

Información Científica y Tecnológica

Diseño y desarrollo de un sistema IoT para la adquisición automática de datos climatológicos basado en microcontroladores ESP8266

Design and Development of an IoT System for the automatic acquisition of climate data based on ESP8266 microcontrollers

Carlos Rojas-Sánchez ^{1*} , Virginia Reyes Borques ¹
& Jaime Arroyo Ledezma ¹

Resumen

El monitoreo de variables climatológicas mediante tecnologías de bajo costo representa una alternativa viable para aplicaciones ambientales, agrícolas e industriales. El objetivo de este trabajo fue diseñar, implementar y evaluar un sistema IoT para la adquisición automática de datos de temperatura y humedad utilizando microcontroladores ESP8266. La metodología empleada consistió en el desarrollo de una arquitectura distribuida basada en módulos servidores y nodos de adquisición comunicados mediante el protocolo MQTT sobre una red WLAN local. El sistema incorpora almacenamiento local en tarjeta microSD y sincronización temporal mediante un módulo RTC DS1302. Para validar su funcionamiento, se implementó un grupo operativo conformado por un servidor y dos nodos de adquisición equipados con sensores DHT22, realizando pruebas experimentales durante 60 min con una frecuencia de adquisición de una lectura por segundo. Los resultados mostraron una comunicación estable entre los dispositivos en un rango de 10 a 15 m y un consumo promedio de 320 mA durante la transmisión activa y 90 mA en modo inactivo. Asimismo, los datos adquiridos fueron almacenados correctamente, permitiendo la generación de registros históricos de temperatura y humedad. Se concluye que la arquitectura propuesta constituye una solución de bajo costo, escalable y adecuada para aplicaciones de monitoreo ambiental que no requieren infraestructura externa para el almacenamiento de datos.

Palabras clave: MQTT, monitoreo ambiental, sensores ambientales, Internet de las Cosas, sistemas embebidos.

Resumen

Monitoring climatological variables using low-cost technologies represents a viable alternative for environmental, agricultural, and industrial applications. The objective of this work was to design, implement, and evaluate an Internet of Things (IoT) system for the automatic acquisition of temperature and humidity data using ESP8266 microcontrollers. The methodology consisted of developing a distributed architecture based on server modules and acquisition nodes communicating through the MQTT protocol over a local WLAN network. The system incorporates local storage on a microSD card and time synchronization through a DS1302 real-time clock (RTC) module. To validate its operation, an operational group composed of one server and two acquisition nodes equipped with DHT22 sensors was implemented. Experimental tests were conducted for 60 min with a sampling frequency of one reading per second. The results showed stable communication between devices within a range of 10 to 15 m and an average power consumption of 320 mA during active transmission and 90 mA in idle mode. Furthermore, the acquired data were successfully stored, enabling the generation of historical temperature and humidity records. The results demonstrate that the proposed architecture constitutes a low-cost, scalable solution suitable for environmental monitoring applications that do not require external infrastructure for data storage.

Key words: MQTT, environmental monitoring, environmental sensors, Internet of Things, embedded systems.

Recibido: 04 de marzo de 2026.

Corregido: 24 de junio de 2026.

Aceptado: 18 de agosto de 2026.

¹ Universidad del Mar, campus Puerto Escondido. Ciudad Universitaria, Carretera Vía Sola de Vega, Puerto Escondido 71980, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México.

* **Correspondencia:** solrac@aulavirtual.umar.mx



Introducción

El monitoreo continuo y preciso de variables climatológicas, temperatura y humedad, es fundamental para comprender patrones meteorológicos (Zafar *et al.* 2018), prevenir desastres naturales, optimizar actividades productivas en la agricultura y reproductivas en la ganadería (Mahesh *et al.* 2014, Paputungan *et al.* 2020), por mencionar algunos usos. Tradicionalmente, la recolección de estos datos se ha realizado mediante estaciones meteorológicas convencionales, las cuales, aunque precisas, suelen implicar altos costos de adquisición, instalación, configuración y mantenimiento, lo que limita su implementación en entornos rurales o con recursos limitados (Organización Meteorológica Mundial 2021).

En los últimos años, el desarrollo de tecnologías de bajo costo y bajo consumo energético, como los microcontroladores ESP8266 con conectividad *Wi-Fi* integrada (Espressif Systems 2023), ha abierto nuevas oportunidades para la creación de sistemas de código abierto enfocados a la adquisición de datos climatológicos, propiciando que estos sean más accesibles, escalables y fáciles de implementar. Estos dispositivos, combinados con sensores de temperatura, humedad, presión atmosférica y otros parámetros ambientales (Texas Instruments 2019, Adafruit Industries 2024), permiten transmitir información en tiempo real a plataformas de almacenamiento y visualización, facilitando el análisis y la toma de decisiones (Sethi & Sarangi 2017).

