

05-027

LOW COST SYSTEMS FOR MONITORING PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS: APPLICATION OF ARDUINO AND RASPBERRY PI

Silvente Niñirola, Guillermo; Molina-García, Angel; Mateo Aroca, Antonio

Universidad Politécnica de Cartagena

The integration of renewables into power systems has led to multiple studies and analysis in terms of grid-power quality, reliability, and/or feasibility. Among different resources to be considered as alternative energy systems, wind and solar emerge as the most mature technologies. With regard to photovoltaic (PV) installations, monitoring problems requires detailed analysis, since solar-radiation fluctuations, soiling on solar panels, or deficiency of PV-panel performance can involve unexpected power-output oscillations and, subsequently, undesirable power-generation oscillations. Under this framework, this paper describes and assesses a wireless low-cost PV-module monitoring system based on open-source solutions. Our proposal allows us to monitor installations at the PV-module level, giving detailed information regarding PV power-plant performance. The proposed monitoring system is based on the UNE-EN-61724 standard requirements, as a flexible and ad hoc solution with relevant connectivity options. Meteorological and electrical data are collected from the developed nodes and available for subsequent analysis. Detailed information of the solution, as well as extensive results collected in Spanish PV power plants connected to the grid, are also included in the paper.

Keywords: *PV monitoring; low-cost solutions; renewable energy source integration*

SISTEMAS DE BAJO COSTE PARA LA MONITORIZACION DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS: APLICACIÓN DE ARDUINO Y RASPBERRY PI

La integración de las energías renovables en el sistema de potencia ha llevado a múltiples estudios y análisis en términos de calidad, fiabilidad y/o factibilidad de la red eléctrica. Entre los recursos considerados como sistemas de energía alternativa, la eólica y solar emergen como las tecnologías más maduras. Con respecto a las instalaciones fotovoltaicas, la monitorización requiere un análisis detallado debido a las fluctuaciones en la radiación solar, la suciedad en los módulos o el deterioro en el rendimiento de los paneles provoca oscilaciones inesperadas en la potencia generada. Bajo este marco, este documento, describe y evalúa un sistema inalámbrico de monitorización de bajo costo basado en soluciones de código abierto. Nuestra propuesta nos permite monitorizar instalaciones fotovoltaicas a nivel del módulo fotovoltaico, brindando información detallada sobre el rendimiento de la planta de energía fotovoltaica. El sistema de monitorización propuesto se basa en los requisitos de la norma UNE-EN-61724, como una solución flexible y ad-hoc. Los datos meteorológicos y eléctricos se recopilan a partir de los nodos desarrollados y están disponibles para su posterior análisis. En el documento también se incluye información detallada de la solución, así como resultados extensos recopilados en las plantas fotovoltaica españolas conectada a la red.

Palabras clave: *monitorización FV; soluciones de bajo coste; integración de fuentes de energía renovable*

Correspondencia: Guillermo Silvente Niñirola silvente93@gmail.com



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Históricamente el modelo de generación de los sistemas eléctricos de potencia se ha basado en un flujo de potencia unidireccional, que fluye desde grandes unidades de generación hasta los puntos de consumo, regulando siempre la generación para ajustarla con la demanda en ese instante, consiguiendo así controlar de manera efectiva los valores de tensión y frecuencia que se encuentren dentro de los rangos permitidos.

A lo largo de la última década, debido al aumento de los recursos renovables se está viendo un cambio de modelo exigido por la integración de estas nuevas energías. Este cambio de modelo se encuentra en una etapa de transición a un nuevo escenario de generación distribuida con multitud de plantas de generación de pequeña potencia que están ubicadas cerca de los puntos de consumo.

