

Una revisión de las plataformas IoT utilizadas para realizar el monitoreo en tiempo real de sistemas fotovoltaicos

Suárez Rommel ¹; Catota Pablo ²; Quishpe Carla ³; Jácome Fernando ⁴; Valencia Rommel ⁵

^{1,2,4,5} Instituto Tecnológico Superior Rumiñahui – Carrera en Electricidad, Sangolquí – Ecuador

³ Docente Ministerio de Educación, Quito – Ecuador

Resumen: El artículo presenta investigaciones y desarrollos relacionados con sistemas fotovoltaicos y tecnologías de Internet de las cosas (IoT). Se enfatiza la relevancia de las energías renovables y se investigan diversas estrategias para potenciar la eficiencia y desempeño de los sistemas fotovoltaicos. Se hace mención del empleo de métodos de aprendizaje automático y sistemas neuronales artificiales para el monitoreo y detección de fallas en estos sistemas fotovoltaicos. Además, se presenta el desarrollo de prototipos de monitoreo en línea y adquisición de datos para sistemas fotovoltaicos domésticos. El artículo aborda la relevancia del monitoreo remoto, el almacenamiento y análisis de datos en sistemas fotovoltaicos. Se menciona el empleo de plataformas (IoT) y su uso en la nube, además de software de simulación y análisis de datos. También se destaca la importancia del uso de hardware como DataLoggers y sensores para facilitar la recopilación y procesamiento de información en estos sistemas. Se enfatiza la necesidad de análisis de datos y sistemas de administración de energía en la optimización de los sistemas fotovoltaicos, se recomienda seleccionar la plataforma de IoT adecuada y establecer protocolos de mantenimiento para una recopilación confiable de datos.

Palabras clave: Transición energética, Sistemas fotovoltaicos, Internet de las cosas, Monitoreo en tiempo real, Eficiencia energética.

A review of IoT platforms used to perform real-time monitoring of photovoltaic systems

Abstract: The article presents research and developments related to photovoltaic systems and Internet of Things (IoT) technologies. The relevance of renewable energies is emphasized and various strategies are investigated to enhance the efficiency and performance of photovoltaic systems. Mention is made of the use of machine learning methods and artificial neural systems for monitoring and detecting faults in these photovoltaic systems. In addition, the development of online monitoring and data acquisition prototypes for domestic photovoltaic systems is presented. The article addresses the relevance of remote monitoring, data storage and analysis in photovoltaic systems. The use of (IoT) platforms and their use in the cloud is mentioned, as well as simulation and data analysis software. The importance of using hardware such as dataloggers and sensors to facilitate the collection and processing of information in these systems is also highlighted. The need for data analysis and energy management systems in the optimization of photovoltaic systems is emphasized, it is recommended to select the appropriate IoT platform and establish maintenance protocols for reliable data collection.

Keywords: Energy transition, Photovoltaic systems, Internet of things, Real-time monitoring, Energy

1. INTRODUCCIÓN

Las plataformas (IoT) juega un papel crucial en la vida cotidiana al permitir la conectividad entre diversos dispositivos físicos a través de Internet. Esta conexión inteligente genera

nuevas formas de comunicación entre objetos y personas, así como entre los propios dispositivos, posibilitando el intercambio de datos para el monitoreo y control desde cualquier lugar del mundo mediante la conexión a Internet (Cheddadi et al., 2020)

La situación de emergencia por COVID-19 ha impulsado la digitalización y ha fomentado la manipulación y monitoreo de la información del estado de salud de los pacientes. Los dispositivos portátiles, como los wearables, son herramientas poderosas que permiten la detección y seguimiento continuo de parámetros vitales de los pacientes, lo que conlleva ventajas como la reducción de costos en atención médica y un diagnóstico más preciso. Los sistemas de IoT para la salud están transformando el cuidado médico en el hogar, permitiendo un monitoreo preciso y una intervención más rápida (De Fazio et al., 2021)

Considerando las consecuencias del calentamiento global, a nivel internacional se han adoptado políticas relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero a generación limpia mediante sistemas basados en energías renovables, siendo una alternativa el aprovechamiento de la energía solar por medio de paneles. En el área de sistemas fotovoltaicos las investigaciones se centran en aumentar la eficiencia en el manejo de la energía eléctrica generada mediante diferentes técnicas de control como el seguimiento del punto de máxima potencia. (Samano-Ortega et al., 2020)

El Sistema (SCADA) desempeña un papel esencial en la automatización industrial, al supervisar y controlar los dispositivos utilizados en el ámbito laboral. Sin embargo, debido a la creciente complejidad de los procesos industriales, se hace necesaria una redefinición del modelo SCADA para que pueda adaptarse y satisfacer las demandas de la Industria moderna. Se destaca las plataformas (IoT) para mejorar los sistemas SCADA al permitir una comunicación eficiente y segura entre los componentes de la fábrica y los consumidores (de Arquer Fernández et al., 2021)

El internet de las cosas IoT permite la comunicación entre distintos escenarios como máquina a persona, persona a máquina y entre máquinas, siendo una tecnología de vanguardia con un rápido desarrollo de sensores inteligentes integrados que se integran a redes inalámbricas a través de la nanotecnología permitiendo realizar mediciones in situ en tiempo real en los sistemas de energía fotovoltaica (Boubakr et al., 2022).

