

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4626

Diseño de un medidor para la gestión de energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico off grid

Britany Elizabeth Cevallos Pisco

britanycevallospisco@itscv.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8722-2786>

Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia
Quevedo – Ecuador

Pablo Cesar Catota Ocapana

pablo.catota@ister.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3179-4897>

Tecnológico Universitario Rumiñahui
Quito – Ecuador

Cesar Andres Minaya Andino

cesar.minaya@ister.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2441-0760>

Tecnológico Universitario Rumiñahui
Quito – Ecuador

Jorge Gabriel Checa Burgos

jorgecheca@itscv.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia
Quevedo – Ecuador

Correspondencia: britanycevallospisco@itscv.edu.ec

Artículo recibido 24 diciembre 2022 Aceptado para publicación: 24 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Cevallos Pisco, B. E., Catota Ocapana, P. C., Minaya Andino, C. A., & Checa Burgos, J. G. (2023). Diseño de un medidor para la gestión de energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico off grid. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 2789-2801. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4626

RESUMEN

En el presente proyecto se presenta el diseño y la implementación de un medidor de energía eléctrica el cual permite supervisar el consumo energético de la potencia que puede suministrar a la carga un sistema aislado de generación fotovoltaica, así como el prevenir el mal funcionamiento de los aparatos eléctricos debido a la falta de suministro de energía eléctrica desde sistema de generación. El medidor está compuesto por una pantalla LCD para la visualización de datos e interacción con el usuario, sensores de corriente, voltaje y radiación solar, que son utilizados para la recolección de datos. Por otra parte, el sistema de gestión de energía permitirá al usuario visualizar mediante la interfaz un listado de aparatos eléctricos que se pueden conectar al sistema, en base a la potencia eléctrica disponible en el sistema de fotovoltaico, previniendo de esta manera que se conecte cargas que necesiten de una mayor potencia eléctrica para su funcionamiento, lo cual podría dañar los paneles fotovoltaicos y acortar el tiempo de vida útil.

Palabras clave: sistema aislado; sistema de gestión; aparatos eléctricos; sistema fotovoltaico; consumo energético.

Design of a meter for the management of electrical energy generated by an off grid photovoltaic system

ABSTRACT

This project presents the design and implementation of an electrical energy meter which allows monitoring the energy consumption of the power that an isolated photovoltaic generation system can supply to the load, as well as preventing the malfunction of the devices. due to the lack of electrical power supply from the generation system. The meter is composed of an LCD screen for data visualization and interaction with the user, current, voltage and solar radiation sensors, which are used for data collection. On the other hand, the energy management system will allow the user to visualize through the interface a list of electrical devices that can be connected to the system, based on the electrical power available in the photovoltaic system, thus preventing loads from being connected. that require a higher electrical power for their operation, which could damage the photovoltaic panels and shorten their useful life.

Keywords: *isolated system; management system; electrical appliances; photovoltaic system; energy consumption.*

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica utilizando fuentes de energía renovables se ha impulsado en los últimos años en los diferentes hogares e industrias, principalmente en la implementación de sistemas de generación fotovoltaico (Liu et al., 2020), con el objetivo de autoabastecer parte su demanda energética. En la actualidad varios hogares no disponen del suministro de energía eléctrica de la red pública, debido al difícil acceso para la construcción de redes eléctrica de distribución de baja tensión. Por esta razón, se han implementado sistemas fotovoltaicos OFF – GRID para contar con energía eléctrica en sus hogares. Por otra parte, es importante que el usuario pueda visualizar la potencia eléctrica disponible y las posibles cargas eléctricas que es recomendable conectar al sistema, con el objetivo de realizar una gestión de energía eficiente (Mbungu et al., 2020). La gestión de energía eléctrica en los hogares mediante un interfaz es importante para un mejor aprovechamiento en los diferentes electrodomésticos y máquinas, por tal razón, se debe involucrar al usuario para un mayor entendimiento en la selección de carga que se pueden conectar a la red eléctrica. Conocer que potencia requiere un electrodoméstico es importante, pero es difícil que el pronóstico de carga sea lineal en los diferentes días del año. Por otra parte, es importante contar con un algoritmo que permita la visualización la potencia eléctrica obtenida del sistema de generación fotovoltaico a través de una unidad central HEMS y un menú de opciones que permita seleccionar la carga (Yadagani J. et al., 2019).

