



Plataformas de comunicación y gestión de energía en sistemas rurales con IoT

Communication and Energy Management Platforms in Rural Systems with IoT

Autores

Concepción Elizabeth Carreño Chávez¹

<https://orcid.org/0009-0008-6850-1916>

Maria Magdalena Moreira Loor¹

<https://orcid.org/0009-0005-6098-3787>

Rogger José Andrade Cedeño^{1*}

<https://orcid.org/0000-0002-5280-4575>

¹ Carrera de Computación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.

* Autor para correspondencia.

rjandrade@espam.edu.ec

Citacion sugerida: Carreño, C., Moreira, M., & Andrade, R. (2025). Plataformas de comunicación y gestión de energía en sistemas rurales con IoT. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT*, 10(2), pp. 30-44 <https://doi.org/10.33936/riemat.v10i2.7779>

Recibido: 10/08/2025

Aceptado: 28/08/2025

Publicado: 29/09/2025

Resumen

El acceso confiable y continuo a la energía eléctrica en zonas rurales sigue siendo un desafío en América Latina, debido al aislamiento geográfico, la infraestructura limitada y los elevados costos de implementación. Ante esta realidad, la adopción de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) representa una alternativa viable para optimizar la supervisión, gestión y eficiencia de sistemas energéticos descentralizados. Este artículo presenta un análisis comparativo de protocolos de comunicación IoT de bajo consumo y plataformas en la nube enfocadas en el monitoreo y control de energía en entornos rurales. Se empleó una metodología documental y descriptiva-comparativa, considerando criterios como rendimiento técnico, escalabilidad, consumo energético, viabilidad de implementación y adaptabilidad al contexto. Los resultados destacan la eficacia de tecnologías como LoRaWAN y MQTT, y de plataformas como ThingsBoard y Ubidots, por su robustez y bajo requerimiento de recursos. Además, se desarrolló una emulación con microcontroladores ESP32 y sensores PZEM-004T, validando la factibilidad técnica de soluciones accesibles para monitoreo y control energético rural.

Palabras clave: Plataformas en la nube, protocolos de comunicación, monitoreo energético, MQTT, Ubidots

Abstract

Reliable and continuous access to electricity in rural areas remains a challenge in Latin America, due to geographic isolation, limited infrastructure, and high implementation costs. In response to this reality, the adoption of Internet of Things (IoT)-based technologies represents a viable alternative to optimize the monitoring, management, and efficiency of decentralized energy systems. This article presents a comparative analysis of low-power IoT communication protocols and cloud platforms focused on energy monitoring and control in rural environments. A documentary and descriptive-comparative methodology was employed, considering criteria such as technical performance, scalability, energy consumption, implementation feasibility, and adaptability to the rural context. The results highlight the effectiveness of technologies such as LoRaWAN and MQTT, as well as platforms like ThingsBoard and Ubidots, for their robustness and low resource requirements. Additionally, an emulation was developed using ESP32 microcontrollers and PZEM-004T sensors, validating the technical feasibility of accessible solutions for rural energy monitoring and control.

Keywords: cloud platforms, communication protocols, energy monitoring, MQTT, Ubidots





1. Introducción

El acceso confiable y sostenible a la energía eléctrica en comunidades rurales continúa siendo un desafío estructural en muchos países de América Latina (Alegre-Bravo & Lindsay Anderson, 2023). Aunque han proliferado las soluciones basadas en energías renovables —como los sistemas solares fotovoltaicos autónomos—, estas implementaciones suelen carecer de mecanismos eficientes de monitoreo y control, lo que limita su funcionalidad, reduce su vida útil y dificulta su mantenimiento técnico (Bouali et al., 2022). Esta situación genera una oportunidad relevante para la aplicación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), que permiten habilitar plataformas de supervisión y gestión remota adaptadas a entornos con limitaciones de infraestructura (Hossein Motlagh et al., 2020).

En este contexto, la integración del Internet de las Cosas (IoT) surge como una estrategia clave lo que permite habilitar plataformas de supervisión y gestión remota que pueden operar en entornos con limitaciones de infraestructura de telecomunicaciones y energía (Malik et al., 2022). Estas soluciones posibilitan la recopilación continua de datos operativos, el envío de alertas preventivas y la toma de decisiones basada en análisis en tiempo real, lo que mejora significativamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante fallos (Mohd Aman et al., 2021). Además, el uso de tecnologías IoT puede facilitar modelos de mantenimiento predictivo y esquemas participativos de gestión comunitaria, fortaleciendo así la sostenibilidad social y técnica de los proyectos energéticos rurales (Yousuf et al., 2024).

Faria et al. (2022) destacan el rol de los módulos IoT en la gestión de comunidades energéticas, evidenciando cómo protocolos de bajo consumo optimizan el intercambio de datos en entornos descentralizados; en la misma línea, Barragán-Charry et al. (2022) demuestran que la integración de sistemas IoT para monitoreo eléctrico no solo mejora la eficiencia energética, sino que también habilitan funciones de control automático adaptadas a la realidad de las infraestructuras rurales. Estas capacidades son potenciadas por arquitecturas edge-cloud colaborativas, como las propuestas por Yuan et al. (2023), que equilibran el procesamiento local y remoto para reducir latencia y consumo energético en servicios IoT distribuidos.

Desde una perspectiva científica, el trabajo se apoya en un conjunto de estudios recientes que destacan el potencial de la tecnología IoT para entornos rurales. Por ejemplo, investigaciones como las de Shaik et al. (2020) han demostrado que protocolos como LoRaWAN permiten mantener comunicaciones estables y de largo alcance con un consumo energético mínimo. Asimismo, plataformas como ThingsBoard (Nizam et al., 2024), Blynk (Othman & Zakaria, 2020) o AWS IoT (Marino et al., 2022) han sido utilizadas en proyectos piloto para la visualización y el control remoto de variables energéticas, evidenciando su aplicabilidad y escalabilidad.

Pese a la creciente disponibilidad de plataformas en la nube y protocolos de comunicación IoT de bajo consumo, persiste una ausencia de marcos comparativos sistemáticos que permitan orientar a desarrolladores, técnicos o comunidades rurales en la selección adecuada de tecnologías para sistemas de gestión energética.

El objetivo de este estudio es analizar y comparar los principales protocolos de comunicación IoT de bajo consumo y las plataformas en la nube disponibles para la gestión de datos energéticos, con el fin de establecer un marco de referencia técnico aplicable a sistemas energéticos rurales.