El aumento en la demanda de electricidad no es cubierto por las fuentes de energía tradicionales, considerando que las plataformas (IoT) está revolucionando la vida humana. Se propone un enfoque fundamentado en plataformas IoT para monitorear el consumo de energía solar mediante sensores y la tarjeta electrónica Arduino. Los usuarios pueden controlar sus paneles solares a distancia para optimizar la generación de electricidad. En el futuro, se busca desarrollar algoritmos de aprendizaje para predecir el uso y producción de los paneles solares (Angelino dos Santos et al., 2022)

El uso de la tecnología IoT también aumenta la seguridad y comodidad a los usuarios al proporcionar sistemas de pago seguros y un seguimiento detallado de las sesiones de carga. Los datos generados por estas estaciones de carga conectadas pueden ser analizados para obtener información sobre los diferentes parámetros del sistema referente al uso, periodicidad de uso y consumo energético. Esta información resulta útil para planificar y mejorar la infraestructura de carga y tomar decisiones comerciales de manera informada (Prasad, M. S., Belekar, A., Gulhane, G., Singh, A., 2023)

En un sistema fotovoltaico, la implementación de plataformas IoT ofrecen beneficios como la reducción de la visita in situ de la planta, registro continuo de datos referente al rendimiento y detección de fallas, permitiendo el análisis, pronóstico y predicción de la energía, adicional se enfoca en la gestión y control de las cargas instaladas en el hogar de forma remota (Hoedi Prasetyo, 2021).

Se han propuesto diversas soluciones para abordar el desafío del monitoreo remoto de proyectos de electrificación rural debido a las limitaciones de la comunicación celular en áreas remotas. Para superar esta dificultad, las tecnologías emergentes de comunicación de Baja Potencia de Largo Alcance (LPWAN), como LoRa, ofrecen una alternativa con mayor alcance y menor consumo de energía. LoRa es especialmente adecuado para conectar dispositivos que necesitan transmitir pequeñas cantidades de datos a largas distancias, al tiempo

que preservan la vida útil de la batería. (Shaik et al., 2020)

En este sentido, Kun Xia propone un sistema que utiliza ZigBee para la comunicación entre nodos locales y tecnología 4G para la conexión a Internet, lo que garantiza un funcionamiento y mantenimiento inteligentes y confiables del sistema fotovoltaico. Además, el sistema aborda la detección de fallas en los inversores fotovoltaicos, en particular las fallas de circuito abierto, y se describen diversas formas de extraer información sobre las características de las fallas a partir de las señales eléctricas recopiladas (Xia et al., 2020). En las últimas dos décadas, investigadores han presentado diferentes algoritmos para rastrear la máxima potencia de los sistemas fotovoltaicos (PV) bajo condiciones de irradiación uniforme y no uniforme. Estos algoritmos se clasifican en dos grupos: algoritmos de punto de máxima potencia (MPPT) local y global. Los métodos convencionales, como perturbar y observar, conductancia incremental y escalada de colina, pertenecen al primer grupo y solo pueden utilizarse bajo condiciones de irradiación uniforme. El segundo grupo, se refiere a algoritmos de MPPT global basados en técnicas de computación suave y seguimiento híbrido de MPPT, que se utilizan para rastrear el MPPT en condiciones de sombreado parcial (irradiación no uniforme) (Rouibah et al., 2021).

Las aplicaciones más recientes referentes al aprendizaje automático, aprendizaje profundo en la detección y diagnóstico de fallas, así como su integración de plataformas (IoT) y tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA), enfatizan el creciente interés de los investigadores en analizar las técnicas y capacidad para mejorar la precisión y el rendimiento de los sistemas de monitoreo de fallas, esto debido a la gran cantidad de datos disponibles y el acceso a potentes supercomputadoras, se espera un rápido progreso en el área (Mellit & Kalogirou, 2021).

Para la evaluación de los sistemas fotovoltaicos en las diferentes regiones es vital la adquisición de datos y monitoreo de las variables eléctricas lo que permite realizar procesos de detección de fallas, el incremento de generación de energía

descentralizada ha generado propuesta de aplicación de red de monitoreo IoT libres con el objetivo de reducir los costos del uso de software comerciales que presentan limitaciones en la expansión de sensores y mantenimiento restringido (Pereira et al., 2019).

En este estudio se lleva a cabo una indagación minuciosa de literatura disponible enfocada en las plataformas (IoT), enfocándose a los avances obtenidos en los últimos cinco años de bases de datos de información verificada y validada, adicional se consideró el nivel de impacto de los artículos de revisión. Al concluir esta revisión, se analizan los posibles campos de investigación que podrían conducir a nuevos avances en este tema, brindando una visión más completa y actualizada de las tendencias para mejores perspectivas futuras que abarca el campo de plataformas IoT.

2. METODOLOGÍA

El documento se organiza de manera que: en la sección I se encuentra la introducción, sección II se detalla la metodología usada, sección III se da el abordaje del desarrollo de la investigación y, por último, sección IV muestra las conclusiones y recomendaciones logradas a través del estudio.

Para fundamentar este trabajo, se aplicó una investigación descriptiva mediante métodos de búsqueda bibliográfica en bases de datos como: SpringerLink, Scopus, MDPI (Institute for Multidisciplinario Digital Publication), IEEEExplore y Journal conference. La elección de los artículos a analizar se realizó según los siguientes pasos: (i) relación con el tema de investigación, (ii) búsqueda de documentos de acuerdo con el año de publicación (2018 – 2023) y (iii) relevancia en función a la temática.

Preguntas de investigación

En este estudio, se formularon cuatro preguntas de investigación donde se centran en la utilización de plataformas IoT para control y monitoreo en tiempo real de sistemas fotovoltaicos. Estas preguntas abordan diferentes perspectivas, considerando tres puntos de vista: (VP1) la enseñanza o capacitación en plataformas IoT, (VP2) la implementación de plataformas IoT para control y monitoreo de

sistemas fotovoltaicos, y, (VP3) la utilización de plataformas IoT en la industria o en hogares. La Tabla 1 muestra las preguntas formuladas para el análisis.

