Sistema de monitoreo IoT para optimizar consumo energético en edificaciones usando red Wi-Fi Mesh

IoT monitoring system to optimize energy consumption in buildings using a Wi-Fi Mesh network

Cesar Alejandro Beltrán Ospina[1]; Angie Viviana Sandoval Castillo[2]; Ilber Adonayt Ruge Ruge[3]
[1,2,3]Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia, cesar.beltran@uptc.edu.co, sandoval.angie@uptc.edu.co, ilber.ruge@uptc.edu.co

Resumen– ***Este artículo muestra la implementación de un sistema de medición para monitorear el consumo energético y las condiciones ambientales, con el fin de analizar el impacto de sus variaciones en el consumo energético de edificaciones residenciales. El sistema de monitoreo utiliza placas ESP32, sensores DHT11 para medir temperatura y humedad, el sensor de corriente y voltaje PZEM-004T para monitorear el consumo energético, y módulos de comunicación WiFi para transmitir los datos a la plataforma ThingSpeak, formando una red Wi-Fi Mesh. Los resultados obtenidos mostraron que las variaciones de temperatura y humedad afectan directamente la eficiencia de los dispositivos eléctricos, incrementando el consumo energético. Estos hallazgos destacan la importancia de gestionar adecuadamente las condiciones ambientales para optimizar el uso de energía. La aplicación práctica de los resultados sugiere que tecnologías como IoT, redes Wi-Fi Mesh y plataformas como ThingSpeak pueden mejorar la eficiencia energética y promover la sostenibilidad en entornos residenciales y comerciales, permitiendo una gestión más precisa y en tiempo real de los recursos energéticos.***

Abstract– ***This article demonstrates the implementation of a measurement system to monitor energy consumption and environmental conditions in order to analyze the impact of their variations on the energy consumption of residential buildings. The monitoring system uses ESP32 boards, DHT11 sensors for temperature and humidity, the PZEM-004T current and voltage sensor for energy consumption, and WiFi communication modules to transmit data to the ThingSpeak platform, forming a Wi-Fi Mesh network. The results showed that temperature and humidity variations directly affect the efficiency of electrical devices, increasing energy consumption. These findings highlight the importance of properly managing environmental conditions to optimize energy usage. The practical application of these results suggests that technologies such as IoT, Wi-Fi Mesh networks, and platforms like ThingSpeak can enhance energy efficiency and promote sustainability in residential and commercial environments, enabling more precise, real-time energy management.***

Palabras clave—IoT (Internet de las Cosas), WiFi Mesh, Consumo energético, ESP32, ThingSpeak.

Keywords-- IoT (Internet of Things), Wi-Fi Mesh, Energy consumption, ESP32, ThingSpeak.

I. Introducción

La gestión energética es crucial para reducir el consumo y las emisiones de carbono, promoviendo la sostenibilidad. La tecnología actual, como los sistemas inteligentes y el Internet de las Cosas (IoT), permite un monitoreo y control eficiente del consumo energético en tiempo real. A nivel mundial, los edificios representan cerca del 30% del consumo energético total y contribuyen de manera significativa a las emisiones de carbono; se espera que estos números crezcan un 50% en los próximos 30 años, como señalan Yu et al. [1]. Asimismo, Abdelhamid et al. [2] muestran que los principales consumidores de energía en edificios residenciales, comerciales y de oficinas son los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado e iluminación, los cuales pueden llegar a representar hasta el 60% del consumo total de energía. De acuerdo con el análisis realizado por Neirotti et al. [3], otro factor determinante en el consumo energético de los edificios es el momento del día: mientras que los edificios residenciales presentan un menor consumo durante las horas diurnas, los edificios comerciales y administrativos tienden a concentrar su mayor demanda energética en este periodo, con una reducción significativa durante la noche.

El desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras para la gestión eficiente de recursos energéticos ha adquirido una relevancia crítica. Diversas investigaciones han demostrado el potencial de las redes inteligentes y los sistemas de gestión energética en edificaciones inteligentes para optimizar el consumo energético y reducir costos operativos. Por ejemplo, Putri [4] desarrolla un prototipo digital basado en el microcontrolador Atmega 328P que mide parámetros eléctricos y componentes RLC, mostrando las mediciones en tiempo real a través de una pantalla LCD y alcanzando una precisión del 98%. Estudios más avanzados, como los presentados por Zhang, Shah y Papageorgiou [5], analizan dos ejemplos de edificios inteligentes con 30 y 90 viviendas, cada

uno con su propia microred, señalando la oportunidad de economizar recursos y reducir los picos de consumo eléctrico mediante una gestión más eficiente de los recursos energéticos distribuidos.

