Satuquinga



(a): Gráfica de Sensor de Humedad de Suelo



(b): Gráfica de Sensor de Temperatura de Ambiente



(c): Gráfica de Sensor de Humedad de Ambiente

Figura 32 (a, b, c): Gráficas de los sensores medidos

Elaborado por: Darío Satuquinga

En la figura 33 se puede apreciar el prototipo estructural vista desde la parte externa, construida con madera y plástico adecuado para el invernadero.



Figura 33: La construcción del invernadero

Elaborado por: Darío Satuquinga

A continuación, se detalla los valores medidos del sistema, para ello se tomó 4 pruebas de funcionamiento en diferentes condiciones.

En las Tablas 16 al 19 se detallan los valores medidos por la etapa de sensorización para conocer el estado o condición climática dentro del invernadero. En diferentes escenarios

Tabla 16: Toma de datos de los sensores en escenario 1 (la mañana sin presencia de lluvia)

Sensor MQ		Sensor DHT22		Sensor Luz	Sensor Humedad Suelo
		Temperatura	Humedad		
Time	ppm	°C	% RH	%	% RH
9:51:06	488	26	67	96	91
9:51:36	456	26	67	95	91
9:51:46	487	26	66	95	90
9:52:16	452	25	65	96	89
9:53:16	453	27	65	96	87
9:53:46	488	26	67	96	87
9:53:56	476	26	67	96	88
9:55:06	472	27	68	97	88

9:55:26	465	28	69	98	88
9:55:56	467	28	69	97	86
9:56:06	451	28	69	97	86
9:56:26	439	28	68	97	86
9:57:16	477	27	68	96	85
9:57:36	490	29	68	97	85
9:57:46	487	27	68	97	85
9:58:06	480	28	66	97	84
9:58:16	476	28	67	98	84
9:59:16	490	29	67	96	82
9:59:26	478	30	67	97	83
9:59:46	478	30	67	98	83
10:00:46	476	30	70	98	80
10:01:06	443	30	68	98	80
10:01:16	487	31	69	97	79
10:01:36	478	30	68	97	79
10:01:46	456	31	67	97	77
10:02:46	487	31	71	97	76
10:02:56	467	32	69	97	76
10:03:16	439	32	66	97	75
10:03:26	499	31	66	98	75
10:04:16	476	32	66	97	73
10:04:26	476	32	66	97	73
10:04:46	487	31	67	97	73
10:04:56	456	31	67	98	73
10:05:56	452	30	66	97	71
10:06:06	462	30	68	97	70
12:06:26	489	33	70	97	70
13:06:26	490	33	72	98	70
Promedio	472,16	29,16	67,59	96,92	81,03

Elaborado por: Darío Satuquinga

Tabla 17: Toma de datos de los sensores en escenario 2 (la tarde sin presencia de lluvia)

Sensor MQ		Sensor DHT22		Sensor Luz	Sensor Humedad Suelo
		Temperatura	Humedad		
Time	ppm	°C	% RH	%	% RH
16:11:06	453	16	69	93	66
16:11:36	476	16	69	92	68
16:11:46	439	14	67	91	67
16:12:16	477	18	67	93	68
16:13:06	453	20	65	93	87
16:13:36	488	21	67	93	87
16:13:46	422	27	67	94	88
16:14:21	410	27	66	95	88
16:14:41	490	28	66	97	97
16:15:03	478	29	68	97	95
16:15:34	458	30	67	95	95
16:15:51	439	30	68	95	96
16:16:36	477	27	65	96	85
16:16:46	490	26	65	98	85
16:17:21	487	25	70	98	85
16:17:39	480	26	71	99	84
16:18:10	476	28	70	97	67
16:18:34	490	29	66	97	68
16:18:51	478	27	67	97	69
16:19:31	478	30	68	98	68
16:19:46	476	29	69	97	80
16:20:36	443	30	68	98	80
16:20:41	487	31	70	99	79
16:21:03	478	21	68	99	79
16:21:19	456	22	67	99	73
16:21:34	452	18	73	98	76
16:21:48	418	19	69	98	74
16:22:05	469	24	75	97	75
16:22:21	499	31	66	97	75
16:22:41	476	33	74	97	73
16:23:29	476	32	66	97	71
16:23:34	457	31	65	97	71
16:23:51	456	29	67	95	73
16:24:36	452	27	61	94	71
16:24:46	462	30	63	96	69
16:25:21	489	33	70	97	69
16:25:57	493	33	69	98	69
Promedio	479,94	26,86	69,67	98,92	79,72

Elaborado por: Darío Satuquinga

Tabla 18: Toma de datos de los sensores en escenario 3 (la mañana con presencia de nubes)

Sensor MQ		Sensor DHT22		Sensor Luz	Sensor Humedad Suelo
		Temperatura	Humedad		
Time	ppm	°C	% RH	%	% RH
10:10:05	487	25	60	96	91
10:12:25	457	25	61	95	91
10:14:45	489	25	62	95	90
10:17:05	455	25	63	96	90
10:19:25	450	25	65	96	89
10:21:45	487	26	66	96	89
10:24:05	470	26	67	96	88
10:26:25	473	25	60	97	88
10:28:45	466	25	61	98	87
10:31:05	467	25	62	97	87
10:33:25	455	25	63	97	86
10:35:45	443	25	64	97	86
10:38:05	470	27	65	96	85
10:40:25	492	26	66	97	85
10:42:45	480	26	67	97	84
10:45:05	483	26	66	97	84
10:47:25	479	26	67	98	83
10:49:45	492	27	67	96	83
10:52:05	475	27	67	97	82
10:54:25	479	27	67	98	82
10:56:45	479	27	70	98	81
10:59:05	445	27	68	98	81
11:01:25	485	27	69	97	80
11:03:45	480	27	68	97	80
11:06:05	460	27	67	97	79
11:08:25	489	27	71	97	79
11:10:45	470	27	69	97	78
11:13:05	445	27	66	97	78
11:15:25	496	27	66	98	77
11:17:45	478	28	66	97	77
11:20:05	479	28	66	97	76
11:22:25	485	28	67	97	76
11:24:45	460	28	67	98	75
11:27:05	454	28	66	97	75
11:29:25	462	28	68	97	74
11:31:45	489	28	70	97	74
11:34:05	492	28	72	98	73
Promedio	472,89	26,51	66,00	96,92	82,17

Elaborado por: Darío Satuquinga

Tabla 19: Toma de datos de los sensores en escenario 4 (la tarde con presencia de lluvia)

Sensor MQ		Sensor DHT22		Sensor Luz	Sensor Humedad Suelo
		Temperatura	Humedad		
Time	ppm	°C	% RH	%	% RH
13:21:17	401	14	69	49	73
13:21:36	406	16	57	47	71
13:21:53	409	14	59	49	69
13:22:35	411	15	60	47	69
13:22:51	414	18	61	50	69
13:23:13	415	19	62	51	70
13:23:46	414	20	60	56	71
13:24:21	414	20	59	52	71
13:24:36	413	20	59	51	71
13:24:52	412	20	59	53	70
13:25:14	412	19	57	52	70
13:25:17	420	19	57	52	69
13:25:36	421	17	61	52	68
13:25:53	422	16	62	51	69
13:26:14	425	18	62	49	69
13:25:17	425	15	62	49	69
13:26:36	422	15	61	47	68
13:26:46	421	17	61	48	68
13:27:21	419	17	60	49	67
13:27:36	417	19	60	50	67
13:27:52	417	19	59	51	66
13:28:14	416	20	59	51	65
13:21:17	418	20	59	51	65
13:28:36	420	21	59	50	65
13:28:53	421	19	60	50	65
13:29:35	420	17	60	51	66
13:29:51	421	19	59	52	67
13:30:22	421	22	57	52	68
13:30:46	417	22	57	52	62
13:31:21	419	21	57	51	64
13:31:36	419	22	58	50	64
13:31:52	420	21	58	50	63
13:32:14	420	21	59	49	61
13:32:37	419	20	59	49	62
13:32:56	419	19	59	48	63
13:33:09	418	19	60	47	64
13:33:19	418	18	61	46	63
Promedio	428,78	19,11	61,33	51,50	68,92

Elaborado por: Darío Satuquinga

Para comprobar los resultados medidos del sistema, se realizó una comparación de datos medidos con el equipo comercial Digoo, al ser uno de los dispositivos utilizados en escenas de automatización en hogares, oficinas e invernaderos, además porque la institución utiliza este dispositivo para evaluar las condiciones fisiológicas y climáticas en las plantaciones de tomate de riñón cuando son afectadas, detallado en la tabla 20. Además, se calculó el porcentaje de error entre las dos mediciones mediante la ecuación 2

$$\%Error = \left(\frac{V_{medido\ del\ equipo} - V_{medido\ del\ sistema}}{V_{medido\ del\ equipo}} \right) * 100$$

Ecuación 2: Formula para calcular el error porcentual [39]