Tabla 1. Preguntas de investigación

Preguntas de investigacion (Q)	Motivacion
Q1 ¿Cuáles son las plataformas IoT más empleadas para control y monitoreo de tiempo real en sistemas fotovoltaicos?	Identificar las plataformas más utilizadas en sistemas fotovoltaicos de tiempo real
Q2 ¿Cómo se comparan las diferentes plataformas IoT en costo, funcionalidad y simplicidad de uso para el monitoreo de sistemas fotovoltaicos?	Identificar las diferentes plataformas IoT en términos de costo, funcionalidad y facilidad
Q3 ¿Cómo afecta el uso de una plataforma IoT en eficiencia y rendimiento energético de los sistemas fotovoltaicos?	Identificar eficiencia y el rendimiento energético de los sistemas fotovoltaicos mediante las plataformas IoT
Q4 ¿Cómo se pueden optimizar las plataformas IoT existentes para obtener un monitoreo efectivo y con mejoras en tiempo real de sistemas fotovoltaicos?	Identificar como las plataformas IoT existentes pueden mejorar el monitoreo de sistemas fotovoltaicos en tiempo real

Inicialmente se realizó una búsqueda de artículos que tengan una relación directa con Plataformas IoT, sistemas fotovoltaicos y monitoreo en tiempo real. Para lo cual se utilizó términos específicos como: eficiencia, optimización y desarrollo en sistemas fotovoltaicos, considerando los entornos a las plataformas IoT, autonomía, y energía inteligente. Mediante esta búsqueda, se seleccionó los artículos de acuerdo al año de publicación, en función del rango establecido anteriormente.

Selección de artículos científicos

La búsqueda de información se llevó a cabo considerando términos específicos relacionados con los tres puntos de vista mencionados. Las ecuaciones utilizadas para la recopilación de información son las siguientes: para VP1 se

estableció (“capacitación” OR “enseñanza” OR “estructuración” OR “sistemas de aplicación”) AND (“plataformas IoT”), para VP2 se estableció (“desarrollo” OR “capacitación” OR “sistemas fotovoltaicos” OR “monitoreo”) AND (“plataformas IoT”), finalmente para VP3 se estableció (“formación” OR “capacitación” OR “industria” OR “hogares” OR “costos”) AND (“plataforma IoT”). La selección de artículos se realizó en base a los títulos y resúmenes.

De acuerdo con el repositorio de 100 artículos generados producto de la selección, se realizó una primera revisión para la exclusión de artículos, para lo cual se consideró la relación directa que existe con la enseñanza, capacitación y formación a estudiantes o técnicos en plataformas IoT. Además, se tomó en cuenta el nivel de percepción visual que permite a los usuarios el uso de las plataformas IoT en los sistemas fotovoltaicos.

A partir de esta revisión se lleva a cabo la selección de 60 artículos considerando los siguientes aspectos: uso de las plataformas IoT en la industria, desarrollo de aplicaciones de plataformas IoT para monitoreo en sistemas fotovoltaicos. Finalmente, se tomó en cuenta el idioma del artículo y nivel de impacto. Una vez filtrada la información, se realizó una revisión general de cada uno de los artículos científicos seleccionados y se analizó la información que permitió establecer los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema IoT tiene la capacidad de transferir las lecturas de las mediciones de los sensores a través de conexiones inalámbricas mediante el empleo de Bluetooth, Wifi y módulos para conexión del servidor, los recursos tiempo, costo y espacio empleados para la instalación son mínimos en IoT (Shakya, 2021). Los sistemas de monitoreo fotovoltaico se consideran 3 categorías, el primero referente al análisis estadístico de datos y de pronósticos su funcionamiento se basa en el envío de los datos adquiridos de los paneles a una aplicación de escritorio patentada como Labview que realiza

análisis y visualización de datos; la segunda categoría optan por el uso de aplicaciones en la web para la visualización de datos que se encuentran disponibles en línea, y, la última categoría presenta sistemas con estándares industriales diseñados para plantas y estaciones de generación de energía como SCADA (Shapsough et al., 2021).

La energía fotovoltaica presenta por naturaleza un comportamiento no lineal en relación con el entorno referente a la irradiación y la temperatura, siendo necesario el estudio de los parámetros ambientales y parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico, la medición de los parámetros de los paneles solares de forma inalámbrica puede realizarse por varios protocolos de comunicación como es Bluetooth, WiFi, mensajes SMS, radiofrecuencia Zigbee, MiWi, al utilizar tecnología IoT en conjunto con una red de internet es una alternativa para el envío de datos en tiempo real y a grandes distancias (Subrata et al., 2022).

Monitoreo de Sistemas fotovoltaicos basados en microcontroladores

Cheddadi et al. (2020) destacan el uso de un monitoreo de bajo costo para sistemas fotovoltaicos como una gran solución, la cual emplea el controlador ESP32 y la plataforma de código abierto Grafana para visualizar los datos de forma interactiva. La aplicación de IoT propuesta tiene la capacidad de supervisar y mantener de manera continua la planta fotovoltaica en un estado seguro y de alto rendimiento, lo que resulta en una solución eficiente y asequible para los sistemas fotovoltaicos.

Sarkar et al. (2019) proponen una solución en los sistemas fotovoltaicos para mantenimiento y monitoreo (PV) mediante el uso de sensores, microcontroladores y tecnología IoT. Se emplean sensores conectados a un microcontrolador Arduino UNO, que a su vez transmite datos a través de Node MCU, una plataforma IoT con conexión inalámbrica. Los datos se envían y almacenan en la nube de Ubidots for Education para su análisis. Se ha desarrollado un panel de control en la nube que permite un correcto

monitoreo de los parámetros del panel fotovoltaico en tiempo real. Esta solución proporciona una forma sencilla y económica de monitorear sistemas PV, y se considera la posibilidad de ofrecerla como un servicio adicional para instalaciones fotovoltaicas ya existentes.