En [6], Anitha et al. describen la implementación de un medidor de energía basado en IoT y machine learning para una vivienda, el cual recolecta datos en tiempo real sobre el uso de la energía y utiliza algoritmos de inteligencia artificial para predecir patrones de consumo futuros. Los resultados experimentales demuestran la efectividad del sistema, mostrando un ahorro energético significativo. Otro ejemplo se presenta en [7], donde Macheso y Thotho diseñan y prototipan un sistema de monitorización energética IoT de bajo costo basado en el microcontrolador ESP32, capaz de registrar con precisión la tensión, corriente, potencia activa y el consumo acumulado. Además, en [8], Ahmad y Widiatmoko desarrollan un prototipo compuesto por un microcontrolador ESP8266 y un sensor PZEM-004T para controlar el uso de energía en hogares.

Por otro lado, La red Wi-Fi de infraestructura tradicional se basa en un nodo central (punto de acceso) que conecta directamente con las estaciones, lo que limita su cobertura y capacidad de manejo de dispositivos. En cambio, la red Wi-Fi Mesh permite que los nodos se conecten entre sí, expandiendo la cobertura y reduciendo la sobrecarga. ESP-NOW es un protocolo de comunicación inalámbrica desarrollado por Espressif que permite el control rápido, directo y de bajo consumo de dispositivos inteligentes sin la necesidad de un enrutador. Este protocolo puede ser implementado en placas de las series ESP8266, ESP32, ESP32-S y ESP32-C, ampliamente utilizadas en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). Según Nurlan et al. [9] y Brik et al. [10], su aplicación en edificios inteligentes y ciudades conectadas ha demostrado mejorar significativamente la eficiencia de las redes de comunicación.

Este artículo presenta el desarrollo de una red Wi-Fi Mesh compuesta por dos nodos conectados a la red eléctrica de una edificación, utilizada como piloto para el sistema de monitoreo. Cada nodo está controlado por un microcontrolador ESP32, equipado con un sensor de corriente y voltaje AC PZEM-004T y un sensor de temperatura y humedad DHT11. Los datos recopilados se muestran en una pantalla OLED y se envían a la plataforma IoT ThingSpeak de MathWorks®. Los dispositivos se conectan mediante el protocolo Wi-Fi Mesh, el cual, según Morai [11], permite ampliar la cobertura y garantizar la comunicación en redes grandes y complejas, superando las limitaciones de las redes Wi-Fi tradicionales, que dependen de puntos de acceso centralizados. Además, como señalan Khan et al. [12], la capacidad de autoorganización y autorreparación de este protocolo facilita la expansión eficiente de la red en grandes superficies físicas.

La combinación de sistemas de recolección de datos y el protocolo Wi-Fi Mesh facilita una comunicación inalámbrica de bajo consumo y alta velocidad. En [13], Xicotencatl desarrolla un sistema de monitoreo de temperatura y humedad utilizando una red ad hoc basada en ESP32 con ESP Mesh, que recolecta los datos con precisión y los envía a una plataforma virtual. Este sistema permite la recolección de datos desde nodos estratégicamente ubicados en un edificio, con respaldo en una memoria Micro SD. En [14], Essa et al. integran datos de temperatura enviados a ThingSpeak para construir un modelo de red neuronal artificial (ANN), permitiendo realizar predicciones basadas en esos datos.

Para futuros trabajos, se implementarán técnicas de inteligencia artificial (IA) para el análisis avanzado de los datos recopilados. Sin embargo, cabe destacar que el desarrollo expuesto en este artículo se centra exclusivamente en la implementación y funcionamiento del sistema de monitoreo y la red Wifi Mesh basado en microcontrolador ESP32, sin incluir aplicaciones de IA en esta etapa.