Tabla 20: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 1

Parámetros	El sistema implementado	Equipo comercial	% Error de medición
Medición de CO2	472,16 ppm	467,01 ppm	1.10%
Medición de la temperatura ambiente	29,16 °C	28,37 °C	2.78%
Medición de la humedad de ambiente	67,59 % RH	65,93 % RH	2.51%
Medición del sensor de humedad	81,03 % RH	79,83 % RH	1.5%

Elaborado por: Darío Satuquinga

Tabla 21: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 2

Parámetros	El sistema implementado	Equipo comercial	% Error de medición
Medición de CO2	477,94 ppm	473,35 ppm	0.96%
Medición de la temperatura ambiente	26,86 °C	27,52 °C	2.39%
Medición de la humedad de ambiente	69,67 % RH	68,15 % RH	2.23%

Medición del sensor de humedad	79,72 % RH	81,13 % RH	1.73%
--------------------------------	------------	------------	-------

Elaborado por: Darío Satuquinga

Tabla 22: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 3

Parámetros	El sistema implementado	Equipo comercial	% Error de medición
Medición de CO2	472,89 ppm	470,50 ppm	0.50%
Medición de la temperatura ambiente	26,51 °C	27,02 °C	1.88%
Medición de la humedad de ambiente	66,00 % RH	66,55 % RH	0.83%
Medición del sensor de humedad	82,17 % RH	80,18 % RH	1.21%

Elaborado por: Darío Satuquinga

Tabla 23: Tabla comparativa de las mediciones de los sensores en escenario 4

Parámetros	El sistema implementado	Equipo comercial	% Error de medición
Medición de CO2	428,78 ppm	439,01ppm	2,33%
Medición de la temperatura ambiente	19,11 °C	20,21°C	5,4%
Medición de la humedad de ambiente	61,33 % RH	63,91% RH	4,03%
Medición del sensor de humedad	68,92 % RH	71,75 % RH	3,91%

Elaborado por: Darío Satuquinga

Según la tabla de comparación entre los diferentes escenarios, los datos obtenidos por los sensores existen una diferencia mínima de medición entre los dos equipos que se encuentra en el rango de 1% a 6%, lo cual concluye que el control de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante

dispositivos IoT en la Agropecuaria San Miguel de Salcedo es fiable y ayuda a desarrollar las plantaciones a desarrollar en entornos adecuados dentro de invernaderos

3.2.6. Presupuesto del prototipo

Para la implementación del proyecto se utilizó elementos electrónicos y eléctricos en su desarrollo. Además, el costo de la construcción del invernadero, de forma que se detalló en la tabla 21.

Tabla 24: Presupuesto del proyecto

Ítems	Elemento	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Dispositivos electrónicos					
1	Esp32 NodeMCU	c/u	2	15,00	30,00
2	Sensor DHT22	c/u	1	9,50	9,50
3	Sensor MQ135	c/u	1	15,00	15,00
4	Sensor FC-38	c/u	1	8,00	8,00
5	Sensor de luz LDR	c/u	1	5,00	5,00
6	Fuente de alimentación	c/u	1	25,00	25,00
7	Módulo de 8 relés	c/u	1	22,00	22,00
8	Electroválvulas	c/u	4	15,00	60,00
9	Bomba de agua de 1Hp	c/u	1	390,00	390,00
10	Aspersores 360°	c/u	2	15,00	30,00
11	Motor a pasos	c/u	2	12,00	24,00
12	Extractor de aire	c/u	1	20,00	20,00
13	Tanques de reserva	c/u	2	25,00	50,00
14	Pantalla táctil de 10 pulgadas	c/u	1	450,00	450,00
Equipos electrónicos					
15	Router inalámbrico	c/u	1	60,00	60,00
16	Multímetro	c/u	1	35,00	35,00
Estructura del invernadero					
17	Plástico grueso	m	1,9	40,00	76,00
18	Palos de pino de 2m	c/u	2,5	20,00	50,00
19	clavos y tornillos	caja	1	5,00	5,00
Materiales					
20	Cable gemelo	m	40	1,00	40,00
21	Cable de UTP	m	10	0,50	5,00
22	Cable #6	m	25	1,20	30,00
23	Manguera corrugada	m	50	2,50	125,00

24	Manguera de 1 pulgada	m	50	3,00	150,00
25	Codos	c/u	20	0,50	10,00
26	Adaptadores Flex	c/u	20	0,40	8,00
27	Tees	c/u	10	0,45	4,50
28	Caja de paso	c/u	1	30,00	30,00
Imprevistos					100,00
Subtotal					1867,00
Mano de obra del diseño					150
Total					2017,00

Elaborado por: Darío Satuquinga

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La plantación de tomates para el crecimiento y el desarrollo siempre necesita las condiciones adecuadas como una temperatura que oscila entre los 18°C hasta los 25°C, humedad de ambiente no mayor a los 70%, humedad de suelo no menor al 40% y la cantidad de CO₂ que oscile entre los 700 y 1000 ppm, donde se cumplan estos niveles apropiados en temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo y cantidad de CO₂, motivo por el cual estos frutos al no tener estos parámetros se enferman y disminuye la producción.

- Con la automatización del sistema de riego y fumigación en base a IoT, se logra un análisis técnico en comparación con los datos del sensor comercial, este dispositivo no permite visualizar datos del pasado para su evaluación de parámetros y niveles que lleva dentro del invernadero y no perjudique la plantación, a diferencia del sensor Digoo el sistema logra reducir el riesgo de enfermedad en las platas o fruto, con la evaluación automática del eventos que presenten dentro del área de siembra, siendo la manera adecuada de llevar un control eficaz en plagas que produzca pérdidas al productor.

- Las plagas ingresan al cultivo con el exceso o la ausencia de elementos que influyen en su crecimiento y desarrollo, el sistema de control de riego y fumigación, evita la disminución o el aumento de elementos como la temperatura en el ambiente, CO₂ y el agua, siendo controlado de forma automática por el sistema.

- Los dispositivos gracias a las integraciones del sistema permiten versatilidad y una fácil configuración en automatizaciones, además se puede configurar las notificaciones y acceso de usuarios al sistema, logrando el control no apropiado al sistema y evitar errores técnicos al llevar la supervisión de la plantación.

- Home Assistant integra una herramienta de Dashboard para el monitoreo en tiempo real y tiene la versatilidad de configuración de acuerdo a las necesidades

del sistema, lo que no permitió desarrollar la interfaz de comunicación IoT para el control y monitoreo del sistema de riego, purificación de aire con un diseño que pueda ser interpretado por quien lo utilice y a su vez la integración de pilotos y push-control de acciones como el motor, riego, fumigación, apertura de cortinas y ductos de ventilación, generando una notificación al usuario.

4.2.Recomendaciones

- En la fase de sensorización, se debe tomar en cuenta el área de acuerdo a la guía técnica para muestreo y toma de muestras de la tabla 15 donde especifica cuantas muestras tomar y lograr contabilizar los sensores a ubicar.
- El sensor de gas no gestiona un análisis exclusivamente de CO2 por el cual se recomienda realizar un escalonamiento de datos con la curva característica del Datasheet del fabricante para tener datos más exactos de acuerdo el tipo de gas en medición.
- El sistema IoT tienen un nivel de procesamiento alto con la ayuda de la escena de automatización, antes de inicializar la fase de automatización se debe considerar que todos los sensores estén línea para evitar falsas lecturas y acciones errores en la salida de los dispositivos.
- Todos los dispositivos que involucra en la integración de ESPHome son de desarrollo, pero existen dispositivos de terceros fabricados compatibles con el Sistema IoT, dando versatilidad al sistema y potencia cuando se desee incluir dispositivos que controles otros elementos.
- Home Assistant tienen integraciones con salida hacia altavoces como Google Home y Alexa, que prometen ser interactiva con la automatización, se recomienda no realizar esta integración, de manera que la fase de automatización realiza acciones de acuerdo a la programación y lectura de sensores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Caisa Sanchez Angel Daniel, «Prototipo IoT de telecontrol del riego a goteo para la agricultura inteligente con tecnología Lora,» Ambato, 2022. [En línea]. Available:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35023/1/t1999ec.pdf>
- [2] Romero Velez Nelson Favian, «Desarrollo de prototipo de sistema de medicion de variables ambientales para agricultura de precision en areas amplias utilizando la modulacion Lora,» Loja, 2020. [En línea]. Available:
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23238/1/Nelson%20Favian%20Romero%20v%C3%A9lez.pdf>
- [3] Nydia Esmeraldas Salazar Aguilar , «Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos,» mexico, 2020. [En línea]. Available:
<http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1136/SAANGY02T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Cristina Abalco y Paul Vásquez «Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas orgánicas y tomate riñón,» Quito, 2018. [En línea]. Available:
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14424/T-ESPE-057734.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [5] Felipe Rodríguez, Irene García, Saira Vásquez y Lucila Juárez, «Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la,» *Revista del Desarrollo Tecnológico*, vol. 1, nº 3, pp. 8 - 17, 9 2017. [En línea]. Available:
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo_Tecnologico/vol1num3/Revista_del_Desarrollo_Tecnologico_V1_N3_2.pdf
- [6] J. Guerrero Ibañez , F. Estrada Gonzalez y M. Medina Tejeda, «SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión,» *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, vol. 14, nº 2, pp. 54 - 58, 2017. [En línea]. Available: <http://www.iiisci.org/journal/pdv/risci/pdfs/CA544SI17.pdf>
- [7] Alejandro Cama, Francisco Gil, Julio Gómez, Amos García y Francisco Manzano, «Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero,» *SCIELO*, vol. 81, nº 184, 11 2014. [En línea]. Available:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200022