Diversos estudios han demostrado la viabilidad de integrar microcontroladores en proyectos de monitoreo ambiental para obtener información precisa y oportuna, con costos significativamente menores a los de los sistemas tradicionales (Valada *et*

al. 2010, Kumar & Singh 2020). Además, la implementación de tecnologías de hardware libre como Arduino y la programación en entornos accesibles para la comunidad maker (Banzi & Shiloh 2014) fomenta la innovación colaborativa y la rápida adopción de estas soluciones en distintos contextos.

A pesar de los avances en sistemas de monitoreo basados en IoT, muchas de las soluciones reportadas dependen de servicios externos para el almacenamiento y procesamiento de datos, requieren infraestructura adicional o presentan limitaciones para su implementación en entornos con recursos económicos y tecnológicos restringidos. Esta situación plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿es posible desarrollar un sistema IoT de bajo costo, basado en microcontroladores ESP8266, capaz de adquirir, transmitir y almacenar de forma autónoma datos de temperatura y humedad, generando registros históricos sin depender de infraestructura externa? En este contexto, el objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un sistema IoT para la adquisición automática de datos climatológicos. La contribución principal consiste en la propuesta y validación de una arquitectura distribuida basada en nodos de adquisición y servidores locales que emplea comunicación inalámbrica mediante MQTT y almacenamiento local de las mediciones, proporcionando una solución accesible, escalable y de bajo costo para la generación de históricos de temperatura y humedad.

En el presente artículo se describe el diseño, implementación y evaluación de SisTH, un sistema IoT para la adquisición automática de datos de temperatura y humedad utilizando microcontroladores de la familia ESP8266. Se presentan los componentes de hardware y software



empleados, así como la arquitectura de comunicación y almacenamiento desarrollada. Asimismo, se exponen las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del sistema y su capacidad para generar registros históricos de información ambiental que puedan ser utilizados en futuros proyectos de investigación.

Diseño e Implementación del SisTH

El sistema propuesto se compone de módulos servidores y módulos nodos de adquisición, organizados en grupos operativos (ver Fig. 1). Cada grupo está conformado por un servidor y varios nodos que se comunican entre sí para el intercambio y procesamiento de datos dentro de un área determinada. Además,

es posible coordinar múltiples grupos de forma conjunta, lo que permite ampliar la cobertura del sistema y monitorear áreas de mayor extensión. Por ejemplo, en un espacio de 100 m², puede operar uno o varios grupos, dependiendo de los requerimientos de resolución y densidad de medición del entorno. Las figuras 2 y 3 ilustran la arquitectura y el funcionamiento del módulo servidor y del módulo nodo de adquisición, respectivamente.

Diagrama del Módulo Servidor

El servidor es el componente principal de los grupos operativos. Su función es generar una WLAN (red inalámbrica local) para luego recibir, almacenar y procesar la información enviada por los nodos. La figura 2 presenta la estructura del módulo

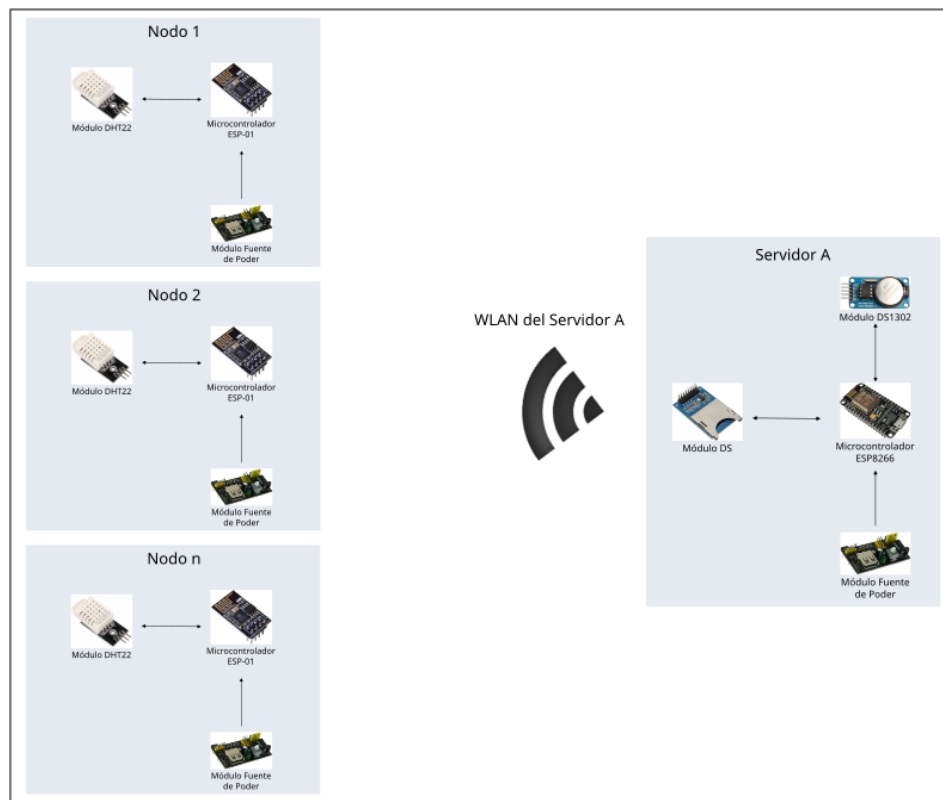


Figura 1. Arquitectura de un grupo operativo para la adquisición distribuida de variables ambientales. El grupo operativo está conformado por un servidor y múltiples nodos de adquisición conectados mediante una red inalámbrica local (WLAN). Los nodos realizan las mediciones de temperatura y humedad relativa y transmiten la información al servidor, el cual se encarga de recibirla, almacenarla y administrarla.

