

Sistema inteligente de detección de fallas en paneles solares usando una plataforma basada en IoT

Javier Antonio Cundapi-Toledo, Joshua Alejandro Villalobos-Estrada, Bryan Martín Camacho-Trujillo, Rubén Darío Hernández-González, Rocio Crystal Hernández-Camacho y Alonso Guadalupe Hernández-Mendoza*

Ingeniería en Software, Universidad Politécnica de Chiapas, Suchiapa, Chiapas, México

* Autor de correspondencia: ahernandez@ids.upchiapas.edu.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 27 de septiembre de 2024

Aceptado: 24 de octubre de 2024

Publicado: 27 de noviembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.227>

Resumen: El sistema inteligente de detección de fallas aborda la problemática de la eficiencia y desempeño de los paneles solares, que pueden verse afectados por fallas en parámetros críticos como voltaje, corriente, luminosidad y temperatura. Estas fallas no solo reducen la cantidad de energía obtenida, sino que también incrementan los costos de mantenimiento y acortan la vida útil del sistema. El sistema inteligente consiste en desarrollar un sistema basado en IoT para monitorear en tiempo real los parámetros críticos de los paneles solares. Utilizando sensores avanzados, una plataforma de análisis de datos y una aplicación para usuarios finales, el sistema permitirá la detección temprana de fallas y proporcionará recomendaciones para optimizar el uso del panel solar. Se han investigado las principales fallas y mejores prácticas en el monitoreo de estos parámetros a través de estudios de caso y entrevistas con expertos. Este enfoque asegura un diseño efectivo y relevante, mejorando la eficiencia operativa y económica de los sistemas solares.

Palabras clave: sistema inteligente; paneles solares; sensores.

Introducción

Las fuentes de energía renovables son necesarias debido al aumento de la demanda mundial y a los efectos ambientales adversos por el uso de los combustibles fósiles (Celeste, 2021). La energía renovable se produce a partir de fuentes naturalmente reutilizables como la radiación solar, el viento y la biomasa (Hernández-Mendoza *et al.*, 2024). Entre los muchos tipos de energía renovable, la energía solar se destaca como el líder indiscutible en rápido crecimiento y amplio avance (Flores Cortez & Rosa, 2016). La energía solar es ampliamente reconocida como el principal contribuyente entre las fuentes de energía renovable. Este reconocimiento se basa en muchos factores clave, incluida la abundante disponibilidad de recursos solares (Gani, 2021; Sampaio & Gonzáles, 2017). Desafortunadamente, los paneles solares pueden enfrentar diversos problemas como acumulación de suciedad, sobrecalentamiento, fallos en los componentes y variaciones climáticas, que afectan su eficiencia y rendimiento general. Para abordar estos desafíos, se han desarrollado sistemas de monitoreo de paneles solares que utilizan la tecnología IoT (Internet de las Cosas) (Gielen *et al.*, 2019; Kabalci *et al.*, 2019; Lahabar *et al.*, 2023). Estos sistemas permiten la supervisión en tiempo real del rendimiento de los paneles, la detección temprana de fallos y la optimización de la producción de energía. Al proporcionar datos precisos y oportunos, estos sistemas facilitan la toma de decisiones informadas y permiten un mantenimiento proactivo, asegurando así que los paneles solares operen a su máxima capacidad. Por otro parte, el uso de esta tecnología en los sistemas solares fotovoltaicos mejora estas instalaciones, haciéndolas inteligentes al facilitar la adaptación, la conexión y la mejora de la eficiencia operativa (Mellit & Kalogirou, 2017).

Los sistemas IoT permiten incorporar sensores colocados estratégicamente para monitorear y medir varios indicadores de rendimiento, como voltaje, corriente y temperatura, en numerosas ubicaciones (Mostofa & Islam, 2023). La meticulosa recopilación de datos a nivel granular permite un análisis exacto, lo que facilita la optimización de la producción de energía y el rendimiento del sistema, además, la tecnología IoT permite el acceso y el control remotos, componentes cruciales en los sistemas de paneles solares. Por tal motivo, una de las estrategias para la optimización del recurso solar a partir de los sensores de IoT es la recopilación de datos de forma constante, lo que facilita el desarrollo de modelos de mantenimiento predictivo (Gielen *et al.*, 2019; Mellit & Kalogirou, 2017). El método proactivo implica la identificación de posibles fallas o anomalías en el funcionamiento del sistema, mediante el uso de datos históricos y la aplicación de análisis predictivos, el personal de mantenimiento puede anticipar y gestionar eficazmente las necesidades de mantenimiento (Motlagh *et al.*, 2020). Por lo tanto, la implementación de un sistema de monitoreo basado en IoT mejorara significativamente la eficiencia y el rendimiento de los paneles solares, permitiendo una detección temprana de fallos y una optimización continua de la producción de energía. En este contexto, el objetivo

general de esta investigación es desarrollar un sistema autónomo para medir el rendimiento y detectar fallas en paneles solares utilizando tecnologías de plataformas IoT.