II. Materiales y método.

Las redes WiFi-Mesh extienden la señal inalámbrica mucho más allá de lo que sería posible con un único punto de acceso. Los nodos actúan como repetidores, permitiendo que el alcance de la red se expanda fácilmente incluso en áreas con obstáculos físicos como paredes gruesas o edificios densos. Esta capacidad de redirección de la señal a través de múltiples nodos no solo mejora la cobertura en espacios grandes o complejos, sino que también asegura una distribución más uniforme de la señal, minimizando zonas muertas y garantizando una conexión estable en lugares difíciles de alcanzar por las redes tradicionales. El diseño del sistema propuesto se ha limitado a dos nodos por razones económicas, pero se ha concebido para ser escalable, permitiendo la adición de nuevos nodos con las mismas características funcionales del nodo de monitoreo sin modificar significativamente la infraestructura actual. El algoritmo en el nodo router facilitará de manera flexible la incorporación de estos nuevos nodos, ampliando así el número de dispositivos en la red sin interferir con la transmisión de datos hacia la plataforma ThingSpeak.

El desarrollo electrónico de cada nodo de monitoreo se basa en una placa ESP32, compuesta de un microcontrolador de alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems. Este dispositivo cuenta con una CPU de doble núcleo Tensilica Xtensa LX6, con una frecuencia de hasta 240 MHz, 520 KB de SRAM y soporte para múltiples interfaces de comunicación. Su principal ventaja es la conectividad Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2 (BLE), lo que permite una comunicación inalámbrica eficiente y versátil. El sistema desarrollado integra dos nodos de sensores interconectados mediante una red Wi-Fi Mesh, lo que garantiza una comunicación descentralizada y robusta entre los dispositivos. Cada nodo está equipado con sensores para medir corriente, voltaje, temperatura y humedad. Finalmente, los datos recopilados son transmitidos a la plataforma ThingSpeak a

través de la conectividad Wi-Fi del ESP32, permitiendo su almacenamiento, visualización y análisis en tiempo real.

La Figura 1 ilustra la interconexión entre los componentes del sistema, destacando la arquitectura de comunicación y el flujo de datos.

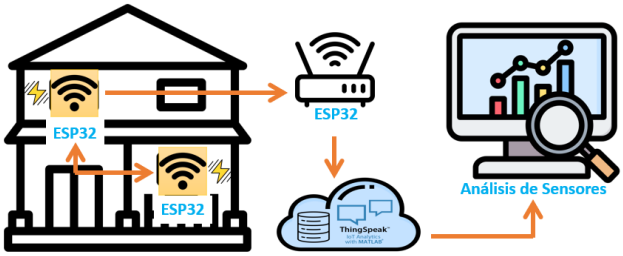

Fig. 1. Conexión Wi-Fi Mesh en un entorno de red doméstico o de edificio.

El PZEM-004T es un sensor multifuncional diseñado para la medición de parámetros eléctricos con aislamiento óptico. Es capaz de medir voltajes en un rango de 80 a 260V AC, corrientes de hasta 100A, potencia de hasta 23 kW, energía, frecuencia y factor de potencia con una precisión de ±0.5%. La comunicación con este sensor se realiza a través de una interfaz UART con una velocidad de transmisión de 9600 baudios. El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad que opera con una alimentación de 3.3V a 5V. Utiliza el protocolo One Wire (Single-Wire Communication Protocol) para la transmisión de datos, lo que permite la comunicación mediante una sola línea de datos. Ofrece una precisión de ±2°C para la temperatura y ±5% para la humedad relativa, en un rango de 0°C a 50°C y 20% a 90% de humedad. El módulo RTC DS3231 es un reloj en tiempo real de alta precisión con una desviación de ±5 minutos al año, que funciona con una batería CR2032 y utiliza comunicación I2C, un protocolo de comunicación serial que permite la transmisión de datos entre dispositivos mediante dos líneas, una para la señal de reloj (SCL) y otra para los datos (SDA), facilitando la conexión de varios dispositivos en un mismo bus. Finalmente, cada nodo de medición cuenta con una pantalla OLED SCH1106 de 128x64 píxeles, que permite visualizar en tiempo real las variables medidas. Con soporte para I2C y SPI, ofrece una lectura clara y precisa, además de un bajo consumo de energía, lo que la hace ideal para aplicaciones autónomas.