Se plantea que los protocolos IoT de bajo consumo y las plataformas en la nube especializadas en IoT ofrecen características técnicas adecuadas para sustentar el desarrollo de soluciones de monitoreo y gestión energética remota en entornos rurales con infraestructura limitada.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, con modalidad documental y un nivel descriptivo-comparativo, orientado a la revisión y análisis técnico de tecnologías emergentes aplicadas al monitoreo

y gestión de energía en zonas rurales mediante el uso de IoT (Colmenares-Quintero et al., 2024). No se contempla la implementación práctica ni la validación experimental en campo, dado que el objetivo es establecer un marco de referencia teórico-técnico sobre protocolos de comunicación y plataformas en la nube aplicables en contextos rurales.

2.1. Revisión de protocolos de comunicación IoT

Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y documentos técnicos relevantes sobre protocolos de comunicación IoT de bajo consumo energético. Esta revisión incluye la selección de estudios y publicaciones actualizadas que abordan tanto los fundamentos teóricos como las implementaciones prácticas de dichos protocolos en entornos rurales, considerando aspectos como eficiencia energética, cobertura, escalabilidad, robustez y facilidad de implementación en zonas rurales.

2.2. Métodos teóricos

2.2.1. Revisión documental

El estudio se fundamentó en una revisión documental sistemática, centrada en fuentes secundarias especializadas en tecnologías emergentes aplicadas al monitoreo y gestión energética en zonas rurales mediante IoT; la recolección de información se realizó a través de bases de datos científicas reconocidas como IEEE Xplore, ScienceDirect y MDPI, priorizando artículos indexados, publicaciones de revisión, manuales técnicos, normativas internacionales y documentación oficial de fabricantes. Esta revisión permitió identificar y organizar información relevante sobre protocolos de comunicación IoT, así como plataformas en la nube orientadas a soluciones rurales.

2.2.2 Criterios de análisis comparativo

Los criterios técnicos para la caracterización y comparación de los protocolos IoT y de las plataformas en la nube fueron definidos a partir de una revisión crítica de bibliografía científica y técnica. Los criterios seleccionados justifican su relevancia para aplicaciones en entornos rurales y contemplan dimensiones como: rendimiento técnico, viabilidad de implementación, escalabilidad, sostenibilidad energética, usabilidad y adaptabilidad al contexto local. Es importante señalar que la pertinencia de cada criterio depende de la naturaleza del protocolo o plataforma analizada, ya que no todos los protocolos operan en el mismo nivel de la arquitectura IoT ni cumplen funciones equivalentes. Por ello, los criterios fueron aplicados de manera diferenciada según se tratara de protocolos de comunicación embebida, industriales, de red o de aplicación, así como en función del enfoque de cada plataforma, garantizando una evaluación contextual y técnicamente consistente.

2.2.3. Análisis y evaluación

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante una combinación de enfoques cualitativos y cuantitativos, se realizó una tabulación técnica de las características de cada protocolo y plataforma, seguida de una comparación detallada que permitió identificar sus ventajas, limitaciones y condiciones óptimas de uso en entornos rurales. Además, se desarrolló una propuesta de arquitectura conceptual IoT adecuada para estos contextos, tomando como referencia las tecnologías evaluadas. Esta arquitectura fue respaldada por la triangulación bibliográfica y el contraste con estudios de caso documentados previamente en la literatura científica.

3. Resultados y Discusión

La caracterización de protocolos de comunicación y plataformas IoT, en el contexto de sistemas energéticos rurales, permitió identificar soluciones adaptadas a condiciones específicas de infraestructura, consumo energético y topologías de red típicas en zonas remotas. Los resultados se presentan organizados en cinco componentes: protocolos embebidos o de bajo nivel, protocolos industriales o de automatización, protocolos inalámbricos para redes IoT, protocolos IoT de capa de aplicación y plataformas de IoT en la nube.

3.1. Protocolos de comunicación embebida

Los protocolos de comunicación embebida son fundamentales para el funcionamiento interno de los dispositivos IoT, permitiendo la interacción entre microcontroladores, sensores, actuadores y periféricos.

Estos protocolos operan principalmente en las capas física y de enlace del modelo OSI, y están optimizados para comunicaciones de corto alcance, alta eficiencia y bajo consumo energético (Chen y Huang 2023). A diferencia de los protocolos industriales o de red IoT, no requieren infraestructura de telecomunicaciones externa y son esenciales para la adquisición local de datos en sistemas distribuidos. En la Tabla 1 se presenta una comparación entre los más utilizados: I2C (Inter-Integrated Circuit), SPI (Serial Peripheral Interface) y UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

Tabla 1

Protocolos de comunicación embebida.

Protocolo	Tipo	Topología	Velocidad típica	Consumo energético	Aplicación común
I2C	Sincrónico (bus)	Maestro–múltiples esclavos	Hasta 3.4 Mbps	Muy bajo	Sensores, memorias, pantallas
SPI	Sincrónico (serial)	Maestro–esclavo	Hasta 10+ Mbps	Bajo-medio	ADC/DAC, tarjetas SD, pantallas TFT
UART	Asincrónico (serial)	Punto a punto	9.6 kbps – 1 Mbps	Bajo	Módulos de comunicación (GSM, LoRa)

I2C es un protocolo sincrónico de dos líneas que permite conectar múltiples dispositivos esclavos a un solo maestro, siendo comúnmente utilizado para sensores ambientales, memorias EEPROM o pantallas OLED (Mota et al., 2025). SPI, por su parte, ofrece mayor velocidad de transmisión y menor latencia a cambio de un mayor número de líneas, lo que lo hace ideal para periféricos que requieren altas tasas de datos, como convertidores A/D, tarjetas SD o pantallas gráficas (Liao et al., 2025). UART, en cambio, es un protocolo asincrónico y punto a punto, ampliamente empleado en módulos de comunicación (GSM, GPS, LoRa) y depuración en sistemas embebidos (Gupta y Charan, 2024).

En contextos rurales, estos protocolos son especialmente útiles para construir nodos IoT autónomos y modulares, donde la eficiencia energética y la simplicidad del hardware son prioritarias. Además, permiten integrar sensores de bajo costo y microcontroladores de arquitectura abierta (como ESP32 o STM32), facilitando el desarrollo de soluciones personalizadas adaptadas al entorno local.