Desarrollo

En qué consiste el sistema

El sistema inteligente de detección de fallas en paneles solares domésticos consiste en una combinación de hardware y software que utiliza la tecnología IoT para supervisar en tiempo real los parámetros críticos del funcionamiento de los paneles solares utilizando plataforma WEB.

Tecnologías

El sistema implementa una variedad de tecnologías modernas para garantizar un funcionamiento eficaz. A continuación, se describen las principales tecnologías utilizadas.

- Internet de las Cosas (IoT): Permite la conexión y comunicación entre los sensores, la unidad de procesamiento y la plataforma de análisis de datos.
- Protocolo MQTT: Este protocolo de mensajería ligero es ideal para la comunicación entre dispositivos IoT y el servidor.
- Protocolo HTTPS: Este protocolo se utiliza para la comunicación segura entre el navegador del usuario y el servidor web.
- Plataforma de análisis de datos: Herramientas y algoritmos de análisis en tiempo real para procesar y evaluar los datos recopilados por los sensores.
- Aplicaciones móviles/web: Interfaz de usuario para la visualización de datos, alertas y recomendaciones.

Software

- Plataforma de análisis de datos: La información recopilada por los sensores se analiza en tiempo real para detectar cualquier anomalía que indique una posible falla. Se utiliza una plataforma de análisis de datos que compara los datos actuales con los valores de referencia proporcionados por el manual del panel solar y con datos históricos para identificar desviaciones significativas.
- Aplicación móvil/web para usuarios finales: Se desarrolló una aplicación móvil o web que permita a los usuarios monitorear el rendimiento de sus paneles solares en tiempo real. La aplicación proporciona alertas y recomendaciones basadas en los datos analizados para ayudar a los usuarios a tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y optimización de sus sistemas solares. Las tecnologías utilizadas para la aplicación web son las siguientes:

React: Esta biblioteca de JavaScript se utiliza para construir la interfaz de usuario interactiva.

Node.js: Este entorno de ejecución de JavaScript del lado del servidor se emplea para crear un backend robusto y eficiente.

MongoDB: Esta base de datos NoSQL se emplea para almacenar los datos recopilados por los sensores.

Materiales del circuito IoT

El monitoreo en detección de fallas en sistemas de paneles solares corresponde a una serie de sensores y microcontroladores que permiten una medición precisa y confiable de diversos parámetros. A continuación, se detallan los componentes principales

- Sensor de voltaje ZMPT101B: Mide el voltaje del panel solar.
- Sensor de corriente INA219: Monitorea la corriente que fluye a través del panel.
- Sensor de luminosidad BH1750: Mide la intensidad de la luz solar que incide sobre el panel.
- Sensor de temperatura DS18B20: Monitorea la temperatura del panel solar para detectar posibles sobrecalentamientos.

- Microcontrolador Raspberry Pi 4: Este potente ordenador de placa única actúa como el cerebro central del sistema. Con su procesador quad-core, capacidad de conexión Wi-Fi y múltiples puertos USB, la Raspberry Pi 4 es ideal para procesar y almacenar los datos recopilados por los sensores.
- Microcontrolador ESP32: Este microcontrolador de bajo costo y bajo consumo de energía se utiliza para la adquisición de datos y la comunicación inalámbrica. Con Wi-Fi y Bluetooth integrados, el ESP32 permite la transmisión eficiente de datos desde los sensores a la Raspberry Pi o mediante el protocolo MQTT.

Panel solar

El panel solar escogido es un monocristalino de marca Condumex de dimensiones 1.7 x 1 x 0.4 metros, que tiene como parámetros principales un voltaje 35 V a circuito abierto, una corriente de 8 A en corto circuito y una potencia máxima en condiciones estándar de 400W de acuerdo con el datasheet.

Herramientas tecnológicas “hardware”

Para la visualización de datos del monitoreo en tiempo real, se utilizan computadoras y dispositivos móviles: como laptops, tablets, smartphones.

Conectividad IoT inalámbrica para paneles solares

Los sensores IoT instalados en paneles solares para recopilar datos sobre la producción de energía se transmiten a una plataforma central basada en la nube para su seguimiento en tiempo real (Figura 1). Las principales redes de transmisión son las siguientes:

- Wi-Fi: Si el sistema está en un área con buena cobertura de red Wi-Fi, es una opción viable para transmitir datos de corto alcance. Se puede utilizar en instalaciones pequeñas o residenciales donde se tenga acceso a una red de Internet estable.
- Redes celulares (3G, 4G, LTE, 5G): En áreas donde las redes móviles son accesibles, los sensores IoT pueden conectarse a través de SIM cards utilizando redes celulares para transmitir datos en tiempo real.



Figura 1. Conectividad del sistema IoT con las herramientas tecnológicas utilizando cobertura de red Wi-Fi.