servidor, el cual está conformado por los siguientes elementos:

- Un microcontrolador ESP8266 (Espressif Systems 2016), encargado de coordinar la comunicación con los nodos de adquisición y de manejar los datos recopilados. Para el intercambio de información se utiliza el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) (Hunkeler *et al.* 2008, Naik 2017, OASIS 2019), un protocolo ligero de mensajería ampliamente empleado en sistemas IoT. En este diseño, el ESP8266 cumple una doble función al operar simultáneamente como *broker* y como cliente suscriptor. Como *broker*, administra los tópicos y

distribuye los mensajes publicados por los nodos de adquisición; como suscriptor, recibe directamente dichas mediciones para su procesamiento y almacenamiento. Esta integración dual permite reducir la complejidad del sistema y eliminar la necesidad de servidores externos. El bajo consumo de ancho de banda de MQTT, junto con su tolerancia a conexiones inestables y su simplicidad en la gestión de mensajes, lo convierten en una opción ideal para sistemas de monitoreo ambiental con recursos limitados.

- Un módulo DS1302 (Maxim Integrated 2015), encargado de generar la fecha y la hora del sistema. Este componente funciona como un reloj en tiempo real (RTC), proporcionando sincronización temporal constante para las operaciones de registro y comunicación. Su integración es fundamental, ya que el ESP8266 no puede mantener la hora interna cuando no cuenta con acceso a la red, lo que imposibilita obtener la hora mediante NTP (Network Time Protocol, o Protocolo de Tiempo de Red). Gracias al DS1302, es posible etiquetar correctamente los datos recibidos desde los nodos de adquisición, garantizando la coherencia temporal y permitiendo un análisis histórico confiable.

- Un módulo de almacenamiento en tarjeta DS (LC Studio 2012), encargado de almacenar toda la información que el microcontrolador le envía, permitiendo conservar registros históricos y respaldos del sistema. Para estimar su capacidad, se considera un escenario donde se registran datos cada 5 segundos desde tres nodos, con un tamaño aproximado de 100 caracteres por nodo (≈ 100 bytes). Esto representa un flujo total de 300 bytes cada 5 segundos, equivalente a 60 bytes por segundo. Dado que una tarjeta microSD de 16 GB dispone de aproximadamente

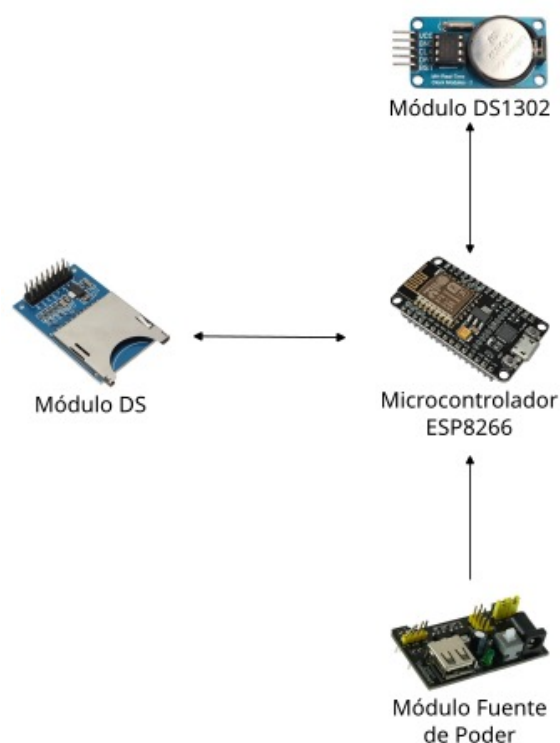


Figura 2. Arquitectura del módulo servidor. El servidor está compuesto por un microcontrolador ESP8266, un módulo RTC DS1302, un módulo de almacenamiento SD y un módulo de alimentación. El ESP8266 administra la comunicación con los nodos de adquisición, el RTC proporciona la referencia temporal para las mediciones y el módulo SD permite el almacenamiento local de los datos recopilados.



17 179 869 184 bytes, el sistema podría almacenar datos de manera continua durante alrededor de 2.86×10^8 segundos, lo que equivale a aproximadamente 3315 días, es decir, más de 9 años de operación ininterrumpida. Este cálculo considera el escenario ideal en el que no existan fallos en el suministro de energía, interrupciones en el funcionamiento del microcontrolador o fallas en los circuitos, pudiendo así mantener la escritura de datos de forma constante durante todo el periodo.

