

**DISEÑO RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN UN SISTEMA DE MONITOREO
Y CONTROL AUTOMATIZADO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA UN
INVERNADERO**

**CARREÑO DIEGO ARMANDO
NARANJO DANIEL FELIPE
PEREZ LUISA MARIA**

DR. ANDRES JIMENEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA “UPTC”
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
REDES DE SENSORES
2023**

Tabla de Contenido

1. Variables Ambientales Del Invernadero	3
2. Conceptos de operación y requerimientos:	7
3. Diseño y arquitectura general:	8
4. Diseño y arquitectura detallado:	9
5. Integración, pruebas y verificación de dispositivos y tecnologías:	12
6. Verificación y validación del sistema:	13
7. Operación y mantenimiento:	14

DISEÑO RED INALÁMBRICA DE SENSORES EN UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMATIZADO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA UN INVERNADERO

Una de las consecuencias directas del continuo crecimiento demográfico a nivel mundial es la creciente necesidad de recursos. Debido al agotamiento y disminución de la disponibilidad de recursos, es urgente lograr la mayor eficiencia posible para la sostenibilidad. Para aumentar la respuesta del cultivo, todos los parámetros ambientales, incluyendo temperatura, humedad, y la concentración de CO₂, tienen que alcanzar su nivel óptimo. El clima se puede controlar dentro de estructuras metálicas o de madera, recubiertas de materiales transparentes como vidrio o plástico, llamados invernaderos. Si bien el propósito principal del invernadero es atrapar la radiación solar de longitud de onda corta y almacenar la radiación térmica de onda larga, también protege los cultivos de las condiciones climáticas exteriores, exceso de calor y frío, ventiscas y tormentas. Además, se reduce el movimiento del aire en el interior del invernadero, evitando la propagación de enfermedades de las plantas.

Los invernaderos incluyen varios sistemas de seguimiento y control de todos los factores formadores. La adquisición continua de datos y la interpretación de parámetros interrelacionados son procesos laboriosos y complejos. Nuevos métodos de automatización de “Agricultura de precisión” y “Agricultura Inteligente” ayudan a los agricultores a aumentar la producción y al mismo tiempo minimizar el trabajo humano.

1. Variables Ambientales Del Invernadero

Una serie de factores contribuyen a las operaciones y la eficiencia del invernadero, que van desde las buenas propiedades genéticas de los cultivos a la calidad de los fertilizantes. Lo que se necesita considerar es la importancia de la monitorización continua de los parámetros climáticos interiores y exteriores: aire y suelo temperatura, humedad del aire, humedad del suelo, radiación solar, intensidad de la luz, dióxido de carbono (CO₂) concentración y PH del suelo, que contribuyen directamente a la mejora del crecimiento de las plantas como se detalla a continuación:

1.1 Radiación solar e intensidad luminosa

La energía solar es la principal fuente natural de luz y calor dentro de un invernadero, donde se atrapa la radiación solar de longitud de onda corta y se almacena la radiación térmica de longitud de onda larga. La radiación fotosintéticamente activa de longitud de onda corta entre 0,4 y 0,7 μm es responsable de la fotosíntesis, y el resto del espectro es responsable de la transpiración de los cultivos. Al mismo tiempo, la luz se difunde cuando ingresa a un invernadero, creando un perfil de espectro homogéneo alrededor del dosel

y mejorando los procesos de iluminación. Además del proceso de fotosíntesis, durante el cual el dióxido de carbono (CO_2) se convierte en materia orgánica con la ayuda de la luz, las reacciones de las plantas a diferentes tipos de luz, llamadas morfogénesis, y a diferentes duraciones del día, llamadas periodismo, también son procesos esenciales para crecimiento de la planta. Por esta razón, es necesario medir la irradiancia, la calidad espectral y la duración de la luz

1.2 Calor y temperatura

La energía térmica dentro del invernadero y, por lo tanto, la temperatura, tienen un impacto significativo en las reacciones químicas y las propiedades físicas de los cultivos, tanto a nivel celular como vegetal. La razón de esto es que regula la tasa de transpiración y el estado del agua durante la fotosíntesis.

Cabe señalar que cada especie tiene requisitos únicos que varían durante su desarrollo. Además, es muy importante monitorear de cerca y de manera continua las mediciones de temperatura, ya que difieren en la altura y la longitud del invernadero, entre el día y la noche, a lo largo de las estaciones, y se ven afectadas por la intensidad de la luz, la humedad y la concentración de CO_2 .