La predicción de la producción de energía en un panel fotovoltaico (PV) en diferentes condiciones es importante para flexibilizar la red eléctrica, por medio de la información recolectada de datos meteorológicos, corriente y voltaje se puede estimar el rendimiento de un PV, esto permitirá a los usuarios conocer la energía disponible que se puede utilizar (Peratikou & Charalambides, 2022). En la actualidad existen PV instalados en diferentes hogares, con el propósito de autoabastecer su demanda energética y en condiciones climáticas desfavorables para la generación de energía eléctrica, se abastece parte de su demanda con la red eléctrica. La supervisión del flujo de energía se realiza mediante un medidor bidireccional para la visualización de la potencia entregada por el PV y la red eléctrica (Tajwar et al., 2021).

Las fuentes de energía renovable, a nivel mundial se están implementando con el objeto de minimizar la carga en las redes de distribución, reducir la demanda energética en los

hogares y mejorar la calidad de energía eléctrica. Por esta razón, es necesario un sistema de gestión de energía para optimizar el rendimiento del sistema de generación y el ciclo de vida del banco de baterías (Venkateswaran et al., 2021). El constante crecimiento de la población y el consumo de energía eléctrica en el sector rural y urbano ha incentivado el continuo desarrollo de tecnologías que permitan aprovechar las fuentes de energías renovables para satisfacer la demanda energética, debido a esto es importante contar con un sistema de medición que permita visualizar al usuario la potencia eléctrica disponible en un sistema de generación solar, con el propósito de garantizar el buen funcionamiento de los electrodomésticos, equipos eléctricos, entre otros. Esta tarea se puede realizar mediante inteligencia artificial o modelos matemáticos para predecir la energía que puede entregar un PV (Al-Dahidi et al., 2020).

La integración del Internet de las Cosas (IoT) en medidores inteligentes, permite realizar el monitoreo y la supervisión de la potencia entregada por Generadores Distribuidos (GD), a través de los medidores instalados en los sistemas inteligentes, que permiten mejorar el rendimiento, la confiabilidad y las características del sistema. Esto permite abordar posibles problemas de calidad de energía y realizar de una forma eficiente la gestión de energía en el sistema (Shamshiri et al., 2019). La instalación de estos medidores permite detectar y clasificar las perturbaciones presentadas durante la conexión y desconexión de cargas grandes en el sistema. Por otra parte, los medidores inteligentes con IoT permiten reducir el consumo de energía eléctrica y proporcionan información útil para la toma de decisiones en casos de fallas (Karthick et al., 2021).

Los avances tecnológicos en relación a los GD han permitido mayor inserción de las fuentes de energías renovables, debido a esto es importante contar con sistemas de medición inteligente que permitan realizar la gestión de energía (Abusharia & Al-Aubidy, 2022). Para esto se puede utilizar algoritmos de control con el fin de distribuir las cargas de una forma más eficiente, lo cual representa un ahorro económico en la facturación mensual de consumo de energía eléctrica (Chojecki et al., 2020). Los usuarios hoy en día ignoran el uso de la electricidad y su costo al preferir diferentes tipos de electrodomésticos. Para mantener al consumidor informado y limitar el uso excesivo de energía, es importante que dentro de sus hogares se cuente con un sistema inteligente seguimiento del consumo de energía (Kumar et al., 2022).

Por esta razón el presente proyecto a desarrollar tiene como objetivo diseñar un medidor que permita la gestión de energía eléctrica de un sistema de generación fotovoltaico de forma eficiente, a través de este medidor el usuario puede visualizar mediante un interfaz los datos de potencia disponible para su uso, así como un menú de opciones que contienen información sobre que carga puede conectar al sistema. De esta forma el usuario podrá decidir que conectar al sistema, dependiendo de sus necesidades. Permitiendo de esta manera una mejor eficiencia a la hora de gestionar cargas eléctricas, que se pueden conectar al sistema.

METODOLOGÍA

Para la obtención de información necesaria para el desarrollo del proyecto se utilizó la investigación bibliográfica, a través de artículos científicos, libros, tesis de pregrado y posgrado, que permitirán abordar el tema desde diferentes puntos de vista y analizar los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas, permitiendo conocer el sistema fotovoltaico a desarrollar a mayor profundidad, para que de esta forma se establezca un enfoque claro de la estructura del proyecto a implementar, se evalúen los resultados obtenidos y a partir de esto definir como la base de datos adecuada para la para el diseño del medidor de energía eléctrica. Por medio de la investigación explicativa se tendrá un mayor entendimiento del proyecto, donde se intentarán establecer las causas, necesidades y beneficios relacionados a gestión de energía eléctrica en paneles fotovoltaicos para sistemas Off Grid. Para el análisis de datos se utilizó el método analítico y deductivo, el cual permite filtrar, ordenar y clasificar los datos obtenidos de las magnitudes eléctricas a través de los sensores de corriente y voltaje que se encuentran conectados a sistema fotovoltaico, para posteriormente ser utilizados en el diseño del interfaz y estimación de la potencia eléctrica. Esto permitirá al usuario a realizar la gestión de energía mediante la visualización de datos en una interfaz, finalmente a partir de la información obtenida y partiendo de la información recopilada se pueden establecer conclusiones, en base a comparaciones con los resultados obtenidos en la investigación realizada.