Este nuevo paradigma, engloba una serie de cambios tanto en los flujos de potencia, como en los servicios que el agente está ofreciendo y solicitando, siendo necesaria una revisión dinámica del sistema eléctrico y de los nuevos métodos de control y regulación, para asegurar la fiabilidad del sistema eléctrico (Kamaruzzaman, Z, 2015).y evitar oscilaciones indeseadas (Hung, Shah, Mithulanathan, 2016)

Por lo tanto, las instalaciones fotovoltaicas deben ser monitorizadas para:

- Evaluar y mejorar el rendimiento del sistema.
- Detectar fallos, rendimiento deficiente o problemas en los módulos.
- Proporcionar soluciones de mantenimiento predictivo.
- Registrar datos para predecir la producción.

El sistema propuesto se basa en tecnología IoT para soluciones precisas y de bajo coste con el fin de monitorizar en detalle la generación de energía fotovoltaica y el rendimiento. El sistema permite soluciones personalizadas con potentes opciones de hardware y conectividad. Los datos meteorológicos y eléctricos se recopilan con un Arduino Uno que transmite la información a Raspberry de forma que se pueda almacenar, visualizar y tratar.

2. Objetivos

La mayoría de los sistemas se basan en la recolección de datos a nivel de inversor, cada vez más los operadores están demandando datos de los módulos fotovoltaicos para superar los inconvenientes típicos relacionados con la gran cantidad de paneles a controlar simultáneamente, además de tener datos más precisos sobre el rendimiento del módulo, de esta forma se pueden brindar soluciones de mantenimiento predictivo de forma más eficaz.

La puesta en escena de esta tecnología supone para los operadores del sistema la posibilidad de tener un conocimiento en tiempo real del estado y condiciones de la red, pudiendo así reaccionar rápidamente ante fallos que se produzcan y disminuyendo su impacto. Incluso si se dispone de una conexión directa y bidireccional con los demandantes de energía, se podría tener toda la información de las líneas, consumos y suministro, de

esta forma se puede hacer un mantenimiento preventivo y reaccionar antes de que se produzca el fallo.

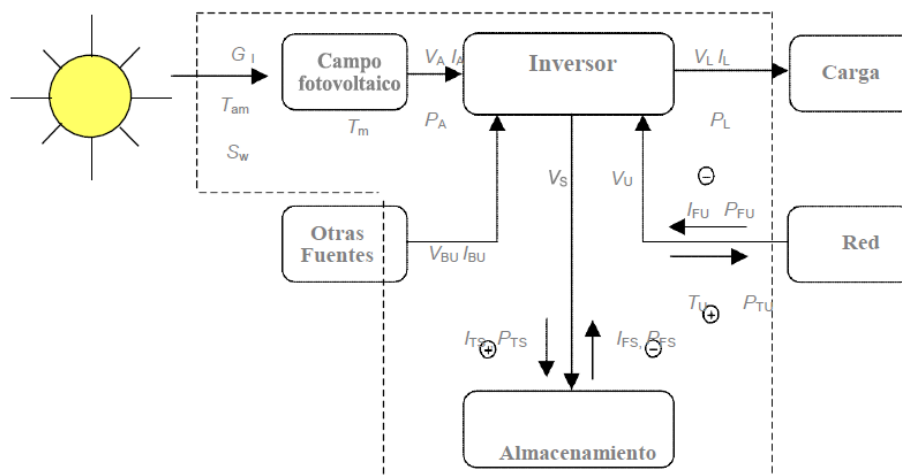
Las instalaciones de energía renovable son más críticas en este aspecto ya que normalmente están situadas en zonas de difícil acceso o una superficie muy extensa, de forma que se complica las tareas de vigilancia y mantenimiento lo que suele repercutir en el coste. Por este motivo el IoT resulta una buena solución para estas tareas. (Parikh et al, 2010)

El sistema propuesto se basa en un sistema Raspberry que permite soluciones personalizadas con potentes opciones de hardware y conectividad. Los datos meteorológicos y eléctricos se recopilan con un Arduino Uno que transmite la información a Raspberry de forma que se pueda almacenar, visualizar y tratar

3. Metodología

Como se ha comentado en la introducción, este trabajo se centrará en una solución basada en Arduino Uno y Raspberry Pi 3 para la monitorización y adquisición de datos en tiempo real, a continuación, se muestran las variables eléctricas y meteorológicas que afectan a la producción de energía de un sistema fotovoltaico, así como la potencia generada, a continuación, se muestra un esquema de la norma UNE-EN 61724 (AENOR, 2000) que indica las variables a medir.