Además, las temperaturas del suelo y de las plantas proporcionan información vital sobre el ecosistema del suelo y la salud de las plantas, respectivamente. Por lo tanto, numerosos sensores de temperatura para monitorear la temperatura del aire, el suelo y las plantas son de igual y gran importancia

1.3 Humedad relativa

Uno de los factores ambientales más significativos es también la humedad. La humedad influye en todos los procesos asociados con la transpiración, la fotosíntesis, la tasa de polinización y, en última instancia, el rendimiento de los cultivos. La humedad relativa y la temperatura están estrechamente interrelacionadas, ya que la humedad relativa indica la relación entre la cantidad de agua disuelta en el aire y la cantidad máxima sin condensación a una temperatura específica. Los bajos porcentajes de humedad relativa, que implican ambientes secos y extremadamente cálidos durante mucho tiempo, pueden llevar a las plantas a la sequía. Por el contrario, altos porcentajes y bajas temperaturas hacen que las plantas sean propensas a enfermedades fúngicas y trastornos fisiológicos. Por lo tanto, es necesario monitorear simultáneamente la temperatura y la humedad.

1.4 Humedad del suelo

Otro parámetro ambiental vital para las plantas es la humedad del suelo en el cultivo basado en el suelo. Se debe mantener un nivel de agua suficiente en el

suelo, donde las plantas absorben todos los nutrientes esenciales utilizando sus raíces. Monitorear la humedad del suelo y suministrar agua de acuerdo con las necesidades de cada planta no solo protege a las plantas de marchitarse, cuando el agua es insuficiente, y de diversas enfermedades, cuando hay un exceso de agua, sino que también limita el desperdicio de agua.

1.5 Dióxido de Carbono - CO₂

El dióxido de carbono (CO₂) es un elemento fundamental en la fotosíntesis, que las plantas absorben a través de los estomas. Aunque el dióxido de carbono y el agua son los únicos reactivos en la ecuación química de la fotosíntesis, la temperatura y la humedad la afectan al regular la apertura de los estomas. El nivel de concentración de CO₂ puede caer notablemente, incluso en un invernadero bien ventilado, debido al crecimiento denso de los cultivos. Desafortunadamente, el enriquecimiento con CO₂ no es una práctica generalizada en climas templados. En un ambiente abierto, la concentración de CO₂ es de aproximadamente 400 ppm. Sin embargo, en invernaderos a gran escala, por lo general, los niveles tan altos como 1000-2000 ppm son ideales, capaces de lograr un aumento de cultivo de más del 20%

1.6 PH del suelo

Una variable química más responsable del crecimiento de los cultivos es el pH del suelo, que determina si el suelo puede recibir nutrientes. Va de 0 a 14, indicando la concentración de iones de hidrógeno. Por lo general, el suelo oscila entre 4,0 y 8,5, pero los valores más favorables están entre 5,5 y 6,5. En suelo alcalino (altos valores de pH; por encima de 7) los nutrientes se separan, privando a la planta de sustento. Por otro lado, en suelos considerablemente ácidos (valores de pH bajos; por debajo de 7) los nutrientes se concentran más densamente, volviéndose dañinos para la planta. Con todo, el nivel de pH debe cumplir con los requisitos de cada planta para crecer y prosperar. Las características del pH del suelo pueden ser modificadas por fertilizantes formulados.

1.1.7 Condiciones meteorológicas exteriores

Aunque los invernaderos son estructuras autónomas con su entorno artificial, están influenciados por las condiciones climáticas exteriores en gran medida. La temperatura exterior y la humedad relativa afectan los parámetros interiores y la energía general del invernadero a través de los intercambios de aire y la transferencia de calor. Además, la velocidad del viento, la dirección del viento y la cantidad de lluvia pueden influir en la tasa de esos intercambios.

Para este proyecto tiene como planta piloto un invernadero, en este se aprecian las siguientes variables físicas: **temperatura, humedad del suelo, radiación solar, concentración de CO₂ y nivel de tanque.**