- Un módulo fuente de poder (Wangtong Electronics Co., Ltd. 2016), cuya función principal es transformar la corriente alterna de una instalación doméstica típica, que en México oscila entre 110 y 127 V AC, en una salida regulada de 5 V DC. Esta conversión es esencial para permitir la operación segura de los componentes electrónicos del sistema, los cuales requieren voltajes bajos y estables para evitar daños o comportamientos erráticos. La salida de 5 V alimenta directamente al módulo RTC DS1302 y al sensor digital DHT22, ambos con un consumo energético reducido. El DS1302 opera en el orden de microamperios, sobre todo cuando utiliza su batería de respaldo interna, mientras que el DHT22 consume entre 1 y 1.5 mA durante las mediciones. Este bajo consumo facilita su operación continua sin comprometer la estabilidad general del sistema. En contraste, el microcontrolador ESP8266 requiere un manejo energético más cuidadoso, dado que opera exclusivamente a 3.3 V DC y presenta demandas variables según la actividad inalámbrica. En condiciones típicas consume entre 70 y 120 mA, pero puede alcanzar picos de 250 a 400 mA durante la transmisión Wi-Fi o al establecer enlaces. Por esta razón, la salida de 5 V proveniente del módulo fuente debe pasar a través de un regulador adicional de voltaje,

como un AMS1117-3.3 o un convertidor DC-DC tipo buck. Estos dispositivos permiten entregar una tensión estable de 3.3 V, adecuada para soportar los picos de corriente sin producir caídas de voltaje que puedan generar reinicios inesperados del microcontrolador o errores en la comunicación inalámbrica.

Diagrama del Módulo Nodo

La figura 3 muestra la estructura del módulo nodo, encargado de la adquisición de datos ambientales y su transmisión al módulo servidor. Cada nodo opera de forma autónoma dentro del grupo, capturando información en tiempo real y enviándola a través de un enlace inalámbrico. El nodo está conformado por los siguientes componentes principales:

- Un módulo DHT22 (Aosong Electronics Co., Ltd. 2010): Que funciona como el sensor principal de cada módulo nodo para la medición de temperatura y humedad relativa del entorno. Este dispositivo integra un termistor capacitivo para humedad y un sensor resistivo calibrado digitalmente para temperatura, lo que permite obtener valores precisos sin necesidad de componentes analógicos adicionales. Su comunicación mediante un protocolo digital de un solo hilo facilita la conexión directa al microcontrolador del nodo, reduciendo el cableado y asegurando una transferencia de datos estable. Gracias a sus rangos operativos amplios de -40 a 80 °C y de 0 a 100 % de humedad relativa, el DHT22 mantiene un desempeño adecuado en diversas condiciones ambientales, lo que permite que los nodos funcionen de manera confiable en interiores o exteriores.

- Un microcontrolador ESP-01 (Ai-Thinker Technology Co., Ltd. 2015): constituye la unidad central de

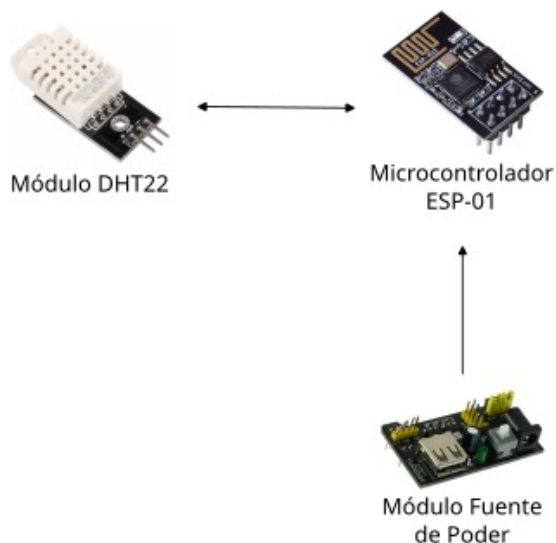


Figura 3. Arquitectura del módulo nodo de adquisición. El nodo está compuesto por un sensor DHT22, un microcontrolador ESP-01 y un módulo de alimentación. El DHT22 mide la temperatura y la humedad relativa del ambiente, mientras que el ESP-01 procesa y transmite las mediciones al servidor mediante la red inalámbrica del grupo operativo.

procesamiento y comunicación dentro del módulo nodo. Este dispositivo está basado en el chip ESP8266, un microcontrolador de arquitectura Tensilica L106 que integra conectividad Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n y capacidades de cómputo suficientes para realizar tareas de adquisición, formateo y transmisión de datos. En el módulo nodo, el ESP-01 es el encargado de recibir directamente las mediciones provenientes del sensor DHT22, procesarlas localmente y preparar los paquetes de información siguiendo el esquema de comunicación establecido por el sistema. Además, el ESP-01 es responsable de transmitir las lecturas hacia el servidor a través de Wi-Fi utilizando el protocolo MQTT, actuando como cliente publicador. En este esquema, cada nodo publica su información en un tópico definido, el cual funciona como un identificador único que permite distinguir el origen de los datos. Estos tópicos siguen una estructura

sencilla, por ejemplo: “nodo1”, “nodo2”, “nodo3”, etc., de modo que el servidor puede reconocer inmediatamente qué módulo nodo generó cada medición. Este mecanismo de identificación es fundamental para el funcionamiento de sistemas distribuidos, ya que facilita la organización, almacenamiento y análisis diferenciado de los datos climatológicos.