Figura 1: Esquema de medida en instalación fotovoltaica



El sistema de estudio en cuestión, no cuenta con almacenamiento ni carga, por tanto, las variables a medir serán las relativas al campo fotovoltaico, inversor y meteorológicas.

La norma UNE-EN-61724, recoge unos criterios básicos para garantizar una calidad en las medidas de las variables.

- Irradiancia: Los datos se deben medir en el plano del campo FV, usando dispositivos de referencia calibrados o piranómetros localizados en puntos donde los valores sean representativos de las condiciones de irradiancia del campo. La precisión exigida es del

5%. La irradiancia en plano horizontal también puede recogerse para realizar comparaciones con datos meteorológicos estándar de otros lugares.

- Temperatura ambiente: Se debe medir a la sombra en puntos representativos y la precisión será superior a 1K.
- Velocidad del viento: Se debe medir en un punto representativo de la instalación fotovoltaica, el error será menor de 0,5 m/s.
- Temperatura del módulo: Se medirá por medio de sensores de temperatura colocados en la parte posterior de uno o más módulos representativos de las condiciones de la instalación con una precisión mejor que 1 K.
- Tensión e intensidad: Se pueden medir en c.a. o en c.c. La precisión de los sensores será superior al 1%, no es necesario medir la tensión e intensidad en todas las situaciones.
- Potencia c.a.: se medirá usando un sensor de potencia que tenga en cuenta el factor de potencia y la distorsión armónica. La precisión de los sensores de potencia, incluyendo el acondicionamiento de señal, será superior al 2% de la lectura.

Tabla 1: Variables a monitorizar

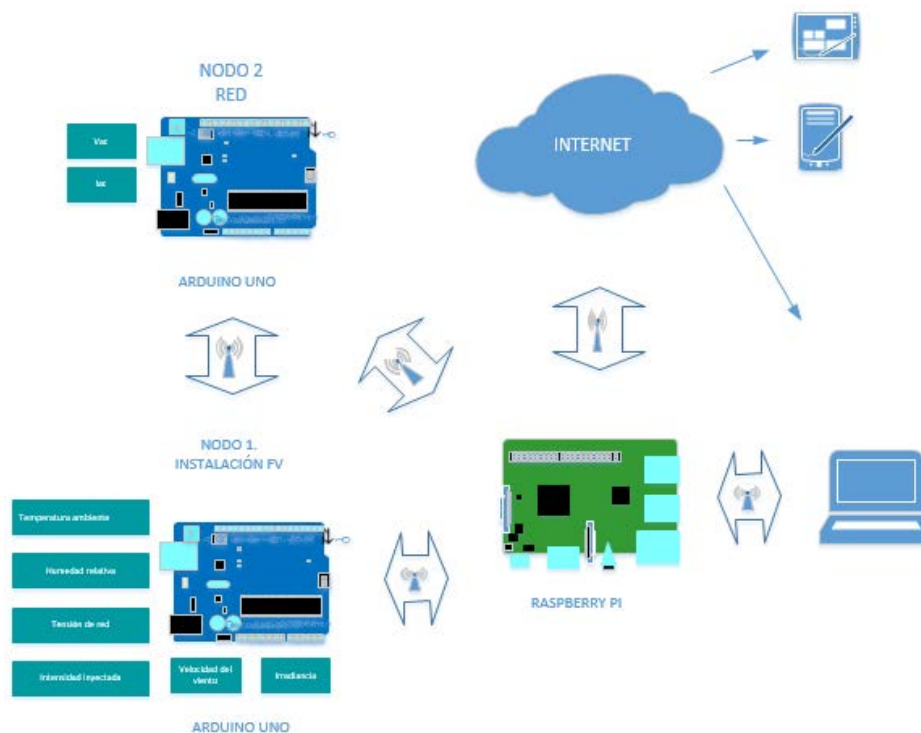
Parámetro	Símbolo	Unidad
Meteorología		
Irradiancia en el plano	GI	W/m ²
Temperatura ambiente	Tamb	°C
Humedad relativa	HR	%
Velocidad del viento	SW	m/s
Campo fotovoltaico		
Temperatura del módulo	Tm	°C
Inversor		
Tensión	VL	V
Intensidad	IL	I
Potencia	PL	Kw