Liang et al. (2021) desarrollaron un sistema de monitoreo modular para una planta fotovoltaica térmica (PV/T) que aprovecha la nube y la plataforma (IoT). Con este sistema, los usuarios pueden entrar en tiempo real a los datos o recibir alertas de manera próxima a través de una aplicación móvil o un sitio web. Se recopilan datos de temperatura, presión, flujo y condiciones meteorológicas mediante un colector RS485 y se transmiten al servidor de datos en la nube mediante una pasarela. Esta solución permite un monitoreo eficiente y seguro de la planta fotovoltaica térmica utilizando tecnología IoT y la nube internet.

Khadka et al. (2020) presentaron el "Sistema de Limpieza Inteligente de Paneles Solares Fotovoltaicos", un modelo de Internet de las Cosas (IoT) diseñado para plantas solares a gran escala. Este sistema autónomo incluye sensores y un microprocesador para monitorear en tiempo real el rendimiento de los paneles, activando la limpieza automática cuando se detecta una caída en su eficiencia. Es especialmente efectivo en áreas semiáridas donde la acumulación de arena es frecuente. Según la ubicación, se pueden emplear dos enfoques: una unidad autónoma para limpieza cercana o varios robots controlados a distancia para lugares remotos o expuestos a tormentas de arena. Esta solución mejora la eficiencia de las plantas solares al garantizar un mantenimiento continuo, incluso en condiciones adversas.

Priharti et al. (2019) describen un sistema que mide voltaje, corriente, temperatura e intensidad de luz solar de un panel fotovoltaico, utilizando un microcontrolador Arduino para registrar estos datos. La información es enviada de manera inalámbrica a través de un módulo de comunicación Wi-Fi, el NodeMCU ESP8266, permitiendo que los datos sean visualizados y

monitoreados en tiempo real desde una plataforma en la nube. Los usuarios pueden acceder a la información a través de una página web o una aplicación móvil, lo que facilita un monitoreo efectivo y conveniente del rendimiento del panel fotovoltaico desde cualquier ubicación. Esta funcionalidad permite la detección temprana de problemas o anomalías, ofreciendo flexibilidad y facilidad en la gestión y optimización del sistema fotovoltaico.

Patel et al. (2022) desarrollaron un datalogger portátil y de bajo costo para monitorear sistemas fotovoltaicos (PV), utilizando hardware accesible y software gratuito. Equipado con sensores de voltaje y corriente conectados a un microcontrolador Arduino Uno y un módulo Wi-Fi ESP8266, el dispositivo envía datos en tiempo real a un servidor IoT llamado ThingSpeak. Esta solución facilita el monitoreo eficiente y económico, haciéndola viable para un amplio público.

Khan et al. (2019) nos muestran una comparación entre los resultados obtenidos desde el IoT cloud denominado Thingspeak y los obtenidos localmente a través del simulador de la matriz fotovoltaica (PV). Los resultados de la comparación mostraron una coincidencia total entre ambos conjuntos de datos. Se revelaron que los datos monitoreados en línea desde el IoT cloud a nivel global pueden presentar ligeras desviaciones dentro de un margen de error tolerable. Sin embargo, estas diferencias de error resultaron ser mínimas. En base a este análisis, se pudo concluir con certeza que las técnicas de monitoreo en línea son sumamente útiles para vigilar los paneles fotovoltaicos en aplicaciones industriales.

Mudaliar & Sivakumar (2020) mediante Raspberry Pi implementaron un sistema de energía en una industria de interruptores eléctricos para analizar y supervisar el consumo diario de energía como parte de las actividades de conservación de energía. El sistema utiliza tecnología IoT y se ha programado eficientemente para recopilar y analizar datos de medidores de energía existentes. Esto permitirá comprender el patrón de consumo de energía de la empresa y facilitará el uso de medidas de conservación de energía para reducir costos y

mejorar eficiencia energética. Además, el diseño del sistema permite su adaptabilidad, lo que permite agregar nuevos sensores o herramientas según las necesidades específicas.

Aghenta e Iqbal (2019) presentan una solución de sistema SCADA basado en IoT de bajo costo y código abierto. Se diseñó un hardware que incluye sensores de corriente y voltaje, microcontrolador ESP32 Thing y plataforma del servidor IoT Thinger IO. El sistema fue probado para monitorear y supervisar de forma remota un sistema solar fotovoltaico. Se demostró su capacidad para adquirir datos, comunicarlos en red y realizar supervisión y control remotos. El consumo de costo y energía del sistema son altamente eficientes y asequibles. Se destaca que el diseño del sistema puede ser aplicado en diversas industrias, sin embargo, pueden ser necesarias algunas adaptaciones para asegurar su funcionamiento óptimo en cada caso particular.

Monitoreo de sistemas fotovoltaicos basados en aplicaciones Web

Jabbar et al. (2022) desarrollaron un sistema de monitoreo para sistemas fotovoltaicos (SEM) basado en tecnología LoRaWAN e IoT. Permite supervisar en tiempo real diversos parámetros eléctricos y ambientales. Los datos se envían a través de LoRaWAN a la nube de IoT. El sistema ha sido probado con éxito para la monitorización del consumo de energía y otros parámetros fotovoltaicos durante pruebas prácticas. Esta solución ofrece una forma eficiente y escalable de monitorear y gestionar sistemas fotovoltaicos.