- Módulo de fuente de poder (Wangtong Electronics Co., Ltd. 2016): encargado de proporcionar los niveles de voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento estable de los componentes del módulo nodo. Este módulo convierte la tensión de la red doméstica (110–127 V AC) en una salida regulada de 5 V DC, utilizada para alimentar directamente al sensor DHT22, cuyo consumo es bajo y compatible con ese nivel de voltaje. A partir de esos mismos 5 V, se emplea un regulador adicional para generar 3.3 V DC, requeridos por el microcontrolador ESP-01, que puede demandar picos de corriente durante la operación Wi-Fi. De esta manera, la fuente de poder garantiza que tanto el sensor como el microcontrolador reciban una alimentación adecuada y estable, evitando interrupciones por variaciones de tensión o insuficiencia de corriente.

En conjunto, estos elementos permiten al nodo registrar y transmitir parámetros de temperatura y humedad de manera continua por ejemplo cada 5 segundos, contribuyendo a la cobertura distribuida del sistema mediante la integración de múltiples nodos dentro de cada grupo operativo.

Este diseño modular y distribuido permite que el sistema sea escalable (agregar nuevos nodos sin modificar la arquitectura), robusto (si un nodo falla, el sistema puede seguir operando) y eficiente (procesamiento distribuido entre nodos y servidor).



Problema propuesto y resultados

El propósito de esta sección es presentar las pruebas realizadas al sistema desarrollado con el fin de verificar su correcto funcionamiento, evaluar la comunicación entre los módulos y comprobar la precisión de los datos adquiridos. Las pruebas se realizaron tanto en un entorno controlado de laboratorio como en condiciones reales de operación.

Para evaluar el desempeño del sistema, se implementó un grupo de prueba conformado por un módulo servidor (ESP8266; ver Fig. 4), y dos nodos de adquisición (ESP-01 con sensor DHT22), ver figura 5. Cada nodo fue configurado para transmitir lecturas de temperatura y humedad cada segundo hacia el servidor mediante una conexión Wi-Fi local. El servidor almacenó los datos en una tarjeta SD (ver Figura 6), junto con la marca de

tiempo generada por el módulo DS1302.

Las pruebas se llevaron a cabo en un laboratorio con temperatura ambiente comprendida entre 33 y 35 °C y humedad relativa entre 57 y 60 %. Los nodos fueron ubicados a una distancia aproximada de 10 m del servidor, manteniendo línea de vista directa entre los dispositivos para evaluar la estabilidad de la comunicación inalámbrica. El periodo de evaluación fue de 60 min continuos.

Para validar las mediciones de temperatura y humedad obtenidas por los sensores DHT22, se utilizó un termohigrómetro digital comercial como instrumento de referencia. Durante la prueba, el termohigrómetro se colocó junto a los nodos de adquisición para garantizar que todos los dispositivos estuvieran expuestos a las mismas condiciones ambientales. Las lecturas