Conectividad entre la plataforma y los dispositivos de usuario

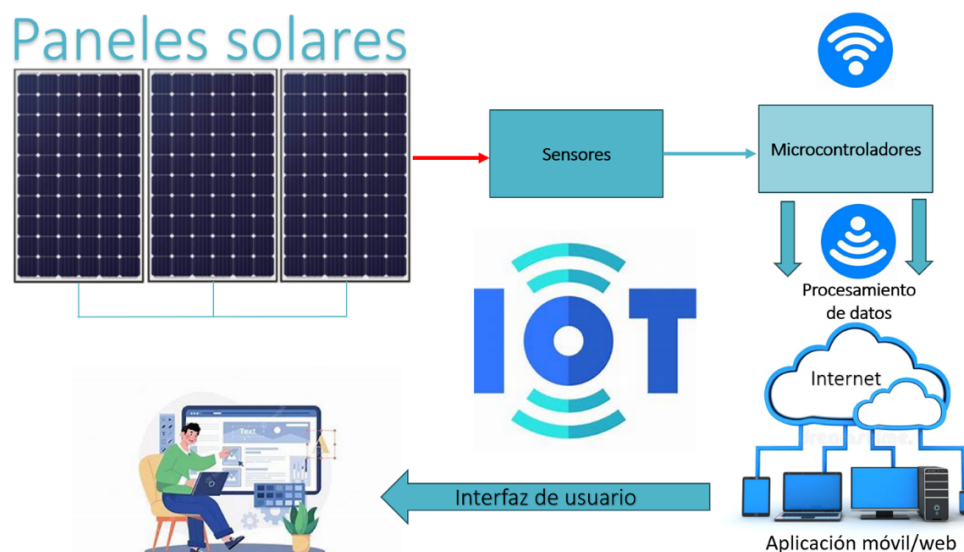


Figura 2. Proceso de conectividad del usuario con la plataforma IoT.

Una vez procesados, los resultados (como alertas de fallas o diagnósticos) deben enviarse al usuario o administrador del sistema. Para ello, los dispositivos de usuario (smartphones, tablets, computadoras) deben estar conectados a la plataforma. Las plataformas de IoT proporcionan interfaces fáciles de usar, como aplicaciones móviles o portales web permitiendo a los propietarios monitorear y controlar sus sistemas de paneles solares de manera conveniente. El proceso de interfaz de un usuario con el sistema IoT se puede observar en la Figura 2.

Conclusiones

El desarrollo de un sistema autónomo basado en IoT para el monitoreo y detección de fallas en paneles solares presenta una solución efectiva para maximizar la eficiencia y prolongar la vida útil de estos sistemas. Al utilizar sensores avanzados para medir parámetros críticos como voltaje, corriente, luminosidad y temperatura, el sistema puede identificar problemas de manera temprana y proporcionar datos precisos y oportunos para la toma de decisiones informadas. La implementación de este sistema no solo reducirá los costos de mantenimiento, sino que también asegura que los paneles solares operen a su máxima capacidad, contribuyendo así a un futuro energético más sostenible.

Bibliografía

- Celeste, M. (2022). *Sistema de telemetría IoT para el monitoreo de la instalación solar fotovoltaica del centro tecnológico FUNINTEC* [Tesis de trabajo recepcional, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional - Universidad Nacional de San Martín.
- Flores Cortez, O. O., & Rosa, G. A. (2016). Internet de las cosas: aplicación en monitoreo de un sistema de generación fotovoltaico. *Entorno*, 61, 40–46. <https://doi.org/10.5377/entorno.v0i61.6128>.
- Gani, A. (2021). Fossil fuel energy and environmental performance in an extended STIRPAT model. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126526>.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>.
- Hernández-Mendoza, A. G., Ruiz, H. A., Ortiz-Ceballos, Á. I., Castro-Luna, A. A., Láinez, M., & Martínez-Hernández, S. (2024). Ethanol production from Agave salmiana leaf juices by consolidated bioprocessing comparing two strains of *Kluyveromyces marxianus*. *Industrial Crops and Products*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117839>.
- Kabalci, Y., Kabalci, E., Padmanaban, S., Holm-Nielsen, J. B., & Blaabjerg, F. (2019). Internet of things applications as energy internet in smart grids and smart environments. In *Electronics (Switzerland)*, 24, 9. <https://doi.org/10.3390/electronics8090972>.
- Lahabar, S., Barapatre, A., & Heda, L. (2023). IOT - Powered Smart Photovoltaic Charge Controller. *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 10(1), 219–225. <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V10I1P121>.
- Mellit, A., & Kalogirou, S. (2021). Artificial intelligence and internet of things to improve efficacy of diagnosis and remote sensing of solar photovoltaic systems: Challenges, recommendations and future directions. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110889>.
- Mostofa, K. Z., & Islam, M. A. (2023). Creation of an Internet of Things (IoT) system for the live and remote monitoring of solar photovoltaic facilities. *Energy Reports*, 9, 422–427. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.060>.
- Motlagh, N. H., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of things (IoT) and the energy sector. In *Energies*, 13, 12. <https://doi.org/10.3390/en13020494>.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>.