La Figura 2 muestra el detalle del desarrollo de cada nodo de monitoreo, destacando los componentes principales y su configuración para el funcionamiento del sistema de medición y visualización en tiempo real.

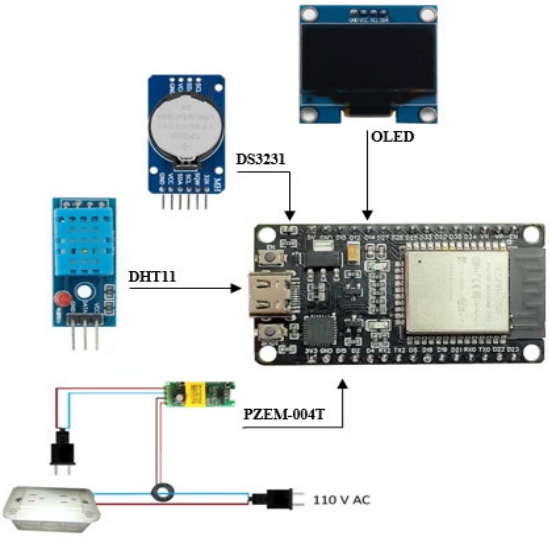

Fig. 2 Esquema de diseño y componentes de un nodo de monitoreo.

Para la programación del ESP32 se utiliza el entorno Arduino IDE, donde se incluye la librería necesaria para la configuración y gestión de la red WiFi Mesh. Es importante considerar que, al configurar la red, se deben definir adecuadamente los parámetros de conexión, como el SSID y la contraseña, y gestionar correctamente el manejo de nodos para garantizar una comunicación eficiente. Además, se deben tener en cuenta las limitaciones de memoria y procesamiento del ESP32 para optimizar el rendimiento de la red. En la Figura 3 se muestran algunos aspectos clave del código utilizados para esta configuración de red.

Fig. 3. Código en Arduino IDE para la configuración de la red Wifi Mesh.

La Figura 4 muestra el segmento de código en el nodo Router encargado de recibir y almacenar datos en la red WiFi Mesh, gestionando la información de los múltiples nodos: es aquí donde se contempla la adición de nuevos nodos de supervisión. La función *separarDatos()* procesa los mensajes, extrayendo valores de energía, temperatura y humedad, asignando una marca de tiempo y almacenando los datos en la estructura NodoData. Se verifica la existencia del nodo para evitar duplicados y se establece un intervalo de actualización de 10min para optimizar el consumo energético.

```cpp
std::vector<NodoData> nodos;
unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long sendInterval = 600000; // 10 minutos en milisegundos

// Función para separar los datos recibidos y almacenarlos
void separarDatos(String msg, uint32_t from) {
  NodoData nodo;
  nodo.id = from;
  nodo.timestamp = rtc.now();

  int separador1 = msg.indexOf(',');
  int separador2 = msg.indexOf(',', separador1 + 1);
  int separador3 = msg.indexOf(',', separador2 + 1);

  nodo.energia = msg.substring(0, separador1).toFloat();
  nodo.temperatura = msg.substring(separador1 + 1, separador2).toFloat();
  nodo.humedad = msg.substring(separador2 + 1, separador3).toInt();

  // Verificar si el nodo ya está en la lista y actualizarlo, o agregar uno nuevo
  bool found = false;
  for (auto &n : nodos) {
    if (n.id == from) {
      n = nodo;
      found = true;
      break;
    }
  }
  if (!found) {
    nodos.push_back(nodo);
  }
}
```

Fig. 4. Código del nodo router para adición de nuevos nodos de monitoreo.

Para la recolección y transmisión de datos, se emplea un nodo ESP32 adicional que se comunica con el nodo root de la red Wi-Fi Mesh mediante el protocolo I2C. Este nodo incluye un módulo de almacenamiento MicroSD, compatible con tarjetas de memoria de 2GB hasta 32GB. El módulo garantiza un respaldo seguro de los datos en una tarjeta microSD, protegiendo la información en caso de interrupciones en la conexión a la plataforma.