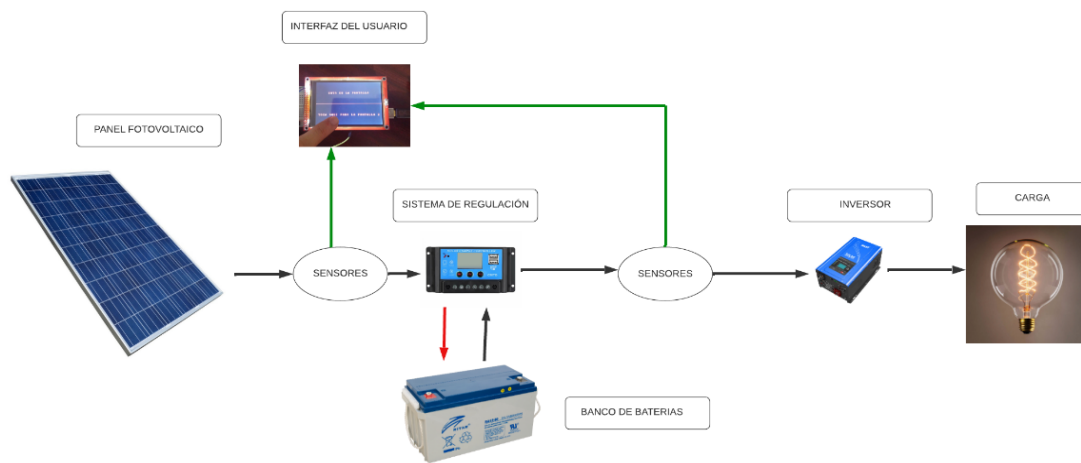
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para la presente investigación se utilizó un sistema fotovoltaico (Off-Grid), el cual es el encargado de proveer de energía eléctrica a un hogar el cual se encuentra lejos de los

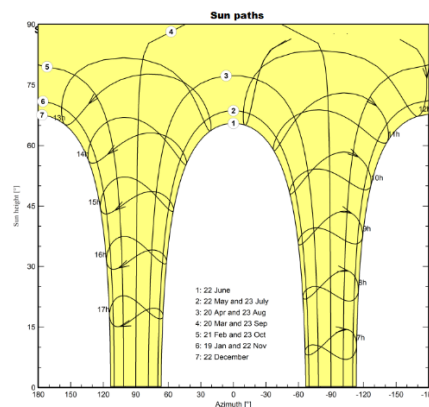
puntos de conexión de la red eléctrica pública. Mediante este sistema se recolectan datos de corriente y voltaje a través de sensores con un periodo de tiempo de 1 min. Por otra parte, mediante la estación meteorológica se recolecto datos de radiación solar y temperatura. Estas variables son almacenadas en una base de datos para posteriormente ser analizadas para la estimación de potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. En la figura 1 se muestra el esquema de funcionamiento del sistema utilizado en el proyecto.

Figura 1. Sistema Fotovoltaico Off Grid



Para el diseño del sistema fotovoltaico se realizó el levantamiento de información de las cargas eléctricas que se pretende utilizar en el hogar, esto permitió establecer la demanda energética y la capacidad de generación del sistema fotovoltaico. Para evaluar el recurso renovable disponible (radiación solar) se utilizó el software PVsyst para obtener los datos necesarios para realizar el diseño del sistema y realizar la selección de los componentes. En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos del recurso renovable en el software.

Figura 2. Resultados de la evaluación del recurso solar

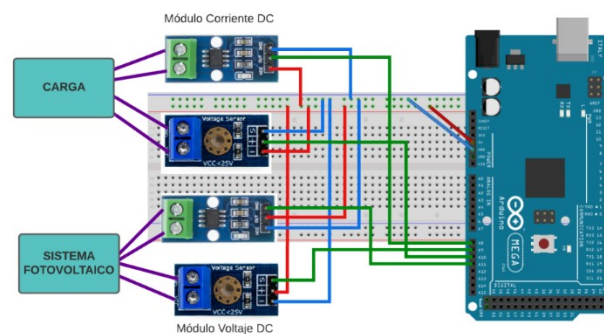


Como resultado del estudio realizado se determinó que la demanda energética en el hogar es de 200 W. Por esta razón, el sistema fotovoltaico instalado tiene una capacidad de suministro de energía de 100 W y una eficiencia del 14.6% de acuerdo a las características de los equipos.