- [8] La Hora, «La Hora,» 2017. [En línea]. Available: <https://lahora.com.ec/noticia/728606/invernaderos-una-alternativa-de-cuidado>.
- [9] INEC, «Instituto Nacional de estadísticas y censos,» [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- [10] Moises Barrio, Internet de las cosas, tercera ed., madrid: Editorial Reus, 2020.
- [11] Rose Karen, Eldridge Scott, Chapin Lyman, «Internet Society,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>.
- [12] Myservname, «Myservname,» 2021. [En línea]. Available: <https://spa.myservname.com/10-best-iot-platforms-watch-out-2021>.
- [13] App&Web, «App&Web,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.appandweb.es/blog/iot-agricultura/>.
- [14] Agriculture Basf, «Agriculture Basf,» 2022. [En línea]. Available: https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-iot.html#accordion_v2-e21b4bfa10-item-dbea0ee362.
- [15] Tovar Soto Jhonatan Paola, Solórzano Suárez José de los Santos, Badillo Rodríguez Andrés, Rodríguez Cainab Genner Oswaldo, «Internet de las cosas aplicado a la agricultura,» *Redalyc*, 2019. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/6139/613964509009/html/>
- [16] Alberto Brunete, «Introducion Automatica,» 2019. [En línea]. Available: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html.
- [17] NOVAGRIC, «NOVAGRIC,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>.
- [18] Velasco, Tannia y Zuñiga, Marco, «Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones,» Latacunga, 2020. [En línea]. Available:

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/22396/T-ESPE-043749.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

- [19] Hydro Environment, «Hydro Environment,» 2020. [En línea]. Available: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44.
- [20] Solagro, «Avgust,» 2019. [En línea]. Available: <https://avgust.com.ec/tomate-de-rinon/>.
- [21] Asociacion de Agronomos Indigenas de Cañar, «El cultivo de tomate de riñon en invernaderos,» 2003.
- [22] ElectroniLab, «ElectroniLab,» 2020. [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/temt6000-sensor-de-luz-ambiente/>.
- [23] Naylamp Mechatronic, «Naylamp Mechatronic,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-mq-135-gas-calidad-aire.html>.
- [24] BricoGeek, «BricoGeek,» 2019. [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/co2/1494-modulo-sensor-co2-mg-811.html>. [Último acceso: 21 01 2023].
- [25] Mactronica, «Mactronica,» [En línea]. Available: <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-temperatura-y-humedad-hdc1080>.
- [26] Vistronica, «Vistronica,» [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/valvulas/electrovalvula-12v-12-90-grados-con-presion-detail.html>.
- [27] Tyco Electronic, «Alldatasheet,» [En línea]. Available: https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=HW-080.
- [28] Walter Lopez Vaca, Interviewee, *Informacion de las plantaciones de tomate de riñon*. [Entrevista]. 18 12 2023.
- [29] Instituto Navional de Tecnologia Agropecuaria, «Guia de consulta Enfermedades de Tomate de riñon,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.manualfitosanitario.com/InfoNews/GuiaConsultaEnfermedadesTomateWeb.pdf>.
- [30] Robotica Facil, «Robotica Facil,» 2017. [En línea]. Available: <https://roboticafacil.es/prod/sensor-humedad-y-temperatura-ky-015-dht11/>.

- [31] Proyecto Arduino , «Proyecto Arduino,» 2019. [En línea]. Available: <https://proyectoarduino.com/arduino-uno-r3/>.
- [32] Espressif Sytems, «Sparkfun,» 2016. [En línea]. Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/IoT/esp32_datasheet_en.pdf.
- [33] Home Assistant, «Asistente de hogar,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.home-assistant.io/>.
- [34] Raspberry PI4, «Datasheets Raspberrypi,» 2019. [En línea]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>.
- [35] Javi Santos, «Orange Pi,» 2022. [En línea]. Available: <https://orangepiweb.es/>.
- [36] Corporacion R&CH, «Electronica y Electricos S.A.,» 2020. [En línea]. Available: <https://electronicarych.com/blog/raspberry-pi-5/post/alternativas-a-raspberry-pi>
- [37] Senninger, «Senninger,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.senninger.com/es/product/t-spraytm>.
- [38] Akuabit, «Agroventas de riego,» 2019. [En línea]. Available: <https://agroventasriego.com/micro-aspersores/>.
- [36] Universidad Carlos III de Madrid, «Guia practica para la realizacion de laboratorio de fisica,» 1998. [En línea]. Available: https://laboratoriofisica.uc3m.es/guiones_esp/errores/Incertidumbres.pdf.
- [40] Uyustools, «Uyustools,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.uyustools.cl/producto/bomba-de-agua-periferica-apm75-1hp-aquastrong-ekm80/>.
- [41] Pedrollo, «Bomba JET,» 2020. [En línea]. Available: https://pedrollo.com.ec/producto/bomba-jet-jswm3cm_1-5hp-220v-1-25x1-autocebante/.
- [42] Grupo Jago, «Grupo Jago,» 2023. [En línea]. Available: <https://grupojago.net/product/electrovalvulas/>.
- [43] Corporacion SGS, «SagaFluid Process technology,» 2019. [En línea]. Available: <https://sagafluid.com/tanques-de-almacenamiento/>.
- [44] R. Mendoza y A. Espinoza, Guia tecnica para muestreo de suelos, Managua, 2017.

ANEXOS

Anexo 1: Datasheet del sensor DHT22

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Standard AM2302/DHT22



AM2302/DHT22 with big case and wires

Digital relative humidity & temperature sensor AM2302/DHT22

1. Feature & Application:

- *High precision
- *Capacitive type
- *Full range temperature compensated
- *Relative humidity and temperature measurement
- *Calibrated digital signal
- *Outstanding long-term stability
- *Extra components not needed
- *Long transmission distance, up to 100 meters
- *Low power consumption
- *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

AM2302 output calibrated digital signal. It applies 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.

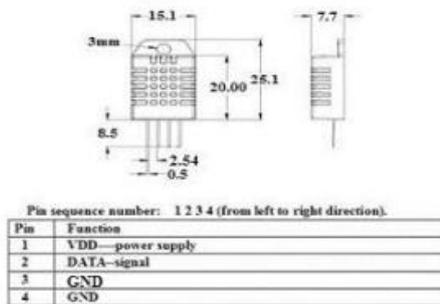
Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable AM2302 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

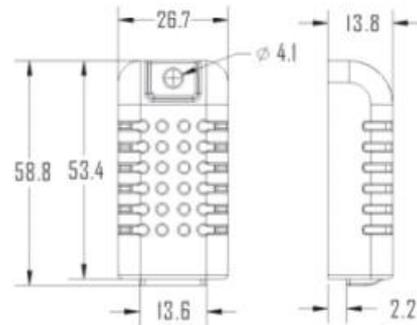
3. Technical Specification:

Model	AM2302
Power supply	3.3-5.5V DC
Output signal	digital signal via 1-wire bus
Sensing element	Polymer humidity 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
Interchangeability	fully interchangeable

4. Dimensions: (unit—mm)



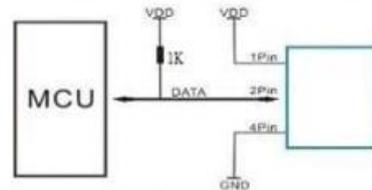
Standard AM2302's dimensions as above



Big case's dimensions as above

**Red wire—power supply, Black wire—GND
Yellow wire—Data output**

5. Electrical connection diagram:



6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-5.5V 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

1-wire bus is used for communication between MCU and AM2302. (Our 1-wire bus is specially designed, it's different from Maxim/Dallas 1-wire bus, so it's incompatible with Dallas 1-wire bus.)

Illustration of our 1-wire bus:

7. Electrical Characteristics:

Items	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

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 AM2302 sensor can recover after working in abnormal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere AM2302's sensitive-elements and debase AM2302's sensitivity.

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

Step one: Keep the AM2302 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the AM2302 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.

AM2302 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 AM2302'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 AM2302 may cause personal injury.