Deriche et al. (2019) han desarrollado una solución basada en plataformas (IoT) para el monitoreo de puntos calientes en paneles fotovoltaicos mediante el uso de sensores de temperatura RFID que no requieren baterías. Una vez que el lector recibe los datos capturados de los sensores RFID, el Middleware en una PC destino permite procesar los datos entrantes provenientes de los diversos sensores RFID y los envía a través de la web. Se ha creado y verificado con éxito un prototipo funcional del sistema en situaciones exigentes.

Lopez-Vargas et al. (2019) han desarrollado un innovador datalogger y puesto a prueba para el monitoreo de sistemas SAPV mediante sitios web y aplicaciones móviles, utilizando tecnología inalámbrica 3G y plataformas (IoT). Se han evaluado dos opciones de almacenamiento de datos: un servidor dedicado (método tradicional) y una plataforma en la nube (aplicación novedosa de IoT). Las dos alternativas permiten monitorear el sistema de manera remota. La incorporación de la plataforma de IoT fundamentada en la nube ha posibilitado el monitoreo en tiempo real de pequeños sistemas PV autónomos a un bajo costo.

Suciu et al. (2019) mencionan que CitiSim ha desarrollado una plataforma de monitoreo y simulación de energía basada en IoT, alojada en la nube, con el propósito de mejorar el uso de recursos y apoyar la toma de resoluciones de inversión que busca incrementar la eficiencia energética. La integración de diversos componentes, como el monitoreo de producción y consumo de energía, la representación de producción de energía y análisis empresarial, ofrece un valor añadido en comparación con otras soluciones existentes.

Xia et al. (2020) presentan un sistema de monitoreo en tiempo real para la generación de energía fotovoltaica en una red inteligente. (IoT) ha implementado una red inalámbrica de sensores (WSN) como una de las principales topologías y formas específicas. Utiliza tecnologías inalámbricas como ZigBee y 4G para permitir la transmisión de datos a larga distancia entre los dispositivos y la aplicación del usuario. El sistema proporciona una solución confiable para el monitoreo de la generación fotovoltaica. Además, el sistema incluye un modelo de extracción de características y clasificación en el servidor para analizar el estado de salud del inversor fotovoltaico.

Ftirich et al. (2023) desarrollaron un innovador dispositivo de registro de datos para supervisar sistemas de paneles solares fotovoltaicos autónomos (SAPV) a través de una plataforma

web, empleando tecnología inalámbrica, específicamente WIFI, y plataformas (IoT). Para almacenar los datos, se implementó Firebase como una solución de almacenamiento a través de la nube. La integración de una plataforma IoT en la nube permitió el monitoreo remoto y en tiempo real de sistemas fotovoltaicos autónomos de pequeña escala, todo ello a un costo más bajo.

Monitoreo y control de sistemas fotovoltaicos

De Arquer Fernández et al. (2021) desarrollaron una solución de monitoreo para una planta fotovoltaica de tamaño medio utilizando tecnologías IoT. La plataforma Eclipse Kura permite una implementación flexible, y se ha creado un dispositivo IoT Gateway con Moxa UC-2112 y Kura para recolectar datos de los inversores y cajas de cadenas. Los datos se envían a un servidor Kapua mediante MQTT para almacenamiento y visualización. Esta solución rentable y de alto rendimiento elimina la necesidad de PLCs adicionales y ofrece un monitoreo eficiente y preciso para plantas fotovoltaicas.

Abdullah y Lata (2022) implementaron un sistema de monitoreo solar basado en las plataformas (IoT). Al comparar los valores de corriente, voltaje y potencia medidos mediante este sistema con los proporcionados por un simulador fotovoltaico integrado, se ha observado un error muy bajo, esto debido a que el monitoreo fotovoltaico basado en IoT opera sin intervención humana, minimizando así posibles errores e incertidumbres inducidos por el factor humano. En perspectiva, la inclusión e implementación de la tecnología IoT en sistemas híbridos de energía solar permitirá supervisar y controlar los niveles de voltaje, corriente y potencia de los paneles solares incluso en condiciones ambientales cambiantes, como variaciones en la temperatura y humedad. Esto proporcionará una mayor confiabilidad y estabilidad al sistema de energía en su totalidad.

Moura et al. (2021) diseñó una plataforma IoT que garantiza el seguimiento de la demanda y la generación del edificio, iniciando por el diseño del sistema fotovoltaico mediante baterías de

iones de litio. La plataforma es de bajo costo y se podría integrar en edificios existentes con mínimos requisitos para su instalación, la característica principal se basa en la capacidad de realizar controles automáticos para gestionar las cargas del edificio en función de la temporada, hora, día, luminosidad, presencia de usuarios y temperatura.

Almonacid-Olleros et al. (2020) presentan modelos de datos para pronosticar la generación de energía de salida empleando módulo de IoT e integrados en la plataforma digital opera. El módulo IoT se basa en Arduino y sensores de bajo costo que recopilan fuentes de datos ambientales y energéticos en un sistema fotovoltaico, lo que permitió evaluar varios modelos de aprendizaje automático para predecir el comportamiento y la producción de energía de un sistema fotovoltaico (PV).

Waheb et al. (2022) utiliza componentes de hardware como Arduino Uno R3, sensores de corriente y voltaje, sensor de temperatura y humedad, y una puerta de enlace LoRaWAN. También incluye un sistema fotovoltaico portátil con panel solar y batería. La placa Arduino Uno R3 es el núcleo del medidor, que permite la conexión de varios sensores y su comunicación con una computadora. La placa proporciona un bajo costo y mayor compatibilidad. El módulo de hardware se combina con el programa terminal para implementar la construcción de la comunicación de red y el monitoreo visual. En general, el sistema propuesto proporciona una solución confiable para el monitoreo de sistemas de generación de energía fotovoltaica.