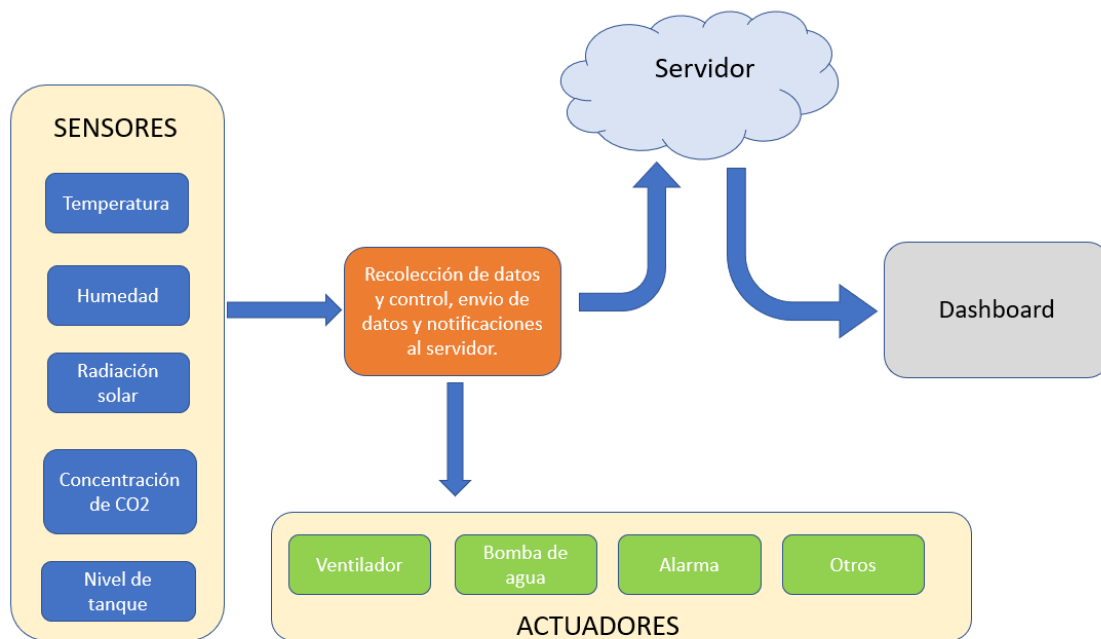
El objetivo es monitorear estas señales, procesarlas, almacenarlas y realizar acciones de control sobre la planta si es necesario.

2. Conceptos de operación y requerimientos:

Después de los diferentes análisis, se seleccionaron los siguientes requisitos para este proyecto:

- **Convergencia e integración:** Es obligatorio para que el sistema deba ser operado dentro de un solo entorno, y que toda la información converge en él. En otras palabras, ni los servicios ni la información pueden ser dispersos en diferentes subsistemas.
- **Expansibilidad:** El sistema debe diseñarse de manera que sea posible implementar funciones más avanzadas según el cultivo deseado. Esto significa que la arquitectura original debe permitir evolucionar el sistema, por ejemplo, de un sistema de monitoreo a un sistema autónomo.
- **Independencia:** Debe ser posible actualizar el sistema independientemente, de modo que los componentes físicos ya adquiridos no tienen que ser reemplazados.
- **Disponibilidad en tiempo real a través de la red:** El sistema debe permitir la recopilación de datos a través de la red y almacenado en una base de datos.
- **Adquisición automática de datos:** Debe cumplir con un comportamiento automatizado sin ayuda humana.
- **Disponibilidad de la información:** La base de datos y el servidor deben estar activos para consultar la información y visualizarla en cualquier instante de tiempo.
- **Criterios de control:** los actuadores deben operar correctamente de acuerdo con criterios de control.

3. Diseño y arquitectura general:



Por medio de una red de sensores se monitorea el comportamiento de las variables físicas, los sensores convierten las señales físicas en eléctricas, ya sea digitales o analógicas según el sensor.

Un dispositivo actuará como nodo, recibiendo la señal de cada sensor. Este dispositivo se encarga de recolectar y procesar señales, procesar y almacenar datos internamente o enviarlos a un servidor por medio de una conexión a internet implementando un protocolo de wifi, además realizar acciones de control sobre los actuadores, esto de acuerdo a los criterios de control establecidos.

4. Diseño y arquitectura detallado:

SENSORES

Temperatura

Humedad del suelo

Radiación solar

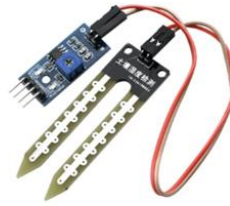
Concentración de CO2

Nivel de tanque

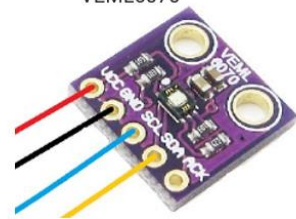
Sensor de temperatura
DHT11



Sensor de Humedad del suelo
FC-28



Sensor de radiación solar
VEML6070



Sensor concentración de CO2
MH-Z19



Sensor nivel de tanque
HC-SR04



Sensor	Voltaje de Operación	Rango de Medición	Salida de Datos	Consumo de Corriente
DHT11	3.3V a 5V DC	0°C a 50°C	Salida digital (lecturas digitales)	2.5mA (máximo)
FC-28	3.3V a 5V DC	Variable (depende del suelo)	Salida analógica y salida digital	Menos de 20mA
VEML6070	2.7V a 5.5V DC	200 a 400 nm (UV-A y UV-B)	Salida analógica y salida digital	Menos de 500 μ A
MH-Z19	4.5V a 5.5V DC	0 a 5000 ppm (CO2)	Salida digital y salida analógica	Menos de 9 mA
HC-SR04	5V DC	2 cm a 400 cm	Pulso de duración proporcional a la distancia	Menos de 15 mA