Anexo 2: Datasheet del sensor MQ135

TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope Fast response and High sensitivity
 Stable and long life Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _{EH}	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _{EH}	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _{EH}	Heating consumption	less than 800mw	

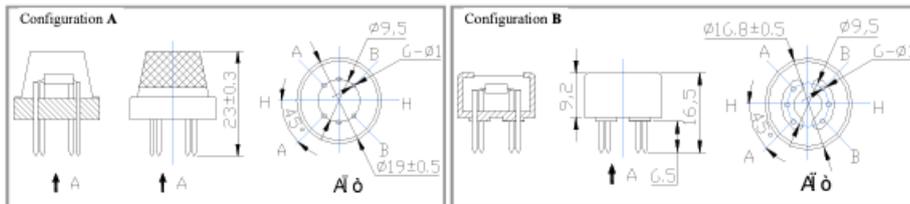
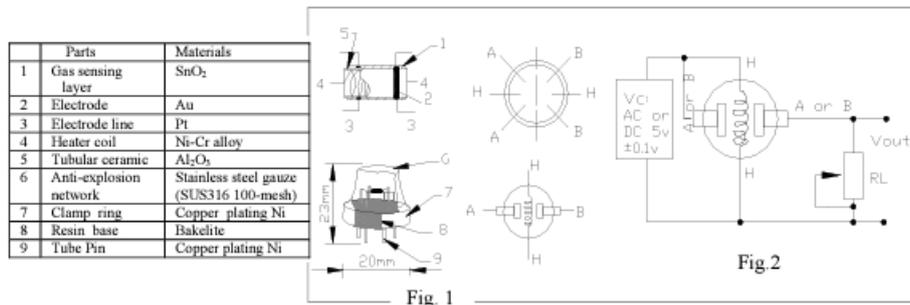
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10□-45□	
T _{as}	Storage Tem	-20□-70□	
R _{EH}	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Ramark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20□±2□ V _c : 5V±0.1 Humidity: 65%±5% V _h : 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive

components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig 2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

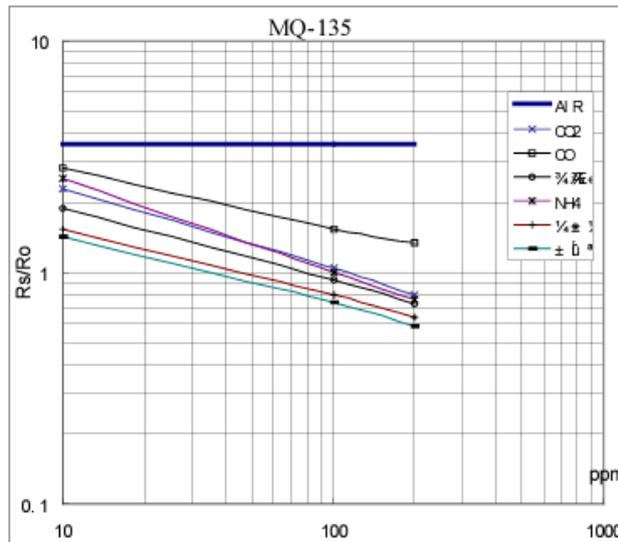


Fig 3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases. in their: Temp: 20°C Humidity: 65% RH O₂ concentration 21% RL=20kΩ Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air. Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

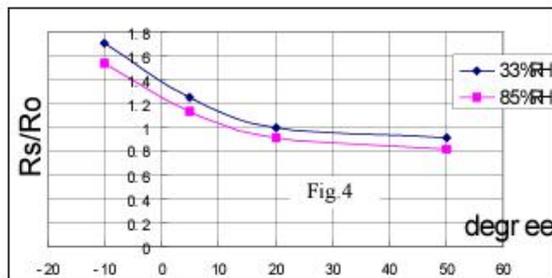
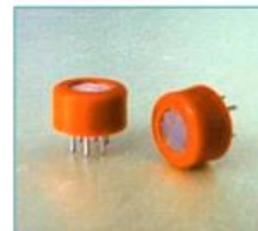


Fig 4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity. Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree. Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

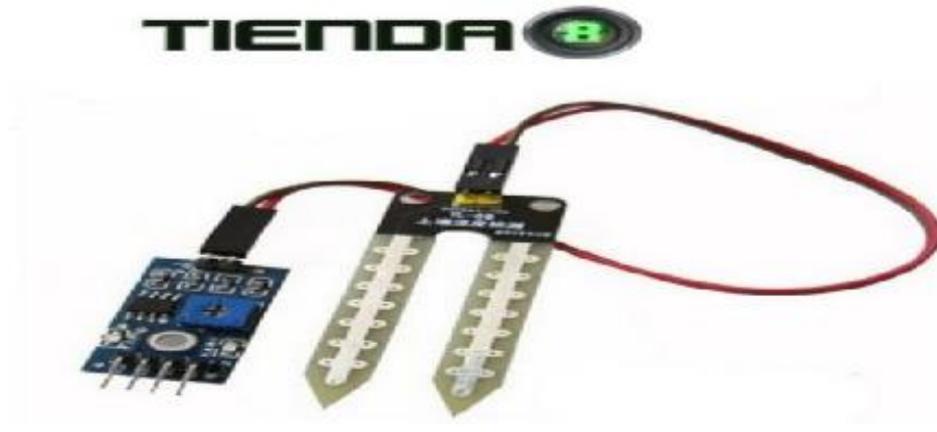
SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 KΩ (10KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



Sensor de Humedad de Suelo FC-28



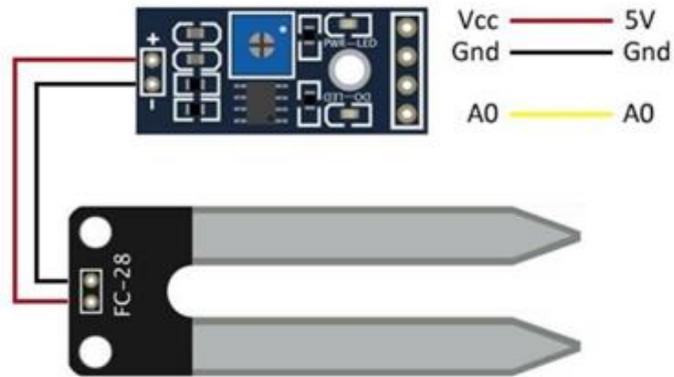
Sensor de Humedad de Suelo FC-28 para Arduino, Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo.

El Sensor de humedad de Suelo FC-28 permite medir de forma sencilla la humedad del suelo por medio de 2 electrodos resistivos. Compatible con Arduino, PIC, ESP8266/NodeMCU/NodeMCU-32. El sensor es ideal para monitorear el nivel de humedad de tus plantas y así recordar cuando necesitan ser regadas o incluso para realizar un sistema totalmente automatizado de riego añadiendo una válvula o una bomba de agua. Si el sistema se conecta a internet podríamos controlar/monitorear nuestro jardín desde cualquier lugar del mundo!

El funcionamiento del sensor se basa en medir la resistencia entre 2 electrodos insertados dentro del suelo, la resistencia entre los electrodos dependerá de la humedad del suelo, por lo que para un suelo muy húmedo tendremos una resistencia muy baja (corto circuito) y para un suelo muy seco la resistencia será muy alta (circuito abierto). El electrodo va conectado a una tarjeta de acondicionamiento (YL-38) que entrega una salida digital y otra analógica. La salida digital (DO) es la salida de un opamp en modo comparador, la salida digital se activa cuando el nivel de humedad es menor al nivel deseado, este nivel (umbral o threshold) se puede regular con el potenciómetro de la tarjeta. La salida analógica (AO) es la salida de un divisor de tensión entre una resistencia fija y la resistencia entre los electrodos, entrega un voltaje analógico desde 0V para un suelo muy húmedo hasta 5V para un suelo muy seco. Para la conexión a Arduino podemos optar por utilizar la salida analógica del módulo conectada a una entrada analógica del Arduino o por utilizar la salida digital (DO) conectada a una entrada digital del Arduino.

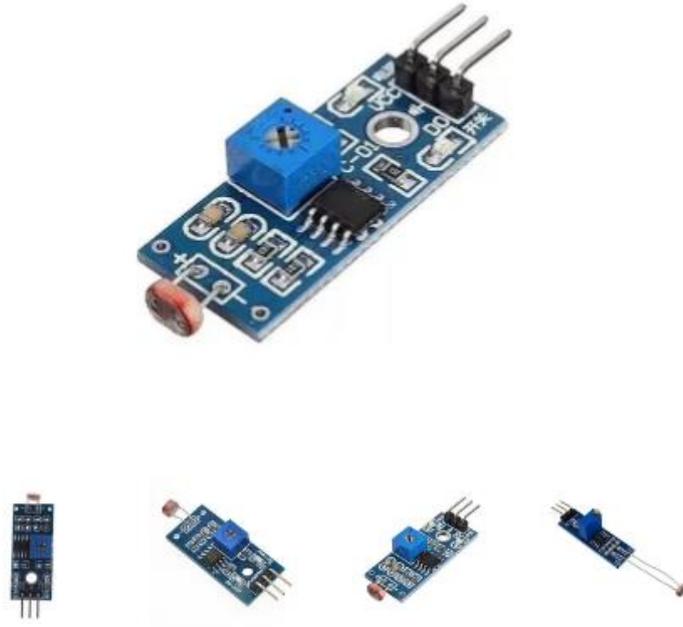
Sensor de Humedad de Suelo FC-28

Un higrómetro de suelo FC-28 es un sensor que mide la humedad del suelo. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo. El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad.