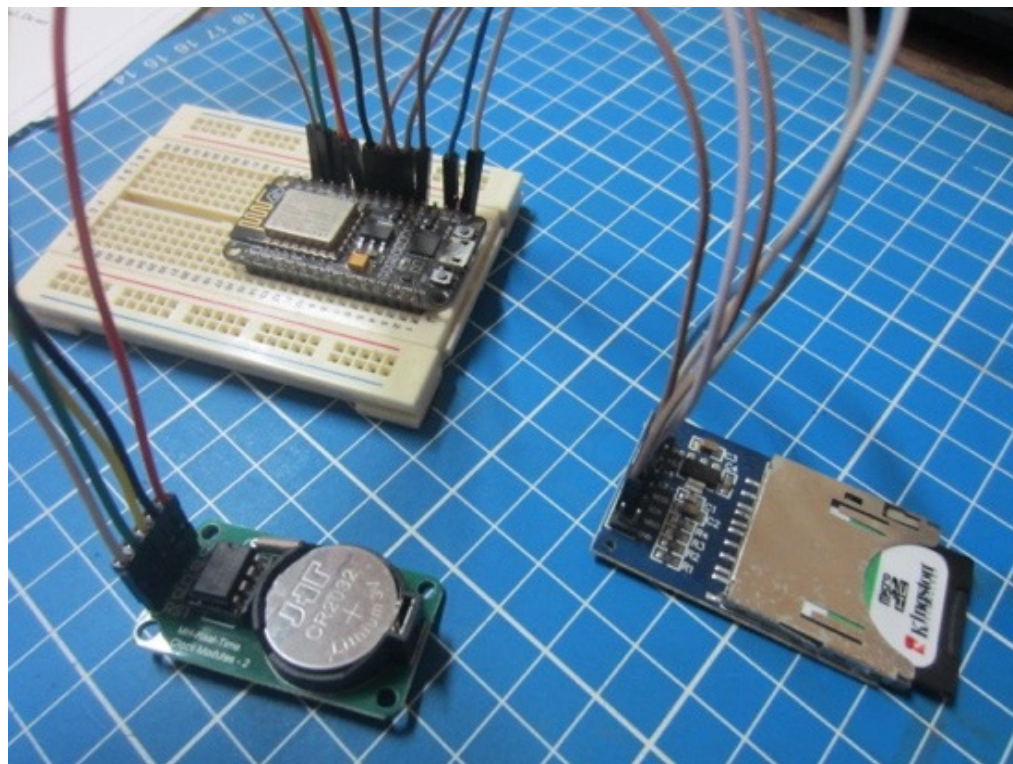


Figura 4. Implementación física del módulo servidor. Se observan el microcontrolador ESP8266, el módulo de almacenamiento microSD y el módulo RTC DS1302 interconectados sobre una tarjeta de pruebas. Esta configuración permite la recepción de datos provenientes de los nodos de adquisición, su almacenamiento local y la sincronización temporal de los registros.

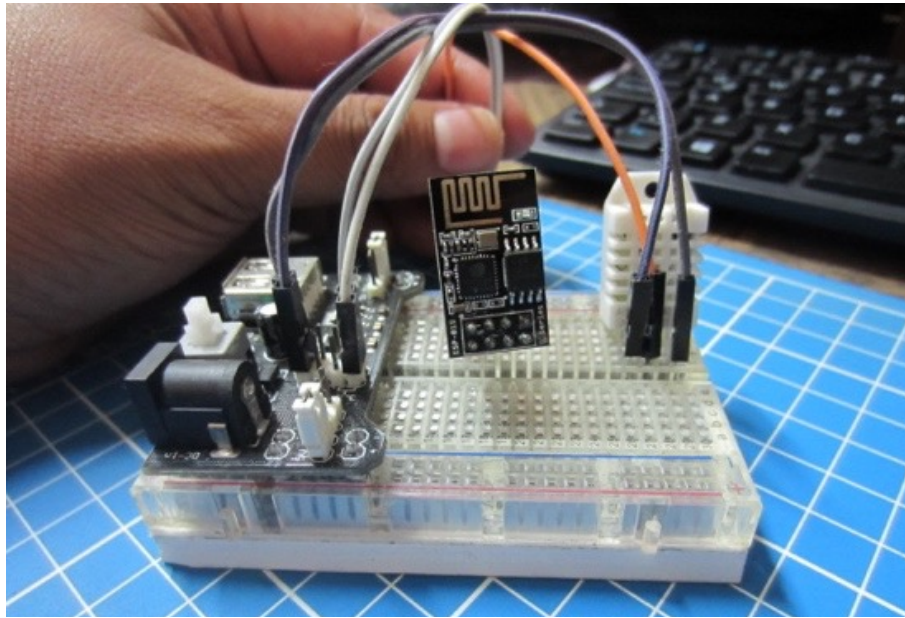


Figura 5. Implementación física del módulo nodo de adquisición. El nodo está conformado por un microcontrolador ESP-01 basado en ESP8266, un sensor DHT22 para la medición de temperatura y humedad relativa, y el circuito de alimentación correspondiente. Este módulo realiza la adquisición de las variables ambientales y transmite las mediciones al servidor mediante una conexión inalámbrica Wi-Fi.

```

527 05/05/2022 13:58:14 | sisth/_temp | Temperatura: 33.90 C Humedad: 57.60 %H$
528 05/05/2022 13:59:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.70 %H$
529 05/05/2022 14:00:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.70 %H$
530 05/05/2022 14:01:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.70 %H$
531 05/05/2022 14:02:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.60 %H$
532 05/05/2022 14:03:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.60 %H$
533 05/05/2022 14:04:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.60 %H$
534 05/05/2022 14:05:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.60 %H$
535 05/05/2022 14:06:14 | sisth/_temp | Temperatura: 34.00 C Humedad: 57.60 %H$

```

Figura 6. Ejemplo del formato de almacenamiento generado por el sistema, incluyendo fecha, hora, identificador del nodo, temperatura y humedad relativa.

registradas por los sensores DHT22 se compararon periódicamente con los valores reportados por el instrumento de referencia, calculando la diferencia entre ambas mediciones para estimar la precisión del sistema.