Rouibah et al. (2021) diseñaron un sistema de dos placas electrónicas: un convertidor elevador (DC/DC boost converter) y una placa de adquisición de datos. Incorpora varios sensores como voltaje, corriente y temperatura, junto con dos microcontroladores Arduino Mega 2560 para el control y adquisición de datos, adicional dispone de un LCD para visualizar los datos monitoreados en tiempo real y el estado del sistema. Un módulo Wi-Fi (ESP8266) permite la transmisión de los datos monitoreados a Internet.

El sistema mide parámetros como corriente, voltaje, potencia, temperatura e irradiación solar. La configuración permite monitorear y controlar un módulo fotovoltaico en tiempo real, proporcionando datos valiosos para análisis y optimización.

Ramadhan et al. (2021) mencionan que el prototipo del sistema de monitoreo del rendimiento de la planta de energía solar emplea los sensores INA219 y PZEM004t, junto con el microcontrolador ESP32, para medir y mostrar datos de carga eléctrica y producción de energía. El tiempo de respuesta promedio del broker es de 237.48 ms, mientras que el tiempo promedio de ejecución desde la publicación de datos hasta el almacenamiento que se establece en la base de datos es de 1.410 segundos. Los valores de producción de energía y carga eléctrica se visualizan en una base de datos virtual en Google Cloud Platform. Los sensores presentan un error de $\pm 1\%$, y el sistema de transmisión de datos opera en tiempo real con un tiempo de respuesta mínimo del broker. La consistencia del tiempo de respuesta se ve afectada por la velocidad de poder transmitir datos de la red de internet utilizada.

Discusión

La investigación se enfoca en evaluar la confiabilidad de un sistema de monitoreo de sistemas fotovoltaicos que utiliza un registrador de datos de bajo costo y tecnología IoT. Los resultados experimentales demuestran que el registrador de datos es altamente confiable, con un bajo número de fallas, la mayoría de las cuales se deben a factores externos. Además, se discute la visualización de datos en tiempo real a través de la web o un smartphone, y se presenta el presupuesto del sistema de monitoreo.

Su enfoque en la implementación y desarrollo de una plataforma de simulación y monitorización de energía basada en IoT y en la nube. Se destaca cómo esta plataforma puede ser una herramienta valiosa para que las empresas controlen su consumo de energía, predigan el potencial de producción de energía y simulen la eficiencia económica en diferentes escenarios de inversión.

Se aborda la importancia de la eficiencia energética y se resalta el papel crucial de las tecnologías IoT en la gestión del consumo de energía. Además, se mencionan diversas herramientas y soluciones de software utilizadas para facilitar la gestión y simulación de energía. En conjunto, esta plataforma ofrece una perspectiva prometedora para optimizar el uso de energía y tomar decisiones informadas en materia de inversión en el sector energético.

El monitoreo y control de los sistemas fotovoltaicos es esencial para garantizar su rendimiento óptimo y maximizar la producción de energía, que nos implica el seguimiento y recopilación de datos sobre el rendimiento y la condición de los paneles solares en tiempo real, mientras que el control se entiende como la capacidad de ajustar y optimizar el funcionamiento del sistema. Un aspecto importante a destacar es la implementación de una arquitectura de nube de borde para el monitoreo y control de dispositivos fotovoltaicos.

Plataformas de pago

Grafana and InfluxDB, InfluxDB es la base de datos utilizada para almacenar las métricas enviadas desde el agente, y está especialmente diseñada para soportar grandes volúmenes de escritura y lectura. Por otro lado, Grafana permite analizar y visualizar datos mediante consultas y gráficos. Por lo que se le considera una plataforma de análisis de datos

LoRaWAN™ se utiliza para implementar redes de amplia área (LPWAN) y baja potencia, creada para dispositivos que requieren poco consumo de energía y que utilicen redes de alcance, regional, nacional o global y local. Esta tecnología permite la transmisión de datos de forma eficiente y confiable, lo que la hace ideal para aplicaciones (IoT) y para conectar dispositivos en áreas extensas.

Google Cloud Platform IoT dentro de todos los servicios que brinda Google Cloud Platform, se encuentra el servicio de soluciones para (IoT). Que está diseñado para objetos conectados y les

concede escalabilidad desde etapas iniciales, donde es disminuido el tráfico de datos, hasta donde la cantidad de información es significativa. Esto permite adaptarse a las necesidades cambiantes de los proyectos de IoT y garantiza un rendimiento óptimo en todas las etapas del desarrollo.

IBM Watson™ IoT Platform Es un servicio gestionado totalmente alojado en la nube, diseñado para facilitar la obtención de valor de los dispositivos (IoT). Este servicio permite analizar y gestionar datos generados por los dispositivos que estuviesen conectados, lo que brinda a las empresas la posibilidad de obtener información valiosa, realizar predicciones y tomar decisiones informadas para mejorar la rentabilidad de sus operaciones además de su eficiencia.

Azure IoT Hub es un beneficio de Microsoft establecido en la nube de Azure que se porta como un nodo central de recados para facilitar la comunicación bidireccional entre ArcGIS Velocity y dispositivos (IoT). Este servicio administrado permite la transmisión segura y confiable de datos entre los dispositivos conectados y la plataforma de ArcGIS Velocity, que nos deja un correcto análisis y recopilación de datos en tiempo real para tomar decisiones informadas y optimizar las operaciones.