- Sensibilidad ajustable mediante el potenciómetro (color azul)
- Voltaje de operación: 3.3V - 5Vdc
- Modo de salida dual, salida digital y salida analógica más precisa.
- Agujeros de montaje para una fácil instalación.
- Dimensiones Tarjeta : 30mm x 16mm
- Dimensiones de sonda: 60mm x 30mm
- Módulo amplificador LM393.

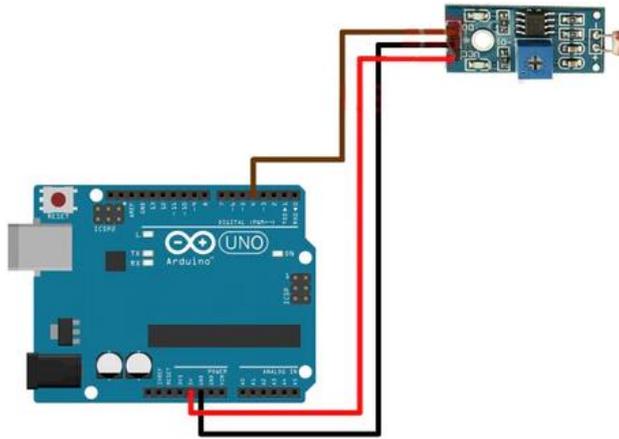
Anexo 4: Datasheet del sensor de luz LDR



Descripción

Sensar la luz ya no sera un problema con la ayuda de este módulo LDR Cuenta con 2 salidas, una analógica que debes conectar a una entrada analógica y así utilizar el conversor ADC, La salida digital posee 2 estados: Activo/apagado, el cambio de un estado a otro depende del umbral que se fije en el potenciómetro que se encuentra en el módulo, La salida digital puede utilizarse para controlar un relay (relevador) y así realizar una una acción dependiente de la intensidad de luz. .El módulo sensor fotoresistencia LDR es un sensor capaz de detectar la intensidad de la luz emitida sobre su superficie de panel, este dispositivo nos permite medir intensidad de luz de día de una lámpara, foco e incluso algún Diodo Emisor de Luz (LED). Este módulo es de salida digital, cuenta con un potenciómetro que nos permitirá ajustar la sensibilidad de la salida digital. El voltaje de salida digital es un "0" lógico cuando la intensidad de luz excede el valor fijado por el potenciómetro y es un "1" lógico cuando sucede lo contrario. Dentro de la aplicaciones más populares para este sensor tenemos: Sistemas de iluminación de acuarios o reservas de animales, sistemas de alumbrado, sistemas de jardinería (Para regar jardín cuando haya anochecido), medidor de luz para flash, radio despertador, sistema de señalización en carretera, etc.

- Cuenta con orificio para fácil instalación
- Sensibilidad ajustable con potenciómetro
- Compatible con Arduino
- Indicadores LEDs rojo de encendido y verde de salida digital
- Aplicaciones: Control de sistemas de iluminación

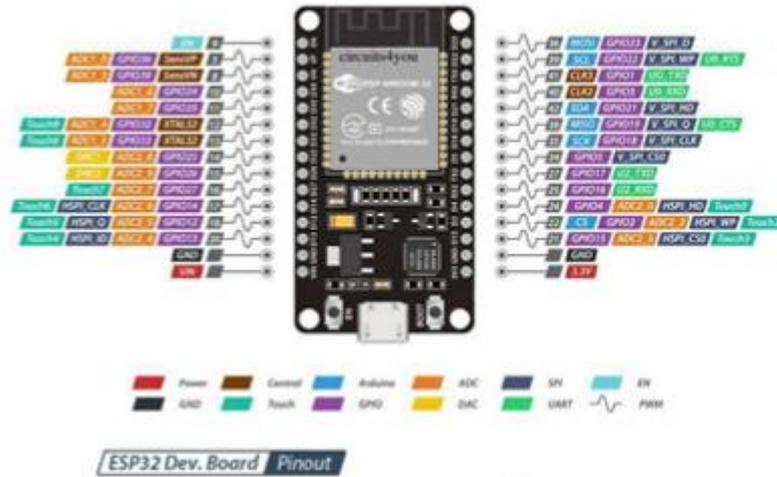


Especificaciones

- Función: Detector de luz
- Chip principal: LM393
- Voltaje de alimentación mínimo: 3.3 V
- Voltaje de alimentación máximo: 5 V
- Tipo de salida: Digital y analógica (Comparador)
- Conexión de 4 cables: VCC, GND, DO, AO
- Distribución de pines:
 - Pin de alimentación VCC: 3.3 V - 5 V
 - Pin de alimentación 0 V: GND
 - Pin de OUT: Salida digital
- Indicador de alimentación: LED rojo
- Indicador de salida digital: LED verde
- Dimensiones: 41 mm X 14 mm
- Número de pines: 3
- Modelo: G7
- Modelo: OKY3105

Anexo 5: Datasheet del microcontrolador Esp32

PIN-OUT



1. Overview

ESP32 is a single chip 2.4 GHz Wi-Fi and Bluetooth combo chip designed with TSMC ultra low power 40 nm technology. It is designed and optimized for the best power performance, RF performance, robustness, versatility, features and reliability, for a wide variety of applications, and different power profiles.

1.1 Featured Solutions

1.1.1 Ultra Low Power Solution

ESP32 is designed for mobile, wearable electronics, and Internet of Things (IoT) applications. It has many features of the state-of-the-art low power chips, including fine resolution clock gating, power modes, and dynamic power scaling.

For instance, in a low-power IoT sensor hub application scenario, ESP32 is woken up periodically and only when a specified condition is detected; low duty cycle is used to minimize the amount of energy that the chip expends. The output power of the power amplifier is also adjustable to achieve an optimal trade off between communication range, data rate and power consumption.

Note:

For more information, refer to Section 3.7 RTC and Low-Power Management.

1.1.2 Complete Integration Solution

ESP32 is the most integrated solution for Wi-Fi + Bluetooth applications in the industry with less than 10 external components. ESP32 integrates the antenna switch, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, and power management modules. As such, the entire solution occupies minimal Printed Circuit Board (PCB) area.

ESP32 uses CMOS for single-chip fully-integrated radio and baseband, and also integrates advanced calibration circuitries that allow the solution to dynamically adjust itself to remove external circuit imperfections or adjust to changes in external conditions.

As such, the mass production of ESP32 solutions does not require expensive and specialized Wi-Fi test equipment.

1.2 Basic Protocols

1.2.1 Wi-Fi

- 802.11 b/g/n/e/i
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- 802.11 e: QoS for wireless multimedia technology
- WMM-PS, UAPSD
- A-MPDU and A-MSDU aggregation
- Block ACK

- Fragmentation and defragmentation
- Automatic Beacon monitoring/scanning
- 802.11 i security features: pre-authentication and TSN
- Wi-Fi Protected Access (WPA)/WPA2/WPA2-Enterprise/Wi-Fi Protected Setup (WPS)
- Infrastructure BSS Station mode/SoftAP mode
- Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode and P2P Power Management
- UMA compliant and certified
- Antenna diversity and selection

Note:

For more information, refer to Section 3.5 Wi-Fi.

1.3 MCU and Advanced Features

1.3.1 CPU and Memory

- Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 microprocessors, up to 600 DMIPS
- 448 KByte ROM
- 520 KByte SRAM
- 16 KByte SRAM in RTC
- QSPI Flash/SRAM, up to 4 x 16 MBytes
- Power supply: 2.2 V to 3.6 V

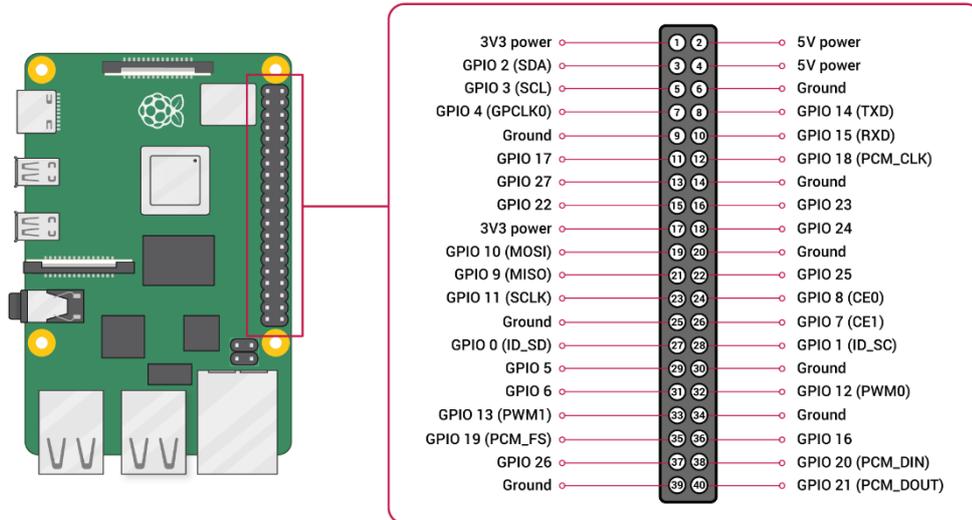
1.3.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz to 40 MHz crystal oscillator
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 x 64-bit timers and 1 x main watchdog in each group
- RTC timer with sub-second accuracy
- RTC watchdog

1.3.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 x 8-bit D/A converters
- 10 x touch sensors
- Temperature sensor
- 4 x SPI
- 2 x I2S
- 2 x I2C
- 3 x UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- CAN 2.0
- IR (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor
- Ultra low power analog pre-amplifier

Anexo 6: Datasheet de la Raspberry Pi4



1 Introduction

The Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) is the first of a new generation of Raspberry Pi computers supporting more RAM and with significantly enhanced CPU, GPU and I/O performance; all within a similar form factor, power envelope and cost as the previous generation Raspberry Pi 3B+.