En una revisión de plataformas de hardware de código abierto en el mercado se seleccionaron Arduino y Raspberry Pi, debido a que son los dispositivos que mayor soporte tienen a través de una gran comunidad de desarrolladores, sus ventajas son las siguientes.

- Plataformas de open source, tanto hardware como software.
- Bajo coste.
- Componentes fáciles de encontrar en el mercado.
- Fácil instalación.
- Shields para la extensión de sus funciones.
- Gran comunidad de desarrolladores con numerosas librerías, ejemplos e información.
- Amplias opciones de conectividad.

La disposición que se ha desarrollado es la de utilizar Arduino Uno como nodo inalámbrico utilizando para ello el módulo de radiofrecuencia RFM69CW a 433 MHz, para la monitorización de los datos, otro nodo para el consumo y posteriormente envían la información a Raspberry Pi 3 de forma que éste actúe como servidor web, almacenando los datos y estando disponibles para visualizarlos vía web, smartphone, Tablet...

Figura 2: Arquitectura empleada



La instalación fotovoltaica se encuentra en la fachada sur del Centro Tecnológico de la Energía y el Medio Ambiente, Cartagena, Murcia. Cuenta con dos paneles de 250 Wp en serie, donde se encuentra Arduino Uno midiendo los parámetros físicos, aproximadamente a 50 m se encuentra la oficina donde está el sistema Raspberry recibiendo los datos actuando de servidor web y el segundo Arduino Uno midiendo el consumo de la oficina.

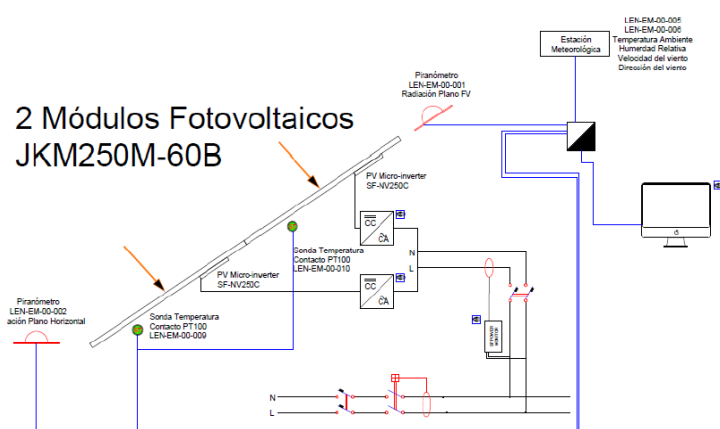
En la zona exterior, donde se encuentran los módulos fotovoltaicos y los sensores utilizados para la medida se sitúa una caja de conexión, donde se aprovecha la instalación existente

para la conexión con la caja interior donde se encuentra Arduino, habiendo una separación aproximada de 6 m.