Durante las pruebas se evaluaron los siguientes aspectos:

- Estabilidad de la comunicación inalámbrica.
- Integridad de los datos transmitidos.
- Precisión de las mediciones de los

sensores DHT22.

- Consumo eléctrico de los módulos.

Durante las pruebas, los nodos mantuvieron una comunicación estable con el servidor en un rango de 10 a 15 m, sin registrarse pérdidas de paquetes. Para validar las mediciones obtenidas por los sensores DHT22, las lecturas de temperatura y humedad se compararon con las registradas por un termohigrómetro digital de referencia, observándose resultados consistentes y dentro de los márgenes de precisión



especificados por el fabricante del sensor. Asimismo, el consumo promedio del sistema completo fue de 320 mA durante la transmisión activa y de 90 mA en modo inactivo.

Los resultados obtenidos durante las pruebas de campo del sistema. Se evaluaron las lecturas de temperatura y humedad de dos nodos de adquisición (N1 y N2) durante un periodo de 60 minutos, registrando los valores cada 10 minutos. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y en la figura 7.

La gráfica muestra la estabilidad de los sensores durante el periodo de prueba. Las temperaturas se mantuvieron entre 33.1 °C y 34.7 °C, mientras que la humedad relativa osciló entre 57.3 % y 59.6 %, demostrando un comportamiento consistente y sin pérdidas de comunicación.

Conclusiones

El sistema desarrollado demostró un funcionamiento estable y confiable durante las pruebas realizadas. La

Tabla I. Valores de temperatura (°C) y humedad relativa (%) registrados por los nodos N1 y N2 durante una prueba de monitoreo de 60 min.

Tiempo (min)	Nodo N1 T° (°C)	Nodo N1 Hum (%)	Nodo N2 T° (°C)	Nodo N2 Hum (%)
0	33.1	57.3	33.2	57.5
10	33.4	57.8	33.5	57.9
20	33.8	58.2	33.9	58.3
30	34.0	58.6	34.1	58.7
40	34.3	58.8	34.4	59.0
50	34.5	59.2	34.6	59.3
60	34.7	59.6	34.7	59.6

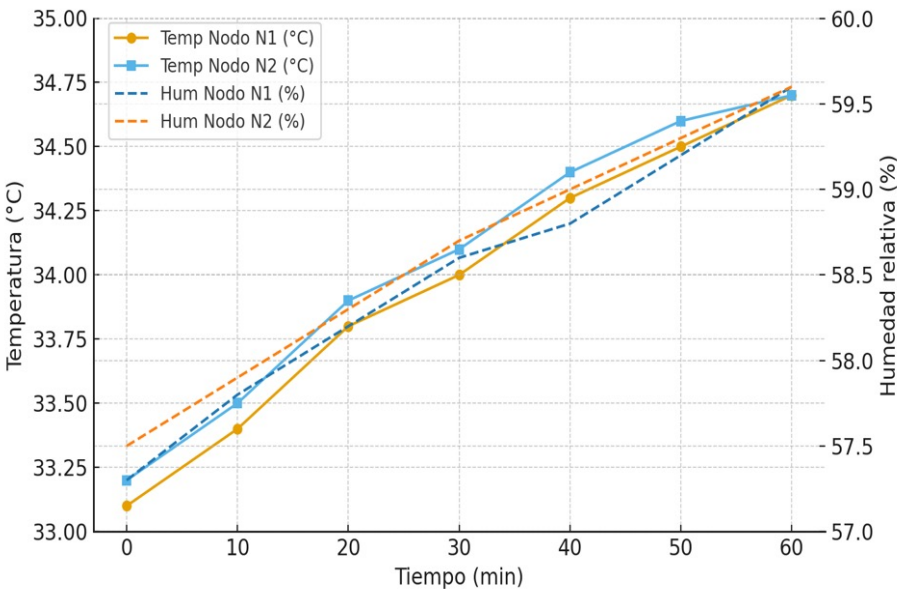


Figura 7. Comportamiento temporal de la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) registradas por los nodos N1 y N2 durante una prueba experimental de 60 min. Los datos fueron adquiridos por los sensores DHT22 y transmitidos al servidor mediante el protocolo MQTT para su almacenamiento y procesamiento.

arquitectura basada en módulos servidores y nodos de adquisición permitió una comunicación eficiente y sincronizada, garantizando la correcta transmisión y almacenamiento de los datos medidos. Asimismo, las mediciones obtenidas mediante los sensores DHT22 mostraron un comportamiento consistente durante el periodo de evaluación, lo que permitió verificar el correcto funcionamiento del sistema para la adquisición de datos de temperatura y humedad.

La estructura modular propuesta facilita la escalabilidad del sistema, permitiendo la agrupación de varios nodos bajo un mismo servidor y la coordinación de múltiples grupos operativos para ampliar la cobertura de monitoreo. Esta característica resulta de interés para aplicaciones de monitoreo ambiental, agricultura de precisión y control industrial.