3.2. Protocolos industriales para automatización.

Los protocolos de comunicación industrial han sido la columna vertebral de la automatización durante décadas. Su madurez, robustez y compatibilidad con equipos electrónicos de potencia —como inversores solares, generadores eléctricos, sistemas de almacenamiento con baterías y dispositivos de protección— los convierten en elementos clave para la gestión energética eficiente (Vaidya et al., 2017), incluso en entornos donde la conectividad IoT se está incorporando recientemente. En las actividades agrícolas de las zonas rurales, estos protocolos son utilizados en diferentes sistemas, por ejemplo, variadores de velocidad para bombas de sistemas de riego (Lakshmi et al., 2023; Andrade y Pérez, 2021), tractores inteligentes y robots agrícolas (Oksanen et al., 2016), sistemas de control de invernaderos (Cheng et al., 2024), instrumentos y sensores empleados en la agricultura de precisión (Sánchez et al., 2023). En la Tabla 2 se comparan siete protocolos industriales de campo ampliamente utilizados.

Tabla 2*Protocolos industriales para automatización.*

Protocolo	Tipo de medio	Latencia	Seguridad	Escalabilidad	Consumo energético	Fiabilidad	Aplicaciones típicas
CANopen	Bus CAN	Muy baja	Baja (sin cifrado nativo)	Moderada	Bajo	Alta (ACK + CRC)	Supervisión de baterías, sistemas de carga, sensores distribuidos.
Modbus RTU	RS-485 (serial)	Baja	Nula (sin seguridad)	Baja	Muy bajo	Moderada (CRC)	Lectura de inversores, medidores de energía, sensores ambientales.
Modbus TCP	Ethernet	Media	Opcional (TLS/IPsec)	Alta	Medio	Alta (TCP)	Comunicación entre inversores y SCADA, gateways IoT a la nube.
PROFINET	Ethernet industrial	Muy baja	Alta (TSN, cifrado opcional)	Muy alta	Medio	Muy alta (QoS)	Automatización de plantas solares, integración de PLCs.
PROFIBUS	RS-485 (bus serial)	Baja	Nula (sin cifrado)	Moderada	Bajo	Alta (CRC)	Integración con sensores y actuadores en microrredes industriales.
DeviceNet	Basado en CAN	Baja	Baja (sin cifrado)	Moderada	Medio	Alta (ACK + CRC)	Comunicación con controladores de carga, sensores industriales.
EtherNet/IP	Ethernet industrial	Media-baja	Opcional (CIP Security)	Alta	Alto	Muy alta (CIP + TCP/IP)	Integración con controladores energéticos avanzados, sistemas híbridos.

Se destaca CANopen por su fiabilidad y baja latencia en buses de control de batería o sensores distribuidos, con un consumo energético reducido y mecanismos robustos de verificación como ACK y CRC (Zich y Jandik, 2020). Modbus RTU sobresale por su simplicidad, bajo consumo y amplia adopción en sistemas solares y medidores de energía, aunque carece de mecanismos nativos de seguridad y escalabilidad. Protocolos como PROFINET y EtherNet/IP, si bien ofrecen alta escalabilidad y rendimiento en redes industriales complejas, requieren mayor infraestructura y consumo, lo que limita su aplicabilidad en zonas rurales sin acceso confiable a energía o conectividad Ethernet (Shaikh et al., 2023). PROFIBUS y DeviceNet, aunque más antiguos, siguen siendo útiles en entornos industriales mixtos, especialmente en microrredes y automatización básica (Babel, 2022). Modbus TCP, al aprovechar infraestructura Ethernet y ofrecer compatibilidad con sistemas SCADA, representa una alternativa híbrida válida para gateways o nodos intermedios.

3.3. Protocolos de red inalámbrica para IoT

En el contexto rural, donde el acceso a energía es limitado y las condiciones de conectividad pueden ser variables, la elección del protocolo de red para la comunicación de dispositivos IoT debe priorizar el bajo consumo energético, el largo alcance y la capacidad de escalar a muchos nodos distribuidos (Al-Sarawi et al., 2017). Existen diversas tecnologías inalámbricas diseñadas específicamente para estas condiciones, agrupadas comúnmente bajo el término Low Power Wide Area Networks (LPWAN), así como otras tecnologías inalámbricas de corto y medio alcance. En la Tabla 3 resume los protocolos más relevantes para

la conectividad de sensores IoT en zonas rurales.

Tabla 3

Protocolos de red inalámbrica para IoT.

Protocolo	Topología	Alcance Típico	Latencia	Seguridad	Escala- bilidad	Consumo energético	Tasa de datos	Uso típico
LoRaWAN	Estrella	2–15 km (rural)	Alta	AES-128 (app/ network keys)	Alta	Muy bajo	0.3–50 kbps	Comunicación entre nodos y gateway IoT
Zigbee	Malla	10–100 m (nodo a nodo)	Baja	AES-128 (opcional)	Moderada	Bajo	20–250 kbps	Redes malladas de sensores IoT
NB-IoT	Celular	1–10 km	Media	LTE encryption (SIM-based)	Muy alta	Bajo	20–250 kbps	Comunicación directa a la nube
Sigfox	Estrella	Hasta 10–40 km	Muy alta	Opcional (AES-128)	Limitada	Muy bajo	100 bps	Monitoreo remoto de bajo ancho de banda
Wi-Fi HaLow (802.11ah)	WLAN	100 m–1 km	Baja	WPA3 (seguridad empresarial)	Alta	Medio	Hasta 18 Mbps	Conectividad local cuando hay router
BLE (Bluetooth Low Energy)	Estrella	10–100 m	Muy baja	AES-CCM (opcional)	Baja	Muy bajo	Hasta 2 Mbps	Configuración o comunicación local

LoRaWAN sobresale por su largo alcance (hasta 15 km en zonas abiertas), muy bajo consumo energético y buena escalabilidad, siendo ideal para monitoreo de variables ambientales, sistemas de riego o supervisión de baterías distribuidas. Sin embargo, presenta una alta latencia y una tasa de datos limitada, lo que lo hace menos adecuado para aplicaciones de control en tiempo real (Dimitrievski et al., 2021; Jabbar et al., 2024; Shaik et al., 2020). Zigbee, por su parte, es útil en configuraciones malladas locales, como redes de sensores dentro de un recinto comunitario o microinstalaciones energéticas. Aunque limitado en alcance, su baja latencia y eficiencia energética lo convierten en una solución viable para zonas con nodos densamente ubicados (Niu, 2023; Tang et al, 2023). NB-IoT, al operar sobre redes celulares, permite una conectividad directa a la nube, lo que simplifica la infraestructura local. Es especialmente útil en localidades con cobertura LTE rural, aunque su dependencia de operadores móviles puede ser una limitación económica o técnica (Niu, 2023). Sigfox ofrece un modelo extremo en eficiencia energética y cobertura, pero su bajísima tasa de datos y alta latencia lo relegan a aplicaciones de monitoreo esporádico, como alertas o lecturas de energía una vez por hora (Gomez et al., 2029; Levchenko et al., 2022). Wi-Fi HaLow (802.11ah) y BLE se posicionan como tecnologías complementarias, con alto rendimiento local pero menor alcance, adecuadas para instalaciones más centralizadas o en combinación con gateways LoRa/NB-IoT (Al-Shareeda et al., 2023; Tian et al. 2021).