Ventilador

Bomba de agua

Alarma

Otros

ACTUADORES

Electrobomba
 Marca: BrothersCR



Ventilador
 Ref: PFR0612XHE



Buzzer



Elemento	Tamaño	Peso	Voltaje de Alimentación
Electrombomba	50 mm x 50 mm x 40 mm	200 gramos	12 V DC
Ventilador	120 mm de diámetro	150 gramos	12 V DC
Buzzer	20 mm de diámetro	10 gramos	12 V DC

Recolección de datos
 y control, envío de
 datos y notificaciones
 al servidor.

Modulo ESP32 WIFI



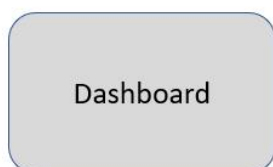
Módulo ESP32 WiFi	
Microcontrolador	ESP32
Arquitectura	Xtensa dual-core 32-bit LX6
Velocidad del procesador	Hasta 240 MHz
Memoria Flash	4 MB
Memoria RAM	520 KB
Conectividad WiFi	802.11 b/g/n (2.4 GHz)
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE
Interfaces de comunicación	UART, SPI, I2C, I2S, CAN, Ethernet, SD/SDIO/MMC, GPIO, ADC, DAC
Pines GPIO	Varios pines GPIO disponibles
Sistema operativo	FreeRTOS
Alimentación	3.3V (puede variar según versión)
Consumo de corriente	Varía según modo de funcionamiento
Programación	IDE de Arduino, ESP-IDF
Otros	OTA, criptografía, servidores web, etc.

Para el caso del servidor se contemplan 3 opciones que proveen este servicio: Thingspeak, HiveMQ y mosquito, estos servidores son también conocidos como brokers IoT, a continuación, se presentan algunas características de cada uno.



Características	ThingSpeak	HiveMQ	Mosquitto
Almacenamiento de datos	Sí	No	No
Visualización de datos	Sí	No	No
Análisis y procesamiento de datos	Sí	No	No
Integración con otros servicios	Sí	Sí	No
Seguridad	Limitada	Alta	Moderada
Conectividad de dispositivos	Amplia	Amplia	Amplia

Si los datos son almacenados en la nube, será posible procesarlos en una aplicación web, de escritorio o móvil, esto facilita la visualización remota de los datos o notificaciones enviadas desde el invernadero.



5. Integración, pruebas y verificación de dispositivos y tecnologías:

- Verificar que la fuente de energía corresponda con los niveles de operación de los dispositivos.
- Activación del microcontrolador para iniciar el proceso de monitoreo.
- Calibración de los sensores.
- Calibración de los actuadores.
- Verificar la conexión a internet.
- Verificar la conexión con el broker o servidor.
- Asegurar la protección física de los dispositivos.

6. Verificación y validación del sistema:

- La prueba de funcionamiento del sistema utiliza invernaderos de simulación de laboratorio y equipos de apoyo tanto como sea posible para simular la estructura general del hardware en el invernadero real. (Simulaciones.)
- Establecer parámetros para en el momento de realizar las pruebas, tener un punto de partida que indique cual es el correcto funcionamiento en el que deben estar los cultivos, cuáles son los rangos ideales en los que se deberían encontrar de acuerdo con su implantación y lugar de trabajo.
- Probar su desempeño durante un ciclo de producción en diferentes invernaderos. Esto permitiría dar directamente resultados de la utilidad del sistema, y así certificar que proporciona todas las funciones suficientes para la gestión.
- Se realiza monitoreo de los diferentes criterios en tiempo real, con una transmisión de datos de forma directa al usuario
- Se realiza el correcto control de las variables
- Observar los resultados de la captura de datos en una plataforma global o de almacenamiento en la nube.

7. Operación y mantenimiento:

- Garantizar la estabilidad de la fuente de energía.
- Protección de los dispositivos contra la intemperie.
- Protección de los dispositivos contra animales y plagas.
- Calibración periódica de los sensores y actuadores
- Disponer de repuestos para los dispositivos más importantes del sistema.