El nodo Root tiene varias funciones: recibe los datos recopilados por la red Mesh, que incluyen variables como energía, temperatura y humedad, a través de I2C. Se conecta a una red Wi-Fi para enviar los datos a la plataforma ThingSpeak, utilizando múltiples redes Wi-Fi con reconexión automática para asegurar la confiabilidad. Los datos se formatean y envían a canales predefinidos en ThingSpeak mediante HTTP o MQTT, mientras que simultáneamente se almacenan en la memoria micro SD usando el protocolo SPI, asegurando su disponibilidad para análisis futuros, incluso si se pierde la conexión a Internet. ThingSpeak™ es una plataforma de análisis IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. Ofrece visualizaciones instantáneas de los datos enviados desde los dispositivos y la capacidad de ejecutar código MATLAB® para realizar análisis y procesamiento en línea a medida que los datos se reciben. Es ampliamente utilizada para prototipos y pruebas de concepto de sistemas IoT que requieren análisis en tiempo real.

El flujo de operación de la red de nodos se desarrolla en tres pasos: primero, el nodo root de la red Wi-Fi Mesh recoge los datos de los nodos participantes. A continuación, estos datos son transmitidos al nodo Gateway mediante el protocolo I2C. Finalmente, el nodo Gateway se conecta a ThingSpeak y almacena los datos localmente. Este proceso, descrito en la Figura 5, garantiza la integridad de los datos y facilita el monitoreo remoto.

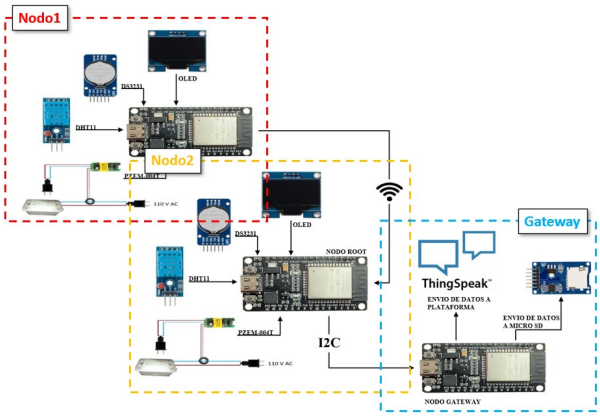

Fig. 5. Flujo de operación de la red de nodos y transmisión de datos.

III. Análisis de Resultados.

Se implementó un sistema de medición en una vivienda de dos pisos con tres nodos ESP32 distribuidos de la siguiente forma. El nodo del primer piso recoge datos de energía, temperatura y humedad. El nodo root, ubicado en el segundo piso, recibe y agrega los datos del primer nodo además de registrar información local. El nodo gateway, cercano al nodo root, transmite los datos a la plataforma ThingSpeak y los guarda en una memoria micro SD mediante el protocolo I2C.

Durante una semana, se recolectaron datos cada 10min, lo que resultó en un total de 1008 registros por dispositivo. Los resultados de la visualización de estos datos se muestran en la Figura 6, donde se presentan gráficamente las mediciones obtenidas a lo largo del periodo de monitoreo.

Fig. 6. Visualización de datos de medición de energía, temperatura y humedad en ThingSpeak.

Los resultados obtenidos muestran un consumo energético moderado en el primer piso, con un promedio de 0.50 kWh y una variación máxima de 0.60 kWh, mientras que el segundo piso presentó un consumo ligeramente superior de 0.60 kWh, debido al uso adicional de dispositivos electrónicos. En cuanto a la temperatura, el primer piso tuvo un promedio de 22.5°C, con un rango entre 20°C y 25°C, mientras que el segundo piso registró una temperatura promedio de 23.5°C, ligeramente más alta debido a una mayor exposición solar. Finalmente, la humedad en el primer piso osciló entre 30% y 60%, con un promedio de 45%, mientras que en el segundo piso los niveles fueron más altos, alcanzando hasta el 65%, con un promedio de 50%, lo que indica una ligera diferencia en las condiciones ambientales entre ambos niveles.

Algunos de los registros obtenidos durante el monitoreo y almacenados en la memoria microSD se presentan en la Figura 7, en formato CSV (Comma-Separated Values). Este formato facilita el acceso y análisis de los datos, siendo compatible con diversas herramientas de software como hojas de cálculo (por ejemplo, Microsoft Excel, Google Sheets) y programas de análisis de datos (como R, Python con bibliotecas como Pandas, o MATLAB).