3.4. Protocolos de aplicación para IoT.

Una vez recolectados los datos por sensores y nodos de campo, estos deben ser enviados de manera eficiente y segura a plataformas en la nube para su procesamiento, análisis o visualización. Los protocolos de aplicación permiten esta capa de comunicación entre el borde (edge) y la nube, y están optimizados para funcionar sobre redes IP, ofreciendo diferentes modelos de comunicación como cliente-servidor o publicación-suscripción. En la Tabla 4 se analizan los protocolos de capa de aplicación para la transmisión de datos a la nube o la comunicación entre dispositivos y servidores.

Tabla 4*Protocolos de aplicación para IoT.*

Protocolo	Tipo	Latencia	Seguridad	Escala- bilidad	Consumo energético	Uso típico	Ventajas
MQTT	Publicación / Suscripción	Muy baja	TLS, autenticación con usuario/ clave	Alta (ligero y eficiente)	Muy bajo	Comunicación con la nube IoT	Ligero, ideal para IoT, QoS, baja latencia
CoAP	Cliente / Servidor	Muy baja	DTLS (versión segura sobre UDP)	Alta (ligero, multicast)	Muy bajo	Comunicación con dispositivos IoT	Ligero, basado en UDP, ideal para dispositivos embebidos
HTTP/ HTTPS	Cliente / Servidor	Alta	TLS/SSL estándar	Media	Medio-alto	Envío de datos a servidores web	Universal, pero más pesado que MQTT/ CoAP
Web Sockets	Bidireccional (full-duplex)	Muy baja	TLS/SSL para canal seguro	Media-alta	Medio	Control remoto, dashboards	Comunicación persistente en tiempo real, útil para visualización en vivo

MQTT es la opción preferida por su baja latencia, alta eficiencia y simplicidad, soportando el modelo de publicación/suscripción que favorece arquitecturas escalables con baja sobrecarga de red (Amjad et al. 2021). Es ampliamente adoptado en plataformas como AWS IoT, ThingsBoard o Ubidots. CoAP, al estar basado en UDP, reduce la sobrecarga de transporte y es particularmente útil en dispositivos embebidos o redes con restricción de ancho de banda, como las basadas en LoRaWAN (Glaroudis et al., 2020). Su diseño RESTful lo hace compatible con arquitecturas modernas y su soporte de multicast lo convierte en una opción eficiente para comunicaciones locales. HTTP/HTTPS, aunque más pesado, sigue siendo relevante por su compatibilidad universal con servicios web y APIs REST. Es útil para el envío de datos desde gateways o sistemas más robustos a servidores web, aunque menos eficiente que MQTT o CoAP en redes con restricciones (Jaloudi, 2019). Finalmente, WebSockets permiten comunicación bidireccional persistente en tiempo real, lo cual es útil para tableros de visualización, control remoto o monitoreo interactivo, aunque requiere mayor estabilidad en la red y una pila más compleja (Sharma y Agarwal, 2023).

3.5. Plataformas de gestión y análisis IoT.

La selección de una plataforma de Internet de las cosas (IoT) adecuada constituye un factor determinante para garantizar la eficiencia operativa, la viabilidad técnica y la escalabilidad en función de los objetivos del proyecto. Diversos estudios han abordado comparativamente las soluciones existentes, considerando parámetros técnicos, consumo energético y facilidad de implementación. La Tabla 5 sintetiza las características clave de cinco plataformas representativas —AWS IoT, Google Cloud IoT, ThingsBoard, Ubidots y Blynk— en función de seis criterios: rendimiento técnico, viabilidad de implementación, escalabilidad, sostenibilidad energética, usabilidad y adaptabilidad rural.

Blynk se presenta como una solución accesible y amigable para usuarios principiantes; su bajo requerimiento técnico facilita la adopción en entornos rurales y educativos (Pereira y Chaari, 2023). Sin embargo, su limitada escalabilidad reduce su utilidad en proyectos de mayor envergadura o con múltiples dispositivos concurrentes; su rendimiento es aceptable para prototipos, aunque se encuentra por debajo de plataformas empresariales.



Tabla 5

Comparación de plataformas de gestión y análisis IoT.

Plataforma	Rendimiento Técnico	Viabilidad de Implementación	Escalabilidad	Sostenibilidad Energética	Usabilidad y Adaptabilidad Rural
AWS IoT	Alto rendimiento, baja latencia, alta disponibilidad	Integración robusta	Muy alta	Optimización en centros de datos, pero alto consumo global	Compleja para usuarios sin experiencia, requiere buena conectividad
Google Cloud IoT	Excelente rendimiento y utilidad	APIs modernas, integración sencilla	Muy alta	Centros de datos eficientes, retos ambientales similares a AWS	Menos accesible en zonas con baja conectividad
ThingsBoard	Buen rendimiento y estabilidad bajo carga	Fácil de implementar, open source, bajo costo	Alta	Permite control local, potencial para eficiencia energética	Accesible, requiere soporte técnico básico
Ubidots	Adecuado para proyectos pequeños/medianos	Muy fácil de implementar	Limitada para grandes despliegues	Bajo consumo en proyectos pequeños	Muy amigable para usuario educativos
Blynk	Rendimiento aceptable para prototipos y soluciones básicas	Muy fácil de implementar	Baja	Común en dispositivos de bajo consumo	Muy accesible, ideal en proyectos educativos y de bajo requerimiento técnico

AWS IoT y Google Cloud IoT sobresalen por su alto rendimiento técnico, baja latencia y capacidad de escalamiento; AWS IoT ofrece una arquitectura robusta, ideal para entornos con alta demanda de procesamiento de datos, Google Cloud IoT destaca por su facilidad de integración mediante APIs modernas, así como por su utilidad en despliegues multiterritoriales. (Pierleoni et al., 2020; Calderoni et al., 2022). No obstante, ambas plataformas requieren conocimiento técnico especializado, lo que puede limitar su implementación en zonas rurales sin apoyo externo.

ThingsBoard combina rendimiento estable con facilidad de implementación, especialmente en entornos con soporte técnico básico; su carácter de código abierto y bajo costo la convierten en una alternativa viable para comunidades rurales y educativas (Ballamudi, 2025). Presenta buena escalabilidad en entornos controlados, aunque su complejidad puede aumentar en configuraciones avanzadas. Ubidots se caracteriza por su enfoque pedagógico, lo que la vuelve atractiva para aplicaciones académicas y prototipos; su interfaz intuitiva y rápida curva de aprendizaje refuerzan su idoneidad en programas formativos (Qaisar et al., 2023; Astudillo y Ponce, 2024). Aunque su rendimiento técnico es medio, ofrece un balance aceptable entre facilidad de uso y funcionalidad para proyectos medianos.