The Pi4B is available with either 1, 2 and 4 Gigabytes of LPDDR4 SDRAM.

2 Features

2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)

- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
 - Up to 6x UART
 - Up to 6x I2C
 - Up to 5x SPI
 - 1x SDIO interface
 - 1x DPI (Parallel RGB Display)
 - 1x PCM
 - Up to 2x PWM channels
 - Up to 3x GPCLK outputs

2.3 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained
 - Recent Linux kernel support
 - Many drivers upstreamed
 - Stable and well supported userland
 - Availability of GPU functions using standard APIs

3 Mechanical Specification

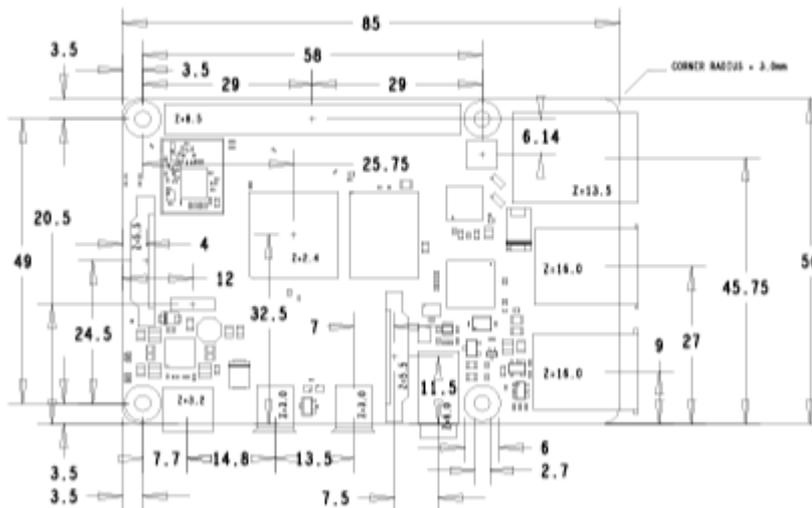


Figure 1: Mechanical Dimensions

4 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 2 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VIN	5V Input Voltage	-0.5	6.0	V

Table 2: Absolute Maximum Ratings

Please note that VDD_IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V _{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	-	-	TBD	V
V _{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	TBD	-	-	V
I _{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	TBD	μA
C _{IN}	Input capacitance	-	-	TBD	-	pF
V _{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	TBD	V
V _{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	TBD	-	-	V
I _{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	TBD	-	-	mA
I _{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	TBD	-	-	mA
R _{PV}	Pullup resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ
R _{PD}	Pulldown resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Table 3: DC Characteristics

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t _{rise}	10-90% rise time ^a	-	TBD	-	ns
Digital outputs	t _{fall}	90-10% fall time ^a	-	TBD	-	ns

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IO = 3.3V

Table 4: Digital I/O Pin AC Characteristics



Figure 2: Digital IO Characteristics

4.1 Power Requirements

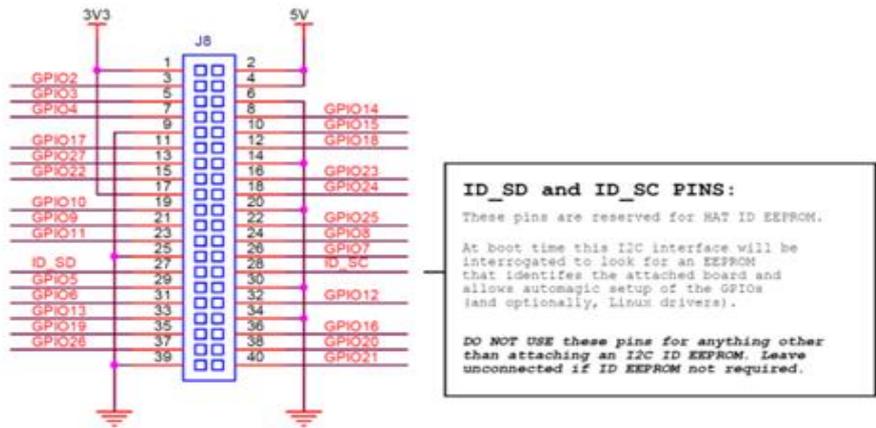
The Pi4B requires a good quality USB-C power supply capable of delivering 5V at 3A. If attached downstream USB devices consume less than 500mA, a 5V, 2.5A supply may be used.

5 Peripherals

5.1 GPIO Interface

The Pi4B makes 28 BCM2711 GPIOs available via a standard Raspberry Pi 40-pin header. This header is backwards compatible with all previous Raspberry Pi boards with a 40-way header.

5.1.1 GPIO Pin Assignments



5.1.2 GPIO Alternate Functions

GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	SPI3_CEO_N	TXD2	SDA6
1	High	SCL0	SA4	DE	SPI3_MISO	RXD2	SCL6
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	SPI3_MOSI	CTS2	SDA3
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	SPI3_SCLK	RTS2	SCL3
4	High	GPCLK0	SA1	DPL_D0	SPI4_CEO_N	TXD3	SDA3
5	High	GPCLK1	SA0	DPL_D1	SPI4_MISO	RXD3	SCL3
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPL_D2	SPI4_MOSI	CTS3	SDA4
7	High	SPI0_CEO1_N	SWE_N	DPL_D3	SPI4_SCLK	RTS3	SCL4
8	High	SPI0_CEO0_N	SD0	DPL_D4	-	TXD4	SDA4
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPL_D5	-	RXD4	SCL4
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPL_D6	-	CTS4	SDA5
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPL_D7	-	RTS4	SCL5
12	Low	PWM0	SD4	DPL_D8	SPI5_CEO_N	TXD5	SDA5
13	Low	PWM1	SD5	DPL_D9	SPI5_MISO	RXD5	SCL5
14	Low	TXD0	SD6	DPL_D10	SPI5_MOSI	CTS5	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPL_D11	SPI5_SCLK	RTS5	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPL_D12	CTS0	SPI1_CEO2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPL_D13	RTS0	SPI1_CEO1_N	RTS1

18	Low	PCM_CLK	SD10	DPLD14	SPI6_CE0.N	SPI1_CE0.N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPLD15	SPI6_MISO	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPLD16	SPI6_MOSI	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPLD17	SPI6_SCLK	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPLD18	SD1_CLK	ARM_TRST	SDA6
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPLD19	SD1_CMD	ARM_RTCK	SCL6
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPLD20	SD1_DAT0	ARM_TDO	SPI3_CE1.N
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPLD21	SD1_DAT1	ARM_TCK	SPI4_CE1.N
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPLD22	SD1_DAT2	ARM_TDI	SPI5_CE1.N
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPLD23	SD1_DAT3	ARM_TMS	SPI6_CE1.N

Table 5: Raspberry Pi 4 GPIO Alternate Functions

5.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available the GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display.

5.1.4 SD/SDIO Interface

The Pi4B has a dedicated SD card socket which supports 1.8V, DDR50 mode (at a peak bandwidth of 50 Megabytes / sec). In addition, a legacy SDIO interface is available on the GPIO pins.

5.2 Camera and Display Interfaces

The Pi4B has 1x Raspberry Pi 2-lane MIPI CSI Camera and 1x Raspberry Pi 2-lane MIPI DSI Display connector. These connectors are backwards compatible with legacy Raspberry Pi boards, and support all of the available Raspberry Pi camera and display peripherals.

5.3 USB

The Pi4B has 2x USB2 and 2x USB3 type-A sockets. Downstream USB current is limited to approximately 1.1A in aggregate over the four sockets.

5.4 HDMI

The Pi4B has 2x micro-HDMI ports, both of which support CEC and HDMI 2.0 with resolutions up to 4Kp60.

5.5 Audio and Composite (TV Out)

The Pi4B supports near-CD-quality analogue audio output and composite TV-output via a 4-ring TRS 'A/V' jack.

The analog audio output can drive 32 Ohm headphones directly.

5.6 Temperature Range and Thermals

The recommended ambient operating temperature range is 0 to 50 degrees Celcius.

To reduce thermal output when idling or under light load, the Pi4B reduces the CPU clock speed and voltage. During heavier load the speed and voltage (and hence thermal output) are increased. The internal governor will throttle back both the CPU speed and voltage to make sure the CPU temperature never exceeds 85 degrees C.