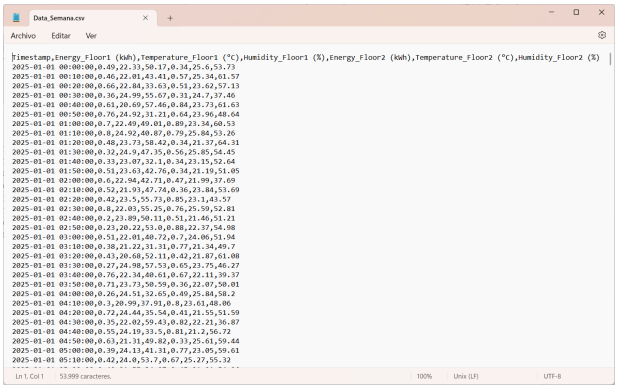

Fig. 7. Registros de monitoreo almacenados en formato CSV.

El montaje físico de los nodos de monitoreo incluyó tres nodos ESP32 en la vivienda: uno en el primer piso para medir energía, temperatura y humedad, y dos en el segundo piso, uno como nodo root para agregar los datos, y el otro como nodo gateway para transmitirlos a ThingSpeak y almacenarlos en una microSD.

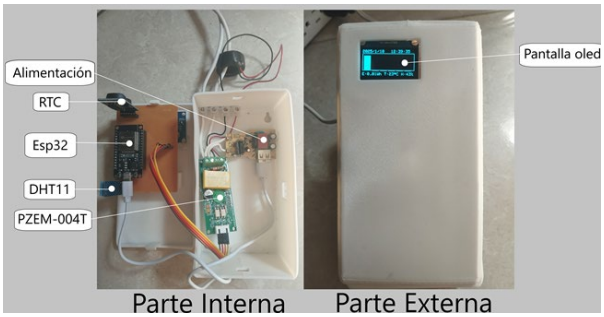

Fig. 8. Implementación de nodo #2.

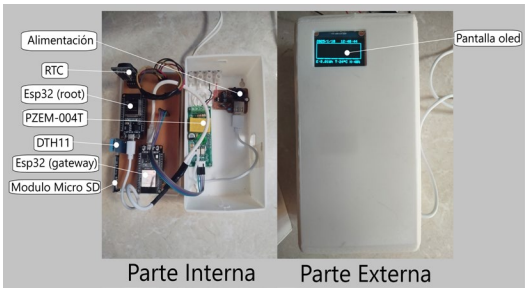

Fig. 9. Implementación de nodo #1 y gateway.

El análisis de los costos de producción de los nodos de monitoreo se muestra en la Tabla I, y abarca los componentes principales como las placas ESP32, sensores, módulos de comunicación y almacenamiento, además de los costos relacionados con la fabricación y el montaje de los nodos.

TABLA I
COSTO DEL PROTOTIPO.

Componente	Prototipo 1 (Nodo Red Mesh)	Prototipo 2 (Nodo Root y Gateway)
ESP32	8.00 USD	16.00 USD
DHT11	1.83 USD	1.83 USD
DS3231	4.35 USD	4.35 USD
PZEM-004T	15.30 USD	15.30 USD
LCD OLED	6.36 USD	6.36 USD
Módulo SD	N/A	1.18 USD
SD 4GB	N/A	3.53 USD
Caja y cables	20.60 USD	20.60 USD
Total	**56.44 USD**	**69.15 USD**

IV. CONCLUSIONES.

El análisis de los datos del sistema de monitoreo instalado en la vivienda mostró la influencia de la temperatura y humedad en el consumo energético. Aunque el consumo promedio fue moderado, con 0.50 kWh en el primer piso y 0.60 kWh en el segundo, las variaciones térmicas y de humedad impactaron la eficiencia de los dispositivos electrónicos y sistemas eléctricos. Este hallazgo subraya la importancia de considerar factores ambientales en la gestión energética del hogar, ya que pequeños ajustes en las condiciones internas pueden mejorar la eficiencia en el consumo de energía.

Las variaciones en temperatura y humedad impactan el consumo energético, con factores como la exposición solar y la presencia de ocupantes aumentando la demanda y afectando la eficiencia de los dispositivos eléctricos. Este análisis destaca la importancia de controlar estos factores ambientales para optimizar el consumo energético, lo que podría mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos en viviendas y edificios.