La selección de una plataforma depende del contexto de implementación. Mientras AWS IoT y Google Cloud IoT lideran en rendimiento y escalabilidad, Blynk y Ubidots ofrecen soluciones simplificadas para escenarios rurales y educativos. ThingsBoard se posiciona como una opción intermedia, combinando robustez técnica con adaptabilidad en entornos de recursos limitados.

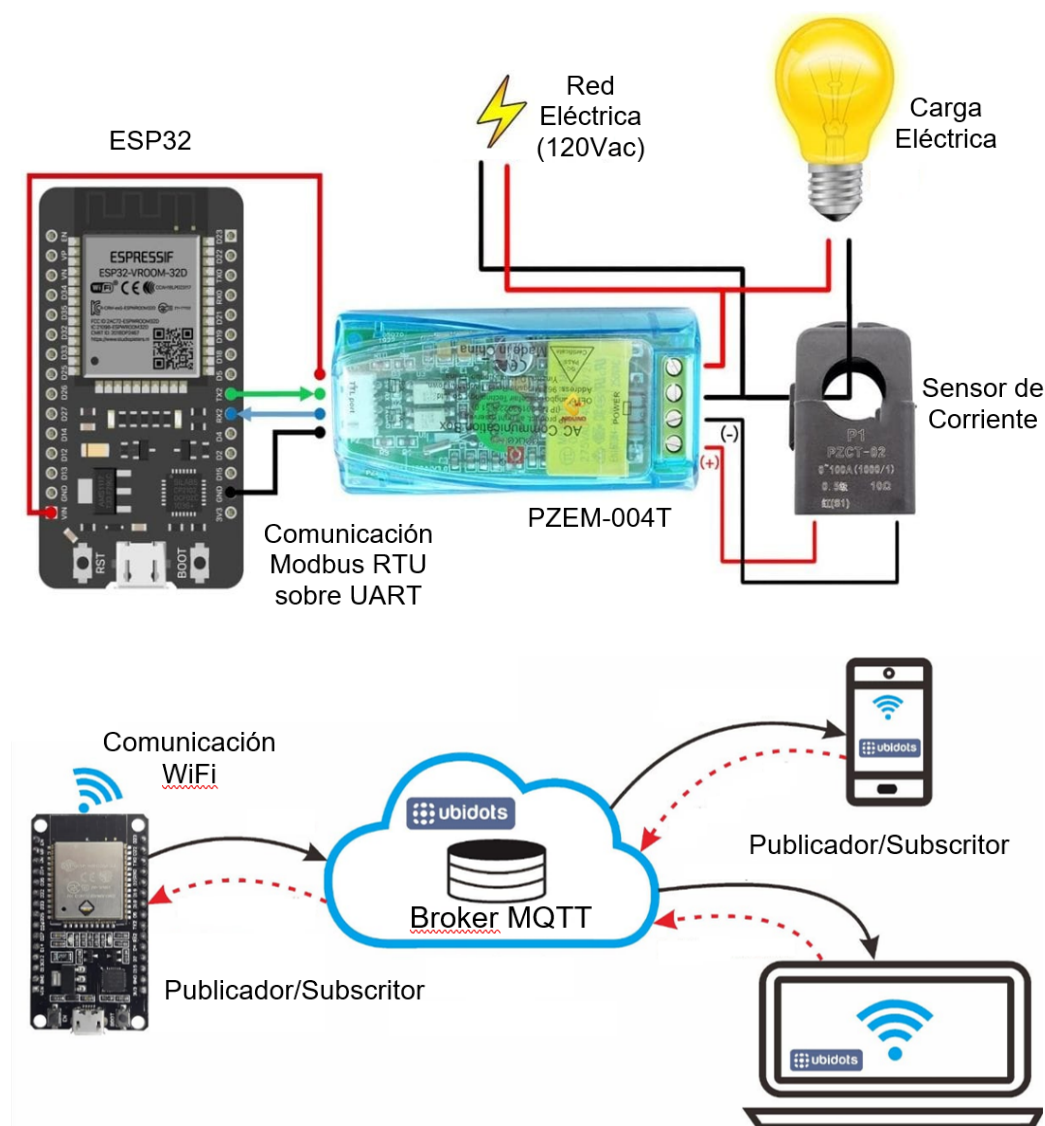
3.6. Emulación de sistema IoT para monitoreo de energía

Como parte del estudio se desarrolló una emulación funcional de un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos basado en IoT, adaptado a contextos rurales. Esta emulación permite validar la interoperabilidad entre sensores, microcontroladores y plataformas de visualización en la nube, utilizando una arquitectura de hardware y software de bajo costo.

En la Figura 1 se presenta el diagrama esquemático de la arquitectura IoT utilizada. Se observa una red eléctrica de 120 Vac que alimenta una carga eléctrica, la cual es monitorizada mediante un sensor de corriente. Este sensor se conecta al módulo de medición de parámetros eléctricos PZEM-004T, permitiendo medir seis variables: voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia y energía. El módulo PZEM-004T transmite los datos utilizando el protocolo Modbus RTU a través de UART hacia una placa de desarrollo ESP32. Luego, el microcontrolador de ESP32 comunica los datos vía WiFi a un broker MQTT, estableciendo un modelo de comunicación de tipo publicación/suscripción, lo cual habilita la conectividad hacia plataformas en la nube como Ubidots.

Figura 1

Arquitectura del sistema IoT para monitoreo de parámetros eléctricos.



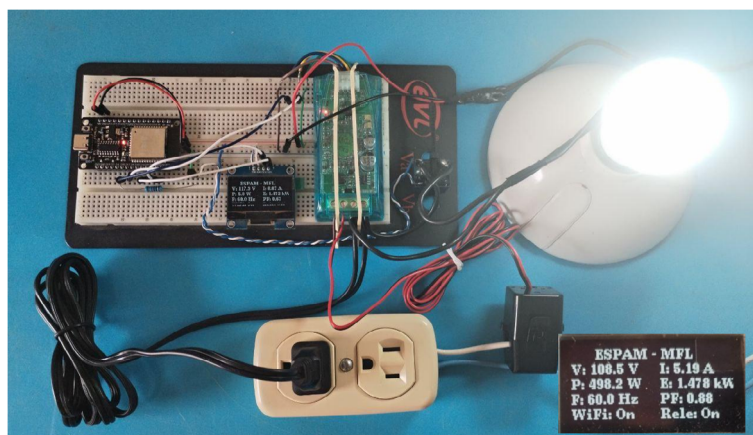
En la Figura 2 se presenta el prototipo de monitoreo de parámetros eléctricos con IoT.