ThingWorx de PTC es una plataforma líder en la industria que ofrece un desarrollo rápido de aplicaciones para conectar de manera segura a las empresas con sus fábricas, productos y entornos de servicio posventa. Esta plataforma facilita la creación de soluciones IoT personalizadas y escalables, permitiendo una comunicación eficiente entre dispositivos, sistemas y usuarios.

Plataformas gratuitas

Thingier.io plataforma IoT de código abierto que proporciona gran cantidad de herramientas que pueda integrar fácilmente sus productos o arquitectura con tecnologías 4.0 de manera escalable y económica. Esta plataforma permite la conexión y comunicación de dispositivos, recopilación y análisis de datos, y ofrece

soluciones para control y monitoreo remoto de activos y procesos.

ThingSpeak plataforma desarrollada base a la nube que permite recopilar, analizar y visualizar datos de sensores y otros dispositivos habilitados para Internet. Proporciona una API para que los dispositivos envíen datos a la plataforma y también permite la integración con sitios web de redes sociales para compartir los datos recopilados.

Cayenne myDevices es una plataforma de prototipado de dispositivos del IoT que ofrece una ventaja significativa al ser una solución visual y basada en arrastrar y soltar. Facilita y agiliza el proceso de creación y diseños de proyectos de IoT.

Firebase de Google plataforma desarrollada en base a la nube diseñada para la formación de aplicaciones web y móviles. Ofrece servicios y herramientas que facilitan la creación, el crecimiento y el monitoreo de aplicaciones en múltiples plataformas, incluyendo iOS, Android y web. Esto permite a los desarrolladores trabajar de manera más rápida y eficiente, ya que pueden utilizar las mismas herramientas y recursos en diferentes plataformas, lo que ahorra tiempo y esfuerzo en el proceso de desarrollo.

3. CONCLUSIONES

Es importante seleccionar de manera cuidadosa la plataforma de IoT más adecuada para el monitoreo en tiempo real de sistemas fotovoltaicos, considerando aspectos de compatibilidad, facilidad de uso, capacidades de análisis de datos e integración con otros sistemas de gestión.

Es fundamental capacitar al personal encargado del monitoreo en el uso adecuado y en la interpretación de datos recopilados, para obtener resultados al máximo de las diferentes capacidades de la plataforma Iot y tomar decisiones concretas basados en los datos obtenidos.

La investigación permitió analizar las características y funcionalidades de diversas plataformas de IoT utilizadas en tiempo real para el monitoreo de sistemas fotovoltaicos, identificando tanto los beneficios como las limitaciones de cada una.

Se destaca la importancia de los sistemas de gestión y análisis de datos de energía en la optimización de sistemas fotovoltaicos, y se recomienda seleccionar la plataforma de IoT adecuada y establecer protocolos de mantenimiento para una recopilación confiable de datos.

En cuanto a mejoras futuras, se sugiere la implementación de un sistema de copia de seguridad para garantizar la integridad de los datos, así como un sistema de refrigeración más efectivo para mantener el funcionamiento óptimo del sistema. En conjunto, estos hallazgos respaldan la viabilidad y eficacia del sistema de monitoreo y ofrecen posibilidades para su mejora y expansión en el futuro.

REFERENCIAS

- Abdullah, B. U. D., & Lata, S. (2022). IoT-Based Solar Monitor System. *2022 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*, 997-1002. <https://doi.org/10.1109/ICCCIS56430.2022.10037739>
- Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2019). Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thingier.IO and ESP32 Thing. *Electronics*, 8(8), 822. <https://doi.org/10.3390/electronics8080822>
- Almonacid-Olleros, G., Almonacid, G., Fernandez-Carrasco, J. I., Espinilla-Estevez, M., & Medina-Quero, J. (2020). A New Architecture Based on IoT and Machine Learning Paradigms in Photovoltaic Systems to Nowcast Output Energy. *Sensors*, 20(15), 4224. <https://doi.org/10.3390/s20154224>
- Angelino dos Santos, T., Gomes de Freitas, F., Carvalho Gonçalves, D. L., & Fernández-Ramírez, L. M. (2022). Design and validation of IoT measurement system for photovoltaic

generation. *Ingenius*, 28, 44-52.
<https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.04>

Boubakr, G., Gu, F., Farhan, L., & Ball, A. (2022). Enhancing Virtual Real-Time Monitoring of Photovoltaic Power Systems Based on the Internet of Things. *Electronics*, 11(15), 2469.
<https://doi.org/10.3390/electronics11152469>

Cheddadi, Y., Cheddadi, H., Cheddadi, F., Errahimi, F., & Es-sbai, N. (2020). Design and implementation of an intelligent low-cost IoT solution for energy monitoring of photovoltaic stations. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1165.
<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2997-4>

Arquer Fernández, P., Fernández Fernández, M. Á., Carús Candás, J. L., & Arboleya Arboleya, P. (2021). An IoT open source platform for photovoltaic plants supervision. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 125, 106540.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106540>

Fazio, R., De Vittorio, M., & Visconti, P. (2021). Innovative IoT Solutions and Wearable Sensing Systems for Monitoring Human Biophysical Parameters: A Review. *Electronics*, 10(14), 1660.
<https://doi.org/10.3390/electronics10141660>

Deriche, M., Raad, M. W., & Suliman, W. (2019). An IOT based sensing system for remote monitoring of PV panels. *2019 16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, 393-397.
<https://doi.org/10.1109/SSD.2019.8893161>

Ftirich, A., Bouaziz, B., & Bacha, F. (2023). Design and Implementation of Real-Time Monitoring System for Building-integrated Photovoltaic System. *2023 IEEE International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET)*, 1-6.
https://doi.org/10.1109/IC_ASET58101.2023.10151167