El uso de tecnologías como IoT y redes WiFi Mesh permite monitorear eficientemente el consumo energético y las condiciones ambientales. Los resultados mostraron que las variaciones de temperatura y humedad afectan la eficiencia de

los dispositivos eléctricos. Integrar estas tecnologías permite recopilar datos en tiempo real, optimizando el consumo energético y mejorando la eficiencia en viviendas y edificios, promoviendo una gestión energética sostenible.

REFERENCIAS

[1] L. Yu, S. Qin, M. Zhang, C. Shen, T. Jiang, and X. Guan, "A Review of Deep Reinforcement Learning for Smart Building Energy Management," IEEE Internet Things J., vol. 8, no. 15, pp. 12046–12063, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3078462.

[2] N. M. Abdelhamid, B. Lejdel, and E. Clementini, "Optimizing of Consumption Energy in Smart building," WSEAS Trans. Syst. Control, vol. 17, pp. 439–445, 2022, doi: 10.37394/23203.2022.17.48.

[3] P. Neirotti, A. De Marco, A. C. Cagliano, G. Mangano, and F. Scorrano, "Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts," Cities, vol. 38, no. September 2018, pp. 25–36, 2014, doi: 10.1016/j.cities.2013.12.010.

[4] R. A. Putri, "Prototype of a Digital Measuring Device Based on Atmega 328P for Measuring Current, Voltage, Electrical Power, and RLC Components" J. Energy, Mater. Instrum. Technol., vol. 5, no. 2, pp. 72–80, 2024, doi: 10.23960/jemit.v5i2.157.

[5] D. Zhang, N. Shah, and L. G. Papageorgiou, "Efficient energy consumption and operation management in a smart building with microgrid," Energy Convers. Manag., vol. 74, pp. 209–222, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.04.038.

[6] B. Anitha, P. Jeyakani, V. Mahalakshmi, S. Shalini, and R. Senthil Kumar, "Design and implementation of a smart home energy management system using IoT and machine learning" E3S Web Conf., vol. 387, pp. 1–9, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202338705012.

[7] P. S. Macheso and D. Thotho, "ESP32 Based Electric Energy Consumption Meter," Int. J. Comput. Commun. Informatics, vol. 4, no. 1, pp. 23–35, 2022, DOI: 10.34256/ijcci2213.

[8] F. Hk. Wira Ahmad, Dekki Widiatmoko, "Design of Electrical Energy Monitoring System Using NodeMCU ESP8266 and PZEM-004T for Power Usage Control". Jurnal Fortech, pp. 10–18, 2024.

9] Nurlan, Z., Zhukabayeva, T., Othman, M., Adamova, A., & Zhakiyev, N. (2020). "Wireless Sensor Network as a Mesh: Vision and Challenges." *IEEE Access*, vol.10, pp. 46-67, 2022, DOI**:** 10.1109/ACCESS.2021.3137341.

[10] Brik, V., Rayanchu, S., Saha, S., Sen, S., Shrivastava, V., & Banerjee, S. (2008). "A measurement study of a commercial-grade urban wifi mesh" IMC '08: Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM Conference of Internet measurement, 2008*,* ISBN: 978-1-60558-334-1.

[11]J. Morai, "Performing Open Source Wifi Mesh Sensor Network Using Esp32", Journal of Emerging Technologies and Innovate Research (JETIR), vol. 8, No. 3, pp. 12–17, 2021.

[12]A. U. Khan, M. E. Khan, M. Hasan, W. Zakri, W. Alhazmi, and T. Islam, "An Efficient Wireless Sensor Network Based on the ESP-MESH Protocol for Indoor and Outdoor Air Quality Monitoring," Sustain., vol. 14, no. 24, 2022, doi: 10.3390/su142416630.

[13]J. Xicotencatl, "Desarrollo de una red inalámbrica ad hoc para realizar tareas de monitoreo de temperatura y humedad," Universidad politécnica de puebla, 2024.

[14]M. E. S. M. Essa et al., "Reliable Integration of Neural Network and Internet of Things for Forecasting, Controlling, and Monitoring of Experimental Building Management System," Sustain., vol. 15, no. 3, 2023, doi: 10.3390/su15032168.