Se muestra la implementación física, donde se observa el módulo PZEM-004T, la placa de desarrollo ESP32, sensor de corriente, conexión UART entre microcontroladores y la red eléctrica de alimentación de energía. También se instaló una pantalla OLED para despliegue de forma local las variables eléctricas. Aquí se empleó el protocolo embebido I2C, adecuado para comunicación entre microcontroladores y pantallas.

Para el control del encendido/apagado del bombillo, se empleó un transistor, cuya base se controla desde la salida digital D4 de ESP32. Desde el colector del transistor se controla la bobina de 5Vdc de un relé electromagnético, cuyo contacto mecánico conmuta 120Vac para la energización del bombillo. La señal de control del encendido/apagado del bombillo se genera remotamente desde la plataforma IoT Ubidots.

Figura 2

Prototipo de monitoreo de parámetros eléctricos con IoT.



Como plataforma IoT se utilizó Ubidots, que permite visualizar las variables eléctricas en tiempo real, desplegar la tendencia de las variables, controlar el encendido y apagado de cargas, generar eventos, alarmas y configurar notificaciones automáticas. En la Figura 3 se observa el dashboard en plataforma IoT Ubidots. El tablero permite a los usuarios rurales o técnicos visualizar tendencias, recibir notificaciones y acceder a un historial de datos, lo cual mejora la toma de decisiones operativas. Se probó el encendido y apagado del bombillo, mediante el widget de control de Ubidots, comprobando el eficiente control en tiempo real.

Figura 3

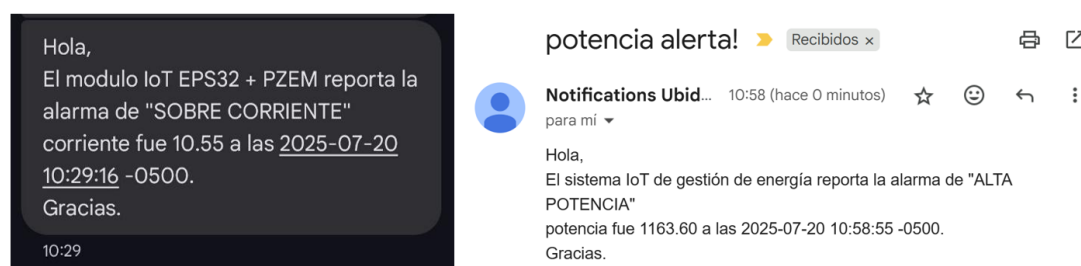
Dashboard en plataforma IoT Ubidots



La implementación también incluyó la generación de eventos y alertas. Se configuraron alertas de alto voltaje (mayor a 135V), bajo voltaje (menor a 100V), alta corriente (mayor a 10A) y alta potencia (mayor a 1000W). Estos eventos fueron notificados mediante mensajes SMS y correos electrónicos, tal como se aprecia en la Figura 4. Esto resulta especialmente útil en sistemas rurales sin supervisión permanente.

Figura 4

Notificaciones de alarmas mediante sms y e-mail.



El montaje emula las condiciones reales de un sistema rural, destacando la portabilidad, bajo consumo y simplicidad del diseño. Este prototipo sirve como base para futuras aplicaciones de campo o validaciones experimentales.

En base a los estudios revisados, se seleccionó el protocolo MQTT y la plataforma Ubidots para el desarrollo de la emulación debido a su idoneidad en entornos rurales caracterizados por limitaciones de conectividad y recursos. Diversos autores destacan que MQTT, por su modelo de publicación/suscripción, ofrece una comunicación ligera, de baja latencia y con mínimo consumo de ancho de banda, lo que lo convierte en el protocolo más eficiente para aplicaciones IoT en tiempo real (Amjad et al., 2021; Glaroudis et al., 2020); de forma complementaria, la elección de Ubidots se fundamenta en su facilidad de implementación, curva de aprendizaje reducida y adaptabilidad a proyectos educativos y comunitarios, características resaltadas en estudios comparativos de plataformas IoT (Qaisar et al., 2023; Astudillo & Ponce, 2024). Así, la integración de ambas tecnologías permitió contar con un prototipo funcional y accesible, capaz de validar la interoperabilidad entre microcontroladores y sistemas de gestión en la nube, aportando una solución viable y pedagógica para el monitoreo energético en sistemas rurales.

La caracterización detallada de protocolos de comunicación y plataformas IoT para sistemas energéticos rurales ha evidenciado la necesidad de soluciones tecnológicas adaptadas a condiciones de conectividad limitada, baja disponibilidad energética y topologías dispersas; en este contexto, los resultados obtenidos permiten establecer relaciones clave entre los niveles de comunicación embebida, industrial, inalámbrica, de aplicación y de gestión en la nube, aportando una visión integral para el diseño de soluciones IoT sostenibles en entornos rurales.

4. Conclusiones

El análisis comparativo, fundamentado en los criterios técnicos definidos —rendimiento técnico, viabilidad de implementación, escalabilidad, sostenibilidad energética, usabilidad y adaptabilidad al contexto local—, confirma que la integración de tecnologías IoT en sistemas energéticos rurales es una solución técnicamente viable para optimizar la eficiencia operativa, la supervisión remota y la sostenibilidad de infraestructuras energéticas descentralizadas. La evaluación de protocolos y plataformas permitió identificar alternativas específicas que responden a las limitaciones de conectividad, recursos técnicos y disponibilidad energética propias de las zonas rurales.

En el ámbito de la conectividad inalámbrica, LoRaWAN se posiciona como la opción más adecuada para



entornos rurales con baja o nula infraestructura de telecomunicaciones, debido a su largo alcance y bajo consumo energético; si bien NB-IoT ofrece alta escalabilidad y conexión directa a la nube, su dependencia de redes celulares puede limitar su factibilidad en áreas sin cobertura LTE o con restricciones de costo. A nivel de capa de aplicación, MQTT demostró la mayor eficiencia para la comunicación en tiempo real, gracias a su bajo consumo de ancho de banda y latencia reducida.

En cuanto a las plataformas de gestión, ThingsBoard se presenta como una solución robusta y adaptable para proyectos comunitarios o educativos que requieren control local y escalabilidad moderada; Ubidots, utilizada en la emulación desarrollada, destacó por su enfoque pedagógico y facilidad de uso, cualidades que la hacen idónea para prototipos y entornos formativos, aunque con limitaciones frente a plataformas empresariales más versátiles y de pago.