Los sensores utilizados para las distintas medidas son los siguientes:

- Irradiancia: módulo policristalino de 5W
- Temperatura ambiente y humedad relativa: DHT11
- Temperatura del módulo: LM35DT
- Shield de OpenEnergyMonitor: Intensidad y tensión AC: pinza amperimétrica y adaptador de red

Figura 3: Esquema de la instalación del centro



A continuación, se muestran una serie de fotografías realizadas del montaje de la instalación.

Figura 4: Módulos fotovoltaicos, módulo de referencia, anemómetro y piranómetro



Figura 5: Caja de conexión exterior

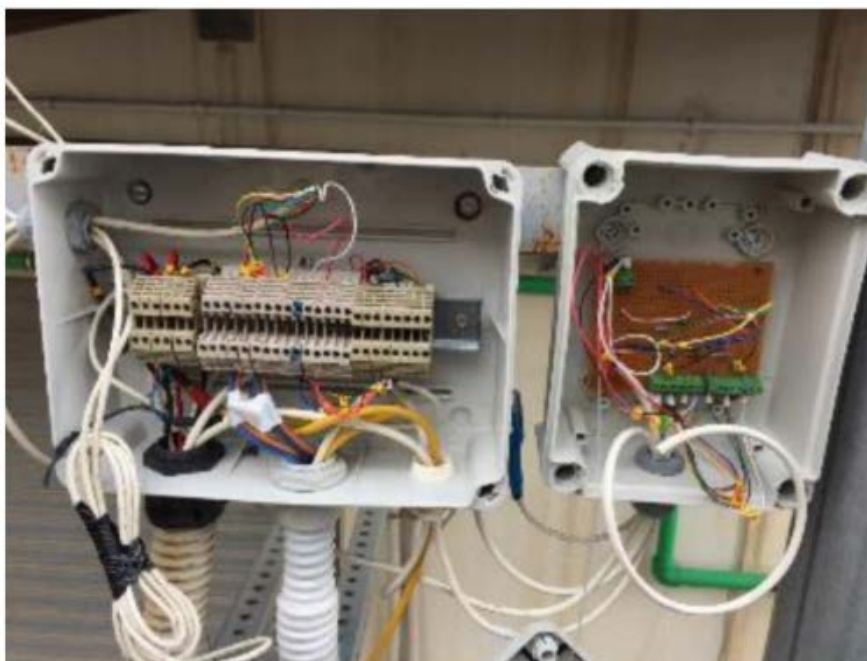


Figura 6: Caja de conexión interior



Figura 7: Raspberry con módulo de radiofrecuencia

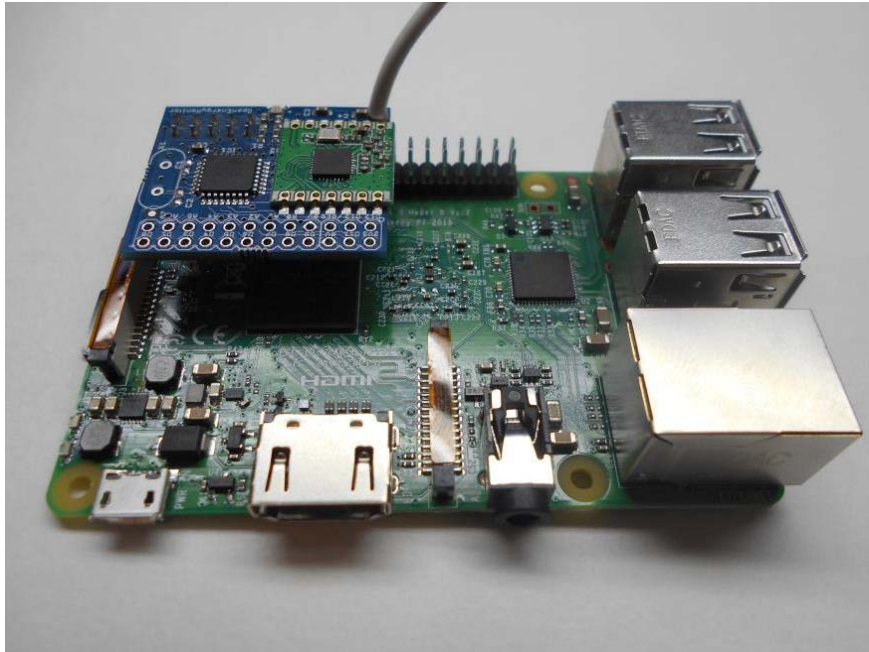
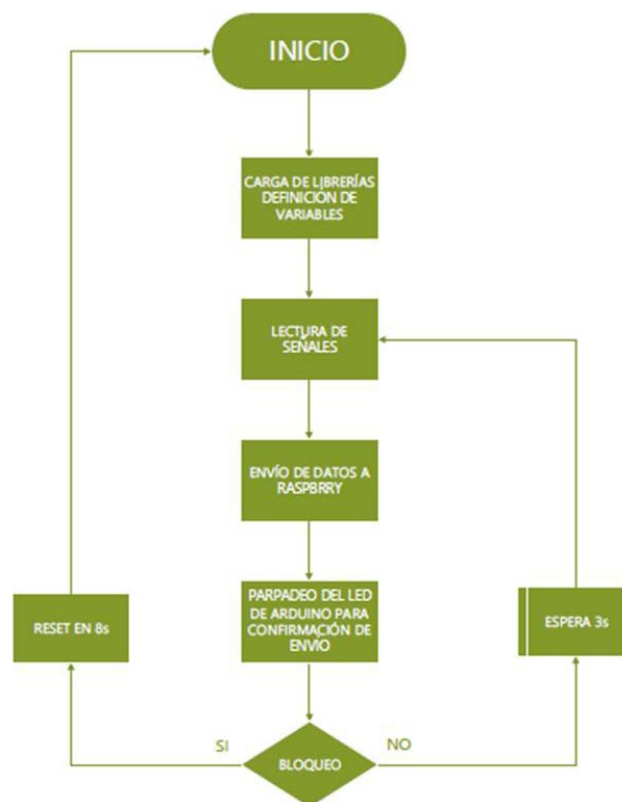


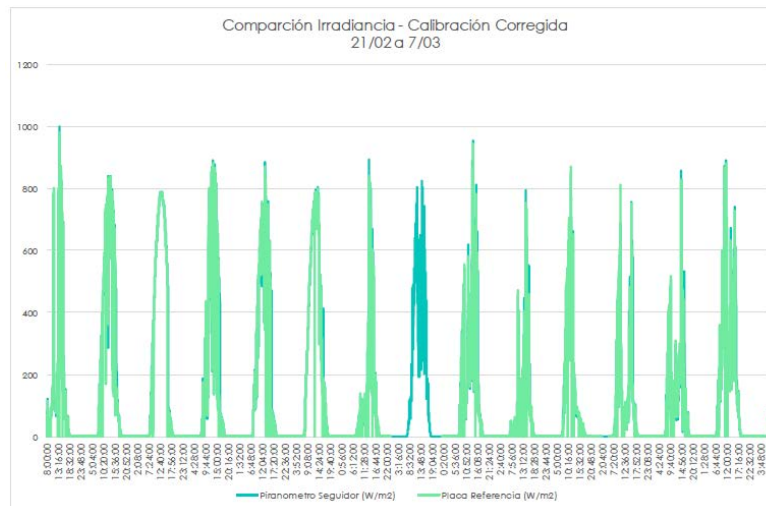
Figura 8: Raspberry con módulo de radiofrecuencia