Hoedi Prasetyo. (2021). On-Grid Photovoltaic System Power Monitoring Based on Open Source and Low-Cost Internet of Things

Platform. *Evergreen*, 8(1), 98-106.
<https://doi.org/10.5109/4372265>

Jabbar, W. A., Annathurai, S., A. Rahim, T. A., & Mohd Fauzi, M. F. (2022). Smart energy meter based on a long-range wide-area network for a stand-alone photovoltaic system. *Expert Systems with Applications*, 197, 116703.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116703>

Khadka, N., Bista, A., Adhikari, B., Shrestha, A., & Bista, D. (2020). Smart solar photovoltaic panel cleaning system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 463(1), 012121.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/463/1/012121>

Khan, M. S., Sharma, H., & Haque, A. (2019). IoT Enabled Real-Time Energy Monitoring for Photovoltaic Systems. *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*, 323-327.
<https://doi.org/10.1109/COMITCon.2019.8862246>

Liang, R., Guo, Y., Zhao, L., & Gao, Y. (2021). Real-time monitoring implementation of PV/T façade system based on IoT. *Journal of Building Engineering*, 41, 102451.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102451>

Lopez-Vargas, A., Fuentes, M., & Vivar, M. (2019). IoT Application for Real-Time Monitoring of Solar Home Systems Based on Arduino™ With 3G Connectivity. *IEEE Sensors Journal*, 19(2), 679-691.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2876635>

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. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110889.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110889>

Moura, P., Moreno, J. I., López López, G., & Alvarez-Campana, M. (2021). IoT Platform for Energy Sustainability in University Campuses.

- Sensors, 21(2), 357.
<https://doi.org/10.3390/s21020357>
- Mudaliar, M. D., & Sivakumar, N. (2020). IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi. *Internet of Things*, 12, 100292.
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100292>
- Njoka, F., Thimo, L., & Agarwal, A. (2023). Evaluation of IoT-based remote monitoring systems for stand-alone solar PV installations in Kenya. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 9(3), 319-331.
<https://doi.org/10.1007/s40860-022-00190-5>
- Patel, A., Swathika, O. V. G., Subramaniam, U., Babu, T. S., Tripathi, A., Nag, S., Karthick, A., & Muhibbullah, M. (2022). A Practical Approach for Predicting Power in a Small-Scale Off-Grid Photovoltaic System using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Photoenergy*, 2022, 1-21.
<https://doi.org/10.1155/2022/9194537>
- Pereira, R. I. S., Jucá, S. C. S., & Carvalho, P. C. M. (2019). IoT embedded systems network and sensors signal conditioning applied to decentralized photovoltaic plants. *Measurement*, 142, 195-212.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.085>
- Prasad, M. S., Belekar, A., Gulhane, G., Singh, A., & P. (2023). Monitoring of Hybrid EV Charging Station using IoT. *IJMRSET*, 6(5).
- Priharti, W., Rosmawati, A. F. K., & Wibawa, I. P. D. (2019). IoT based photovoltaic monitoring system application. *Journal of Physics: Conference Series*, 1367(1), 012069.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012069>
- Ramadhan, J. M., Mardiaty, R., & Haq, I. N. (2021). IoT Monitoring System for Solar Power Plant Based on MQTT Publisher / Subscriber Protocol. *2021 7th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 1-6.
<https://doi.org/10.1109/ICWT52862.2021.9678503>
- Rouibah, N., Barazane, L., Benghanem, M., & Mellit, A. (2021). IoT-based low-cost prototype for online monitoring of maximum output power of domestic photovoltaic systems. *ETRI Journal*, 43(3), 459-470.
<https://doi.org/10.4218/etrij.2019-0537>
- Samano-Ortega, V., Padilla-Medina, A., Bravo-Sanchez, M., Rodriguez-Segura, E., Jimenez-Garibay, A., & Martinez-Nolasco, J. (2020). Hardware in the Loop Platform for Testing Photovoltaic System Control. *Applied Sciences*, 10(23), 8690.
<https://doi.org/10.3390/app10238690>
- Sarkar, S., Rao, K. U., Bhargav, J., Sheshaprasad, S., & Sharma C A, A. (2019). IoT Based Wireless Sensor Network (WSN) for Condition Monitoring of Low Power Rooftop PV Panels. *2019 IEEE 4th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*, 1-5.
<https://doi.org/10.1109/CATCON47128.2019.CN004>
- 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>
- Shakya, S. (2021). A Self Monitoring and Analyzing System for Solar Power Station using IoT and Data Mining Algorithms. *Journal of Soft Computing Paradigm*, 3(2), 96-109.
<https://doi.org/10.36548/jscp.2021.2.004>
- Shapsough, S., Takroui, M., Dhaouadi, R., & Zualkernan, I. A. (2021). Using IoT and smart monitoring devices to optimize the efficiency of large-scale distributed solar farms. *Wireless Networks*, 27(6), 4313-4329.
<https://doi.org/10.1007/s11276-018-01918-z>
- Subrata, A. C., Sutikno, T., Sunardi, S., Pamungkas, A., Arsadiando, W., & Cahya Baswara, A. R. (2022). A laboratory scale IoT-based measuring of the solar photovoltaic parameters. *International Journal of*

Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES),
11(2), 135.
<https://doi.org/10.11591/ijres.v11.i2.pp135-145>

Suciu, G., Necula, L., Iosu, R., Usurelu, T., & Ceaparu, M. (2019). IoT and Cloud-Based Energy Monitoring and Simulation Platform. *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ATEE.2019.8724961>

Xia, K., Ni, J., Ye, Y., Xu, P., & Wang, Y. (2020). A real-time monitoring system based on ZigBee and 4G communications for photovoltaic generation. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2019.01610>