La emulación desarrollada con microcontroladores ESP32, sensores PZEM-004T y Ubidots validó la interoperabilidad de los componentes, el monitoreo en tiempo real y el control remoto de cargas a bajo costo. Aunque no se realizó una comparación experimental directa con sistemas de monitoreo convencionales, la literatura revisada y los resultados de la emulación confirman que estas soluciones pueden ofrecer funcionalidades equivalentes o superiores, con menores requerimientos de infraestructura y consumo energético.

Finalmente, este trabajo aporta un marco técnico de referencia que facilita a desarrolladores, técnicos comunitarios, instituciones educativas y tomadores de decisiones la selección de tecnologías IoT adecuadas para sistemas energéticos rurales; se recomienda que investigaciones futuras incluyan validaciones en campo y un análisis comparativo de impacto social y económico frente a soluciones convencionales, a fin de fortalecer la adopción de estas tecnologías en comunidades con recursos limitados.

5. Referencias

- Alegre-Bravo, A., & Lindsay Anderson, C. (2023). Exploring the influence of multidimensional variables on access to electricity in rural areas of the Global South. *Applied Energy*, 333, 120509. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120509>
- Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K. and Alzubaidi, M. "Internet of Things (IoT) communication protocols: Review," 2017 *8th International Conference on Information Technology (ICIT)*, Amman, Jordan, 2017, pp. 685-690, doi: 10.1109/ICITECH.2017.8079928
- Al-Shareeda, M. A., Saare, M. A., Manickam, S. and Karuppayah, S. (2023). Bluetooth low energy for internet of things: review, challenges, and open issues. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(2), 1182-1189. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i2.pp1182-1189>
- Amjad, A., Azam, F., Anwar, M. W. and Butt, W. H. "A Systematic Review on the Data Interoperability of Application Layer Protocols in Industrial IoT," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 96528-96545, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3094763
- Andrade-Cedeno, R.J., Perez-Rodriguez, J.A. (2021). Análisis del Control V/f con SVM en un Accionamiento de Velocidad Variable. *Dominios de la Ciencias*, 7 (6), 38–62. <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2314/5028>.
- Astudillo, G., & Ponce, V. (2024). Hybrid Platforms for IoT in the Classroom – A Competency Analysis and Performance Evaluation. 2024 *11th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 104-108. <https://doi.org/10.1109/FiCloud62933.2024.00024>.
- Babel, W. (2022). Fieldbuses, Communication Protocols, User Interfaces, Hardware ASICs. In: *Industry 4.0, China 2025, IoT. Springer, Wiesbaden*. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37852-3_5

- Ballamudi, S. (2025). Evaluating IoT Platforms: An Approach Using the COPRAS Method. *Journal of Data Science and Information Technology*. <https://doi.org/10.55124/jdit.v2i1.243>
- Barragán-Charry, J., Silva-Londoño, J. J., Garcés-Quintero, C. S., Jaramillo-Ramírez, O. C., Hoyos-Daza, F., & Bravo-Gómez, L. C. (2022). Sistema de Monitoreo de Señales Eléctricas y Control Automático para Eficiencia Energética con Integración IoT. *Producción + Limpia*, 17(2), 53–71. <https://doi.org/10.22507/pml.v17n2a4>
- Bouali, E.-T., Abid, M. R., Boufounas, E.-M., Hamed, T. A., & Benhaddou, D. (2022). Renewable Energy Integration Into Cloud & IoT-Based Smart Agriculture. *IEEE Access*, 10, 1175–1191. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138160>
- Calderoni, L., Maio, D., & Tullini, L. (2022). Benchmarking Cloud Providers on Serverless IoT Back-End Infrastructures. *IEEE Internet of Things Journal*, 9, 15255-15269. <https://doi.org/10.1109/jiot.2022.3147860>
- Colmenares-Quintero, R. F., Baquero-Almazo, M., Kasperczyk, D., Stansfield, K. E., & Colmenares-Quintero, J. C. (2024). Analysis of IoT technologies suitable for remote areas in Colombia: Conceptual design of an IoT system for monitoring and managing distributed energy systems. *Cleaner Engineering and Technology*, 21, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100783>
- Cheng, W. M., Chen, Y. J., Chen, T. C., Zhuang, X. Y., Chang, C. W., Chien, W. C., . . . Chen, R. (2024). Implementation of Mini-Greenhouse Based on Precision Agriculture. *2024 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, 1-3. <https://doi.org/10.1109/ISPACS62486.2024.10868011>
- Chen, J. and Huang, S. “Analysis and Comparison of UART, SPI and I2C,” *2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA), Changchun, China, 2023*, pp. 272-276, doi: 10.1109/EEBDA56825.2023.10090677
- Dimitrievski A, Filiposka S, Melero FJ, Zdravevski E, Lameski P, Pires IM, Garcia NM, Lousado JP, Trajkovik V. Rural Healthcare IoT Architecture Based on Low-Energy LoRa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(14):7660. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147660>
- Faria, J. P. D., Pombo, J. A. N., Calado, M. R. A., & Mariano, S. J. P. S. (2022). Development of an IoT communication module for energy sharing communities management and monitorization. *2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope54979.2022.9854688>
- Glaroudis, D., Iossifides, A., & Chatzimisios, P. (2020). Survey, comparison and research challenges of IoT application protocols for smart farming. *Computer Networks*, 168, 107037. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.107037>
- Gomez, C., Veras, J. C., Vidal, R., Casals, L., & Paradells, J. (2019). A Sigfox Energy Consumption Model. *Sensors*, 19(3), 681. <https://doi.org/10.3390/s19030681>
- Gupta, A. and Charan, C. “Analysis of Universal Asynchronous Receiver-Transmitter(UART),” *2024 2nd International Conference on Device Intelligence, Computing and Communication Technologies (DICCT), Dehradun, India, 2024*, pp. 194-198, doi: 10.1109/DICCT61038.2024.10532820
- Hosseini Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies*, 13(2), 494. <https://doi.org/10.3390/en13020494>
- Jabbar, W. A., Mei Ting, T., I. Hamidun, M. F., Che Kamarudin, A. H., Wu, W., Sultan, J., . . . Ali, M. A. H. (2024). Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas. *Expert Systems with Applications*, 242, 122862. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122862>
- Jaloudi, S. (2019). Communication Protocols of an Industrial Internet of Things Environment: A Comparative Study. *Future Internet*, 11(3), 66. <https://doi.org/10.3390/fi11030066>