4. Resultados

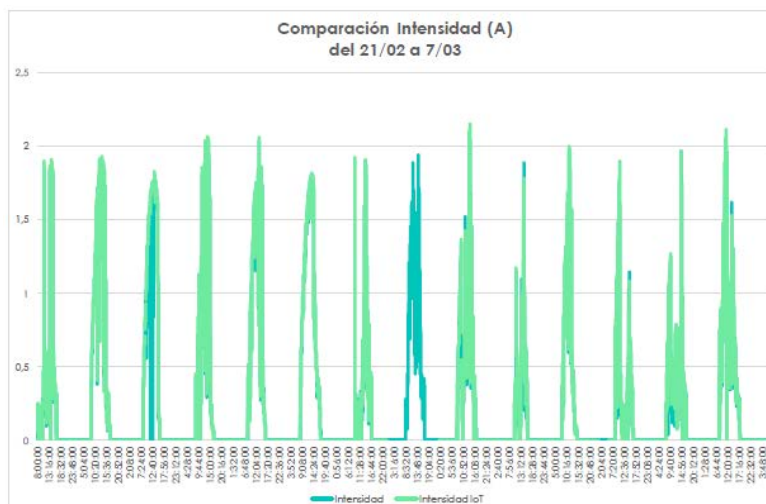
A continuación, se muestran los resultados más significativos.

Figura 9: Comparación irradiancia con piranómetro de referencia



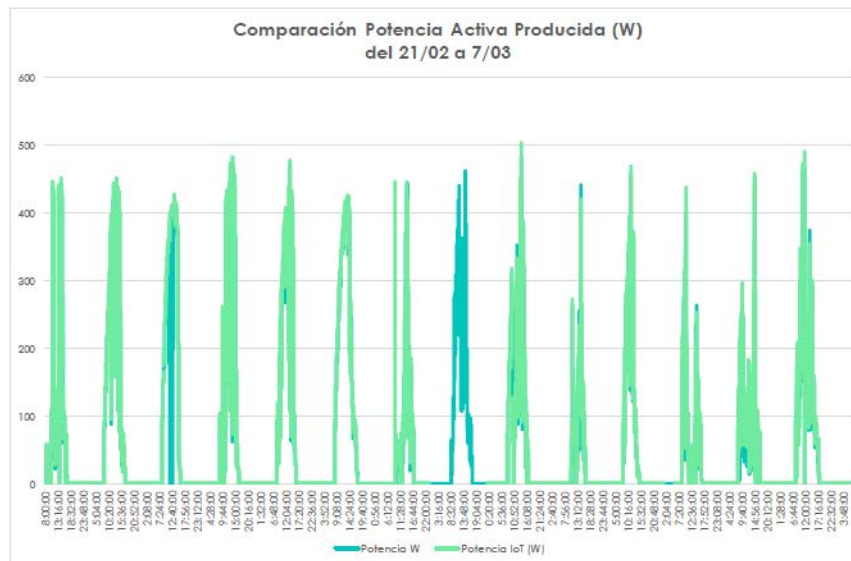
En una primera toma de datos, se podía observar una ligera pero significativa diferencia entre el valor de la irradiancia dada por el piranómetro y la placa de referencia, esto es debido a que el ajuste de la placa no estaba correctamente calibrado, para ello, se calculó el valor de tensión registrado por Arduino y por el piranómetro, se calculó una nueva calibración y se obtuvieron unos resultados más acertados, siendo el error de 0,92%.