The Pi4B will operate perfectly well without any extra cooling and is designed for sprint performance - expecting a light use case on average and ramping up the CPU speed when needed (e.g. when loading a webpage). If a user wishes to load the system continually or operate it at a high temperature at full performance, further cooling may be needed.

Anexo 7: Datasheet del aspersor T



T-SPRAY (MÉTRICO)

T-SPRAY CRITERIOS DE DISEÑO	bar					
	1.03	1.38	1.72	2.07	2.41	2.76
Elevador en T #6 - Dorado						
Caudal (L/hr)	223	259	288	318	345	370
Diámetro a 0,46 m de altura	4.7	5.2	5.5	5.8	6.1	6.4
Diámetro a 0,91 m de altura	5.3	5.6	5.9	6.2	6.6	6.7
Elevador en T #7 - Lima						
Caudal (L/hr)	304	354	393	432	466	500
Diámetro a 0,46 m de altura	5.2	5.6	5.9	6.2	6.4	6.6
Diámetro a 0,91 m de altura	5.6	5.9	6.3	6.6	6.9	7.0
Elevador en T #8 - Lila						
Caudal (L/hr)	393	457	506	556	602	647
Diámetro a 0,46 m de altura	5.5	5.9	6.2	6.4	6.6	6.7
Diámetro a 0,91 m de altura	5.8	6.1	6.4	6.7	7.0	7.2
Elevador en T #8 - modelo HA - Morado oscuro						
Caudal (L/hr)	393	457	506	556	602	647
Diámetro a 0,46 m de altura	7.8	8.4	8.8	9.1	9.4	9.8

El rendimiento de los aspersores puede variar en las condiciones reales de campo. La altura mínima recomendada para los elevadores es de 0,46 m.

T-SPRAY™

Caudales: 223 a 647 L/hr
Presiones: 1,38 a 2,07 bar



El T-Spray™ de Senninger® aplica un rociado fino en 360° ideal para plantas delicadas. Puede instalarse en posición vertical o invertida. El T-Spray también está disponible como modelo vertical de ángulo alto, para aumentar el área de cobertura.

OPCIONES

- Sin piezas móviles, para una mayor vida útil
- Modelos vertical o invertido
- Elevador en T desarmable para una limpieza sencilla
- Conexión de 1/2" NPT macho
- Dos años de garantía en materiales, mano de obra y rendimiento

Anexo 8: Datasheet de la bomba de agua



ELECTROBOMBA PERIFÉRICA 0.15HP

EKM60-EKM80
EKM110-EK220



Electrobomba de superficie Periférica

Apta para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicos no agresivos a los componentes de la bomba. Por su simplicidad de utilización y su gran ventaja económica, es ideal para uso doméstico y pequeños riegos de huertos y jardines, distribución de agua acopladas a pequeños estanques de presión.

Usos Recomendados

Uso doméstico, civil o industrial, para riego de huertos y jardines con rotadores Pop-Up o Aspersores, aumento de presión en procesos industriales, sistemas autoclaves, aumentos de presión en la red y de respaldo en pequeños sistemas anti-incendios. Se deben instalar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie y siempre deben ser cebadas.

Bomba

- * Transferencia de aguas limpias o líquidos no agresivos.
- * Tratamiento especial anticorrosivo para el cuerpo de la bomba.
- * Temperatura máxima del líquido: +40°C.
- * Succión máxima: +8m.
- * Impulsor de latón.

Motor

- * Bobinado de cobre.
- * Protector térmico incorporado para motores manuales.
- * Clase de aislamiento: F
- * Clase de protección: IPX4
- * Temperatura ambiente máxima: +40°C.

Despiece

Nº	Parte	Materiales	Observaciones
1.	Cuerpo de bomba	litroo fundido	Reverberatorio eléctrico
2.	Impulsor	Latón	
3.	Sello mecánico	Cerámica/Carburo	
4.	Anillo de sellado	NBR	
5.	Aspersor	litroo fundido	Reverberatorio eléctrico
6.	Tapa de		
7.	Rotar		Eje de acero inoxidable pulido
8.	Bobina corriente		
9.	Coverita	IP	
10.	Placa final	Aluminio	
11.	Calafar	Fanaldita de aluminio	
12.	Impulsor de salida	NBR	
13.	Condensador		
14.	Tapa de cable	NBR	
15.	Tornillo		

* Partes y repuestos sujetos a disponibilidad



Impulsor Periférico



Curva de Rendimiento

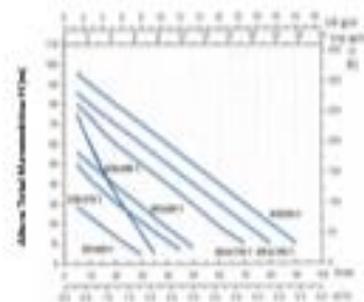


Tabla Técnica

Modelo	Potencia (kW / HP)	Entrada/Salida	Max. Trabajo (Litros)	Max. Levante (m)	Max. Succión (m)	Voltaje (V)
EKM60	0,37 / 0,5	1" x 1"	50	80	8	220
EKM80	0,75 / 1,0	1" x 1"	80	80	8	220
EKM110	1,1 / 1,5	1" x 1"	90	80	8	220
EK220	2,2 / 3,0	1" x 1"	90	100	8	220

Anexo 9: Datasheet de la electroválvula



Características

Esta es una electroválvula normalmente cerrada, así que si usted pone agua presurizada, el agua será bloqueada. Entonces, si usted conecta el voltaje de alimentación a la bobina, la válvula solenoide se abrirá y el agua podrá circular (si tiene la presión suficiente). Para la instalación se debe tomar en cuenta la dirección o sentido de circulación del agua recomendada por el fabricante, la cual se indica por medio de una flecha grabada en la parte inferior de la electroválvula. Es compatible con las conexiones roscadas estándar para tuberías de media pulgada que se pueden adquirir en cualquier ferretería.

En funcionamiento, esta electroválvula genera calor (debido a la disipación de potencia de la bobina), pudiendo alcanzar una temperatura de 60 grados Celsius en media hora de trabajo (en seco, sin ningún fluido circulando y con la alimentación conectada), a partir de ese punto la temperatura se estabiliza y deja de aumentar. Como es de esperar, con el agua o el aire circulando la temperatura en funcionamiento será menor, debido a que el agua y el aire circulante ayudan a eliminar el calor. Por tanto el calentamiento no producirá ningún daño en la válvula solenoide ya que este dispositivo está diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 90 grados.

NOTA: Este dispositivo **NO es una válvula solenoide de alimentación por gravedad** (NO sirve para riego por goteo). Esto significa que usted necesitará suficiente presión de agua/aire para abrir la membrana de la válvula. Se opera con un mínimo de 3 psi, permitiendo alrededor de 1.5 litros/min de flujo. Compruebe las especificaciones abajo para los detalles exactos. Una manguera de jardín, la tubería de agua potable residencial u otro sistema de presión similar deberían funcionar bien.

Especificaciones

- Diámetro de entrada y salida: 1/2"
- Flujo: 5 litros/min a 0.2 MPa (29 psi)
- Estado: NC Normalmente cerrado (sin energía eléctrica no deja circular ningún fluido)
- Temperatura de trabajo: hasta 90 grados Celsius
- Presión de trabajo: 0.02 MPa-0.8 MPa (3-116 psi)
- Dimensiones: 90x50x60mm (LxWxH)
- Voltaje: 12VCD / 110VCA / 220VCA
- Corriente: 250mA@12V / 30mA@110V / 15mA@220V
- Vida útil: Mas de 1.000.000 de ciclos
- Material del cuerpo de la válvula: PP Plástico
- Material de la bobina: Bronce
- Aplicación: control de flujo de agua/aire

Anexo 10: Código de la fase de sensorización

```
esphome:
  name: dht-sensor

esp32:
  board: esp32dev
  framework:
    type: arduino

# Enable logging
logger:

# Enable Home Assistant API
api:
  encryption:
    key: "wcbg8X4GWNd1mj29ggFo/zLezqyPMJD5uS/JpjGbqmo="

ota:
  password: "443fe30f1b24b700ebc76e7cb2618f31"

wifi:
  networks:
    - ssid: "Consigue_tu_Internet"
      password: "NOMEJODAS@"

  # Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection
  fails
  #ap:
    #ssid: "Esp32_Hotspot"
    #password: "invernadero"

captive_portal:

# Example configuration entry
globals:
  - id: COppm
    type: float
    restore_value: no
    initial_value: "0.000"

sensor:
  - platform: dht
    pin: 14
    model: DHT11
    temperature:
      name: "Temperatura del Ambiente"
    humidity:
      name: "Humedad del Ambiente"
```

```

update_interval: 2s

- platform: adc
  pin: A0
  name: "CO2"
  attenuation: 11db
  update_interval: 2s
  unit_of_measurement: ppm
  filters:
    - lambda: |-
      return (135.21 * pow((20000*((3.3-x)/x)) / 1388636, -
2.63))/100;

- platform: adc
  pin: A3
  name: "Plaga"
  attenuation: 11db
  update_interval: 2s
  unit_of_measurement: de luz en el Ambiente
  filters:
    - lambda: |-
      int y = int((100*(3.3-x))/3.3);
      return y;

- platform: adc
  pin: A5
  name: "Humedad del Suelo"
  attenuation: 11db
  update_interval: 2s
  unit_of_measurement: de Humedad
  filters:
    - lambda: |-
      return int((100*(3.3-x))/3.3);