- Lakshmi, K., Latha, H. K. E., & Venkateswarlu. (2023). Design and Development of Remote Monitoring Solar Powered Agricultural Motor Pump Using Modbus and MQTT IOT. *2023 International Conference on Ambient Intelligence, Knowledge Informatics and Industrial Electronics (AIKIE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/AIKIE60097.2023.10390222>
- Levchenko, P., Bankov, D., Khorov, E., & Lyakhov, A. (2022). Performance Comparison of NB-Fi, Sigfox, and LoRaWAN. *Sensors*, 22(24), 9633. <https://doi.org/10.3390/s22249633>
- Liao, C.-W., Yu, H.-C., & Liao, Y.-C. (2025). Verification of SPI Protocol Using Universal Verification Methodology for Modern IoT and Wearable Devices. *Electronics*, 14(5), 837. <https://doi.org/10.3390/electronics14050837>
- Malik, A., Haque, A., & Kurukuru, V. S. B. (2022). <scp>IoT-Based</scp> Monitoring and Management for Photovoltaic System. In *Fault Analysis and its Impact on Grid-connected Photovoltaic Systems Performance* (pp. 291–318). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119873785.ch9>
- Marino, C. A., Chinelato, F., & Marufuzzaman, M. (2022). AWS IoT analytics platform for microgrid operation management. *Computers & Industrial Engineering*, 170, 108331. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108331>
- Mohd Aman, A. H., Shaari, N., & Ibrahim, R. (2021). Internet of things energy system: Smart applications, technology advancement, and open issues. *International Journal of Energy Research*, 45(6), 8389–8419. <https://doi.org/10.1002/er.6451>
- Mota, A., Serôdio, C., Briga-Sá, A., & Valente, A. (2025). Implementation of an Internet of Things Architecture to Monitor Indoor Air Quality: A Case Study During Sleep Periods. *Sensors*, 25(6), 1683. <https://doi.org/10.3390/s25061683>
- Nizam, M. S. M., Abdullah, E., Hidayat, N. M., Hashim, N. M. Z., & Hassan, M. A. A. (2024). Real-Time Energy Monitoring in Renewable EV Charging Stations: An ESP32-Based System Integrating Modbus, MQTT, and ESP-NOW Protocols. *2024 IEEE 22nd Student Conference on Research and Development (SCoReD)*, 339–344. <https://doi.org/10.1109/SCoReD64708.2024.10872647>
- Niu, L. “Design of intelligent agricultural environmental big data collection system based on ZigBee and NB-IoT,” *2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)*, Changchun, China, 2023, pp. 1299-1304, doi: 10.1109/EEBDA56825.2023.10090649
- Oksanen, T., Linkolehto, R., & Seilonen, I. (2016). Adapting an industrial automation protocol to remote monitoring of mobile agricultural machinery: a combine harvester with IoT. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 127-131. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.024>
- Othman, A., & Zakaria, N. H. (2020). Energy Meter based Wireless Monitoring System using Blynk Application via smartphone. *2020 IEEE 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAET)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IICAET49801.2020.9257827>
- Pereira, G. P., & Chaari, M. Z. (2023). Comparison of Blynk IoT and ESP Rainmaker on ESP32 as Beginner-Friendly IoT Solutions. En *Lecture notes in computer science* (pp. 123-132). https://doi.org/10.1007/978-3-031-23582-5_9
- Pierleoni, P., Concetti, R., Belli, A., & Palma, L. (2020). Amazon, Google and Microsoft Solutions for IoT: Architectures and a Performance Comparison. *IEEE Access*, 8, 5455-5470. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961511>
- Qaisar, F., Shahab, H., Iqbal, M., Sargana, H., Aqeel, M., & Qayyum, M. (2023). Recent Trends in Cloud Computing and IoT Platforms for IT Management and Development: A Review. *Pakistan Journal of*

Engineering and Technology. <https://doi.org/10.51846/vol6iss1pp98-105>

- Sánchez Millán F, Ortiz FJ, Mestre Ortuño TC, Frutos A, Martínez V. Development of Smart Irrigation Equipment for Soilless Crops Based on the Current Most Representative Water-Demand Sensors. *Sensors*. 2023; 23(6):3177. <https://doi.org/10.3390/s23063177>
- Shaik, M. S., Shah, D., Chetty, R., & Marathe, R. R. (2020). A LoRaWAN based Open Source IOT Solution for Monitoring Rural Electrification Policy. *2020 International Conference on COMMunication Systems & NETworkS (COMSNETS)*, 888–890. <https://doi.org/10.1109/COMSNETS48256.2020.9027490>
- Shaikh, M., Shah, P., & Sekhar, R. (2023). Communication Protocols in Industry 4.0. *2023 International Conference on Sustainable Emerging Innovations in Engineering and Technology (ICSEIET)*, 709-714. 10.1109/ICSEIET58677.2023.10303397
- Sharma, N., Agarwal, R. (2023). HTTP, WebSocket, and SignalR: A Comparison of Real-Time Online Communication Protocols. In: Kadry, S., Prasath, R. (eds) Mining Intelligence and Knowledge Exploration. MIKE 2023. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 13924. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44084-7_13
- Tang, R., Aridas, N. K., & Abu Talip, M. S. (2023). Design of Wireless Sensor Network for Agricultural Greenhouse Based on Improved Zigbee Protocol. *Agriculture*, 13(8), 1518. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081518>
- Tian, L., Santi, S., Seferagić, A., Lan, J., & Famaey, J. (2021). Wi-Fi HaLow for the Internet of Things: An up-to-date survey on IEEE 802.11ah research. *Journal of Network and Computer Applications*, 182, 103036. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103036>
- Vaidya, D., Mukherjee, S., Zagrodnik, M. A. and P. Wang, “A review of communication protocols and topologies for power converters,” *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Beijing, China, 2017*, pp. 2233-2238. Doi: 10.1109/IECON.2017.8216376
- Yousuf, M., Alsuwian, T., Amin, A. A., Fareed, S., & Hamza, M. (2024). IoT-based health monitoring and fault detection of industrial AC induction motor for efficient predictive maintenance. *Measurement and Control*, 57(8), 1146–1160. <https://doi.org/10.1177/00202940241231473>
- Yuan, J., Xiao, H., Shen, Z., Zhang, T., & Jin, J. (2023). ELECT: Energy-efficient intelligent edge–cloud collaboration for remote IoT services. *Future Generation Computer Systems*, 147, 179–194. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.04.030>
- Zich, J., & Jandik, J. (2020). Active Battery Management System for Home Battery Energy Storage. *2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/EPE51172.2020.9269172>