Figura 10: Comparación intensidad inyectada con equipo de referencia



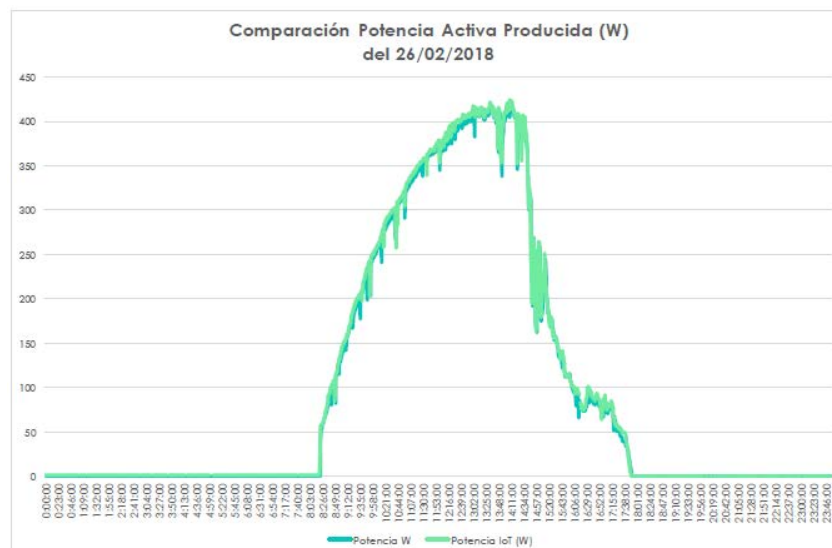
Se observa un grado de correlación bastante alto entre la medida de referencia y el de IoT, sin embargo el error es del 4,31%, pudiendo ser su causa las diferencias de frecuencias de registro o la incorrecta calibración del equipo de referencia.

Figura 11: Comparación potencia inyectada con equipo de referencia



Después de contrastar las medidas se constató que son válidas, ya que como puede verse si se analiza un solo día, se puede observar que es una correlación fiable y no hay valores fuera de tendencia.

Figura 12: Comparación potencia inyectada con equipo de referencia



5. Conclusión

En este trabajo se ha presentado una revisión de las posibles aportaciones de IoT al sistema eléctrico, enfocado a un incremento de la energía eólica y solar y los impactos que esto conllevaría tanto en la regulación para el operador de sistema como para el consumidor final. Estas soluciones apuestan por la comunicación rápida y fiable entre los distintos equipos que suponen mejoras en la gestión y arquitectura de las redes lo que desemboca

en las redes inteligentes que son capaces como se ha comentado de generar un aumento significativo en la eficacia de la red y el papel jugado por el consumidor.

De las soluciones planteadas en la bibliografía algunas ya están presentes en la actualidad, surgiendo de nuevo interés debido a las posibilidades de comunicación y gestión bidireccional que se han desarrollado en los últimos años.

Como solución, se ha desarrollado un sistema de monitorización de bajo coste (inferior a 100€) para instalaciones fotovoltaicas basado en Raspberry y Arduino, con unos parámetros de precisión bastante altos que se ajustan en gran medida a lo que indica la norma UNE 61724.

Su configuración inalámbrica con distintos nodos hace que sea un sistema de fácil instalación y escalable especialmente en pequeñas instalaciones.

El sistema registra las variables con la suficiente frecuencia como para llevar a cabo modelos de predicción mediante técnicas de machine learning y Deep learning con previsiones a menos de una hora, basados en el histórico de datos de producción de energía, que se consideran fundamentales para el avance de estas soluciones.

En los aspectos a mejorar se encuentran la mejora de precisión de algunos parámetros, la ratificación del sistema en términos de durabilidad a largo plazo, el desarrollo y evaluación de los modelos de predicción y análisis de ventajas para la operación en la red.

Referencias

AENOR (2000), UNE-EN 61724:2000 Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis

Hung, D.Q.; Shah, M.R.; Mithulananthan, N. (2016) Technical Challenges, Security and Risk in Grid Integration of Renewable Energy. In Smart Power Systems and Renewable Energy System Integration; Jayaweera, D., Ed.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland; pp. 99–118

Kamaruzzaman, Z (2015). Effect of grid-connected photovoltaic systems on static and dynamic voltage stability with analysis techniques—A review. Przegląd Elektrotech. 2015, 1, 136–140

Parikh, F. Pathan, B. Rathod, S. Shah (2015), Solar Panel Condition Monitoring System based on Wireless Sensor Network, International Journal of Science, Engineering and Technology Research, 4(12), 4320-4324.