No obstante, el sistema presenta algunas limitaciones que deberán considerarse en trabajos futuros. En su estado actual, depende de una red WLAN local generada por el servidor, por lo que su alcance está condicionado por la cobertura inalámbrica disponible. Además, las pruebas experimentales se realizaron utilizando un único grupo operativo compuesto por un servidor y dos nodos de adquisición durante un periodo limitado de operación, por lo que será necesario evaluar el desempeño del sistema con un mayor número de nodos y en escenarios de monitoreo más extensos. Asimismo, la implementación actual se centra exclusivamente en la adquisición de temperatura y humedad.

En términos generales, los resultados obtenidos permiten concluir que se alcanzó el objetivo planteado en este trabajo, consistente en diseñar e implementar un sistema IoT para la adquisición

automática de datos climatológicos basado en microcontroladores ESP8266. Las pruebas realizadas demostraron la capacidad del sistema para adquirir, transmitir y almacenar información de temperatura y humedad mediante una arquitectura distribuida de bajo costo y sin dependencia de infraestructura externa para el almacenamiento de los datos.

Como trabajo futuro, se propone incorporar mecanismos de almacenamiento local en los nodos, así como una interfaz de visualización avanzada que permita realizar análisis históricos, generar reportes automáticos y emitir alertas ante condiciones críticas. Asimismo, se plantea ampliar la cantidad y variedad de sensores integrados en cada nodo, incorporando dispositivos para medir presión atmosférica, intensidad luminosa, calidad del aire, velocidad del viento y precipitación, con el fin de extender las capacidades de monitoreo del sistema y su utilidad en aplicaciones meteorológicas más completas.

Agradecimientos

A un revisor anónimo quién proporcionó comentarios valiosos que ayudaron a enriquecer el presente trabajo.

Referencias

- Adafruit Industries. 2024.** DHT11 and DHT22 sensor datasheet. Disponible en: <https://learn.adafruit.com/dht>
- Ai-Thinker Technology Co., Ltd. 2015.** ESP-01 Wi-Fi Module Based on ESP8266EX. Disponible en: <https://www.ai-thinker.com/product/esp8266>
- Banzi, M., & M. Shiloh. 2014.** Getting started with Arduino (3rd ed.). Maker Media.
- Electronics, A. (n.d.).** DHT22 (AM2302) Digital Humidity and Temperature Sensor Datasheet. Disponible en: <https://www.aosong.com/>
- Espressif Systems. 2023.** ESP8266EX datasheet.



- Disponible en: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>
- Hunkeler, U., H. L. Truong & A. Stanford-Clark. 2008.** MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks. 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE'08), 791–798.
- Kumar, A. & R. Singh. 2020.** IoT-based weather monitoring system using ESP8266 and Blynk. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 1–6.
- LC Studio. 2012.** Micro SD Card Module for Arduino (SPI Interface). <https://components101.com/modules/micro-sd-card-module>
- Mahesh, D. S., S. M. S., & Anvekar, D. K. 2014.** A Cloud Computing Architecture with Wireless Sensor Networks for Agricultural Applications. *International Journal of Computer Networks and Communications Security* 1(2013): 34–38.
[https://doi.org/10.47277/ijcnscs/2\(1\)6](https://doi.org/10.47277/ijcnscs/2(1)6)
- Maxim Integrated. 2015.** DS1302: Trickle-Charge Timekeeping Chip. Disponible en: <https://www.analog.com/en/products/ds1302.html>
- Naik, N. 2017.** Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. 2017 *IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*: 1–7.
- OASIS. 2019.** MQTT Version 5.0. Disponible en: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>
- Organización Meteorológica Mundial. 2021.** Organización Meteorológica Mundial. Disponible en: <https://library.wmo.int/>
- Paputungan, I. V., A. Al Faruq, F. Puspasari, F. Al Hakim, I. Fahrurrozi, U. Y. Oktiawati, & I. Mutakhiroh. 2020.** Temperature and Humidity Monitoring System in Broiler Poultry Farm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 803(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/803/1/012010>
- Sethi, P. & S. Sarangi. 2017.** Internet of Things: Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering* 017: 1–25. <http://doi.org/10.1155/2017/9324035>
- Texas Instruments. 2019.** HDC1080 low power, high accuracy digital humidity sensor with temperature sensor. Disponible en: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc1080.pdf>
- Wangtong Electronics Co., Ltd. 2016.** LM2596 DC-DC Adjustable Power Supply Module Datasheet. Disponible en: <https://components101.com/modules/lm2596-dc-dc-buck-converter-module>
- Valada, A., Kohanbash, D. & G. A. Kantor. 2010.** Design and Development of a Wireless Sensor Network System for Precision Agriculture. Technical Report CMU-RI-TR-10-21. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- Zafar, S., G. Miraj, R. Baloch, D. Murtaza, & K. Arshad. 2018.** Environmental Monitoring System Using IoT and Environmental Monitoring System Using IoT and Cloud Service at Real-Time. *Engineering, Technology & Applied Science Research* 8(4): 3238–3242.