```

Anexo 11: Código de los actuadores

```
esphome:
  name: relay

esp32:
  board: esp32dev
  framework:
    type: arduino

# Enable logging
logger:

# Enable Home Assistant API
api:
  encryption:
    key: "Rb6GHtM54Ygw2RzjNOMsjTM1o02W4JxCwXM9b3y3kR4="

ota:
  password: "d5708a1f114e9b8f16ac841da8882397"

wifi:
  networks:
    - ssid: "Consigue_tu_Internet"
      password: "NOMEJODAS@"

  # Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection
  # fails
  #ap:
  #  ssid: "Led Fallback Hotspot"
  #  password: "rS4SsPh1NCRr"

captive_portal:
  # Example configuration entry
light:
  - platform: binary
    name: "Relay 1"
    output: relay_output1

  - platform: binary
    name: "Relay 2"
    output: relay_output2

  - platform: binary
    name: "Relay 3"
    output: relay_output3
```

- platform: binary
name: "Relay 4"
output: relay_output4
- platform: binary
name: "Relay 5"
output: relay_output5
- platform: binary
name: "Relay 6"
output: relay_output6
- platform: binary
name: "Relay 7"
output: relay_output7
- platform: binary
name: "Relay 8"
output: relay_output8
- platform: binary
name: "M1"
output: Pinout_M1
- platform: binary
name: "M2"
output: Pinout_M2
- platform: binary
name: "M3"
output: Pinout_M3

output:

- id: relay_output1
platform: gpio
pin: GPIO19
- id: relay_output2
platform: gpio
pin: GPIO18
- id: relay_output3
platform: gpio
pin: GPIO5
- id: relay_output4

```
platform: gpio
pin: GPIO17

- id: relay_output5
platform: gpio
pin: GPIO16

- id: relay_output6
platform: gpio
pin: GPIO4

- id: relay_output7
platform: gpio
pin: GPIO2

- id: relay_output8
platform: gpio
pin: GPIO15

- id: Pinout_M1
platform: gpio
pin: GPIO21

- id: Pinout_M2
platform: gpio
pin: GPIO22

- id: Pinout_M3
platform: gpio
pin: GPIO23
```

Anexo 12: Código de la fase de automatización

Desencadenantes

When Temperatura del Ambiente is above 35

platform: numeric_state

entity_id: sensor.temperatura_del_ambiente

above: 35

Condiciones

La temperatura actual de Temperatura del Ambiente

type: is_temperature

condition: device

device_id: 0cd42731a473c7ec81abb26473bffcbbf

entity_id: sensor.temperatura_del_ambiente

domain: sensor

above: 35

Acciones

Encender Relay 3

type: turn_on

device_id: c48e955417854469508a57aaf9913a66

entity_id: light.relay_3

domain: light

flash: long

Desencadenantes

When Temperatura del Ambiente is below 25

platform: numeric_state

entity_id: sensor.temperatura_del_ambiente

below: 25

Condiciones

La temperatura actual de Temperatura del Ambiente

type: is_temperature

condition: device

device_id: 0cd42731a473c7ec81abb26473bffcbbf

entity_id: sensor.temperatura_del_ambiente

domain: sensor

below: 25

Acciones

Apagar Relay 3

type: turn_off

device_id: c48e955417854469508a57aaf9913a66

entity_id: light.relay_3

domain: light

Anexo 13: Entrevista realizada al ingeniero Walter López

DATOS:

Encargado: Ing. Walter López

Entrevistador: Darío Alex Satuquinga

Fecha: 18 de diciembre 2022

OBJETIVO:

Determinar las etapas y las condiciones climáticas para el desarrollo de las plantaciones de tomate y a su vez permita el desarrollo del proyecto de titulación del sistema de control y monitoreo de riego, purificación de aire y fumigación para la plantación de tomate de riñón en invernaderos mediante dispositivos IoT en la agropecuaria San Miguel de Salcedo.

Preguntas:

1. ¿Cuándo se fundó la institución y que servicios ofrece?

La institución se fundó en enero del 2015, toma el nombre de agropecuaria san Miguel de Salcedo, nace con la necesidad de tener un grupo de agricultores que puedan desarrollar como emprendedores en la siembra de tomate de riñón.

Análisis: Ofrece talleres de manejo de cultivo y cuidado de tomate de riñón a los pequeños agricultores con la finalidad que las familias logren cultivar productos de calidad, además se suma la entrega de insumos agrícolas.

2. ¿Cuáles son las etapas de crecimiento de las plantas de tomates?

Fase inicial. - germinación de la semilla de 1 a 21 días.

Fase vegetativa. - crecimiento de la planta donde ocurre la floración que de 22 a 80 días.

Fase reproductiva. – la fase donde inicia la fructificación de 81 a 100 días.

Análisis: En las etapas de crecimiento de tomate tienen 3 fases importantes que ayudan en el desarrollo del producto.

3. ¿Cuál es la más comercializada de los tomates de la variedad Pietro o cita?

La más comercializada es el tomate Pietro

Análisis: Las diferentes variedades de tomates el más comercializado en la región Sierra es el tomate Pietro por la razón que el tomate es ligeramente grueso y firme, además para envío a otras ciudades u otras regiones son más duraderas y logran llegar en un buen estado.

4. ¿De las variedades de tomates cual es recomendable sembrar y por qué?

De la variedad como el tomate cita, Pietro son las más recomendadas en el sembrío porque el tomate Pietro tiende a producir en tiempo de 3 meses aproximadamente, es una de las más comercializadas y fácil de vender, el producto puede ser importada y llegar en un buen estado y el tomate cita es una de las que más producción da durante su cosecha.

Análisis: En el instituto se recomienda el sembrío de las dos variedades de tomates en la cual se determinó que la planta de tomate Pietro resulta que da más ingresos y produce en menos tiempo con un desarrollo muy buena.

5. ¿Cuántas variedades de tomates existe?

En el Ecuador existen 8 variedades más acogidas: fortuna, Sheila, charleston, titan, pietro, fortaleza, cita y Cherry.

Análisis: En el instituto únicamente trabaja con las 5 variedades, cita, Sheila, titan, pietro y daniela que tiene una producción muy buena.

6. ¿En qué tiempo sale las primeras flores de tomate de riñón?

En el desarrollo floral inicia en 30 a 50 días desde muy pequeño va de acuerdo el cuidado durante el crecimiento de la planta además la temperatura que debe ser entre 20 °C y 27 °C.

Análisis: El tiempo del desarrollo floral va de acuerdo al cuidado y alimentación explica en los talleres del instituto con la finalidad que la planta de frutos a una gran escala.

7. ¿Qué tipo de planta de tomate es el más vulnerable a las plagas?

Toda planta tiende a poseer plagas una más vulnerables que otras la mancha blanca, pulgón, mancha negra, araña roja son enfermedades que se pueden convertir con químicos especialmente para este tipo de plagas.

Análisis: las plantas más propensas a las plagas son las más pequeñas entre los 21 a 30 días de crecimiento que son vulnerables a estos tipos de enfermedades.

8. ¿En qué tiempo empieza a madurar los tomates?

En el desarrollo de los tomates de riñón se da entre los 70 días dependiendo las temperaturas que deben estar entre 17°C de noche y 30°C de día, el tomate si se saca verde se puede madurar fuera de la planta.

Análisis: el fruto que se está formando tarda varias semanas donde se podrá observar de color verde y con una temperatura de 27 a 30°C empieza a tener un color rojizo y podrá tener sus primeras cosechas.

9. ¿Qué cantidad de agua necesita las plantas de tomates durante su crecimiento?

La cantidad de agua va de acuerdo el tamaño de la planta que a sus inicios del sembrío es 0.5 litros 2 veces a la semana y una planta adulta de tomate 1.5 a 2 litros por día, todo va dependiendo en la zona, la temperatura y tipo de suelo que tenga.

Análisis: en zona Sierra la temperatura va desde 24-25 °C y la cantidad de agua para la planta de tomate en una zona húmeda oscila de 1 a 2 litros por semana que es suficiente para las variedades de tomates de cita, Pietro y otros.

10. ¿Qué tipos de plagas existe en las plantas de tomates?

Las plagas de tomates afectan al cultivo, las plagas más comunes en el Ecuador son ácaros que son daño despuntadas en los bordes de las hojas, minador ataca directamente a la planta en la noche penetran en la hoja, mosca blanca un insecto que vive en reverso de la hoja y debilita a la planta, mancha negra se trata que mata todo el tallo de la planta dejando reseca a la planta.

Análisis: son plagas destructivas a temperaturas mayores a 30°C que son difíciles de controlar y se puede perder todo el cultivo si no son atendido a tiempo es importante revisar constantemente en el crecimiento de las plantas.