DISEÑO DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El medidor es el encargado de estimar la potencia eléctrica generada por el Sistema Fotovoltaico Off Grid. Para esto, se utilizó una tarjeta Arduino Mega 2560, la cual, mediante la recepción de señales analógicas a través de sensores de corriente, voltaje y radiación solar, se realiza la medición y el almacenamiento de los datos obtenidos en los dos puntos del sistema que se muestra en la figura 3. La base de datos generada es utilizada para realizar el cálculo de la potencia eléctrica disponible y consumida por las cargas eléctricas conectadas al sistema. A continuación, se muestra el diagrama de conexión entre la tarjeta Arduino Mega 2560 y los sensores utilizados.

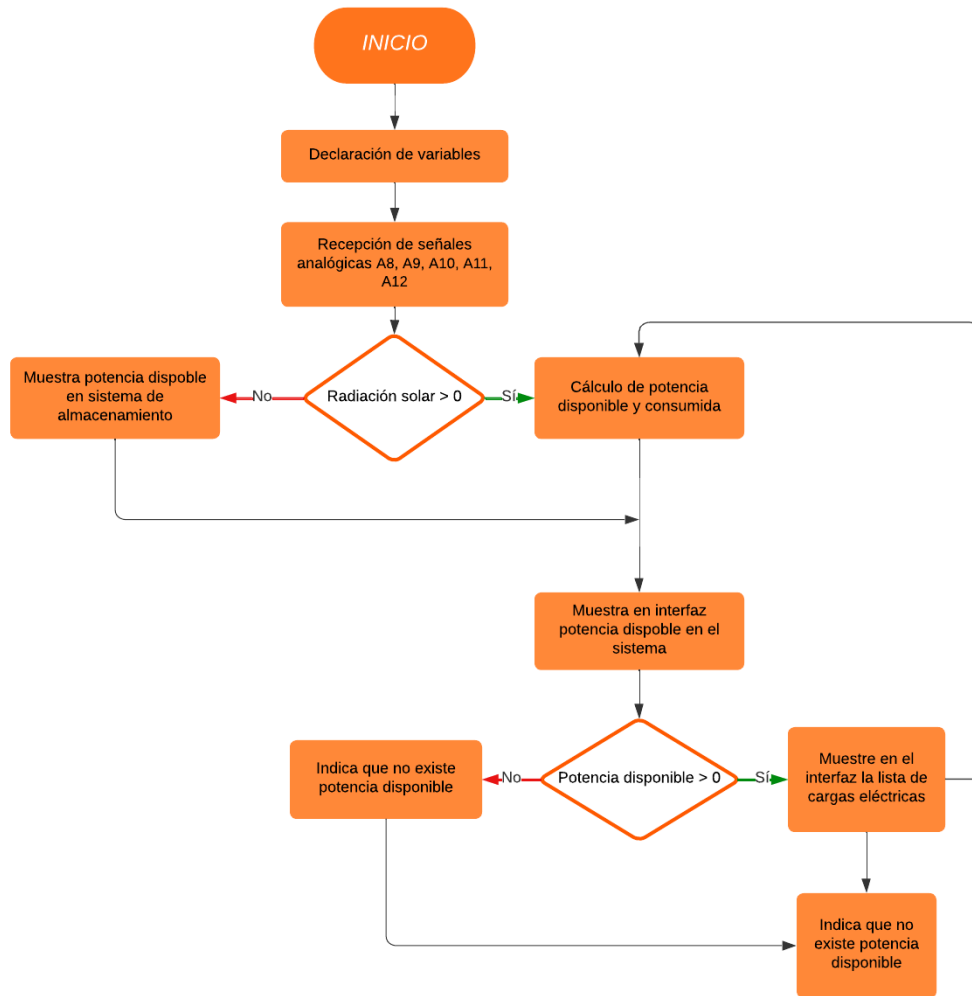
Figura 3. Diagrama de conexión



RECOLECCIÓN DE DATOS

La generación de una base de datos es importante para realizar el análisis y evaluación de la disponibilidad de la potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. Para la recolección de datos como primer paso se realizó la instalación de las librerías de los módulos de sensores de corriente, voltaje, Módulo SD y temperatura, en el software de Arduino IDE. Al finalizar la instalación se realizó la programación para la recepción de señales analógicas desde los sensores que serán los encargados de tomar los datos de campo la carga y el sistema fotovoltaico, estos datos son almacenados durante un periodo de 15 días en el módulo SD para su posterior análisis. A continuación, se muestra en la figura 4 el diagrama de flujo de la programación realizada para la recolección de datos.

Figura 4. Diagrama de flujo de programación



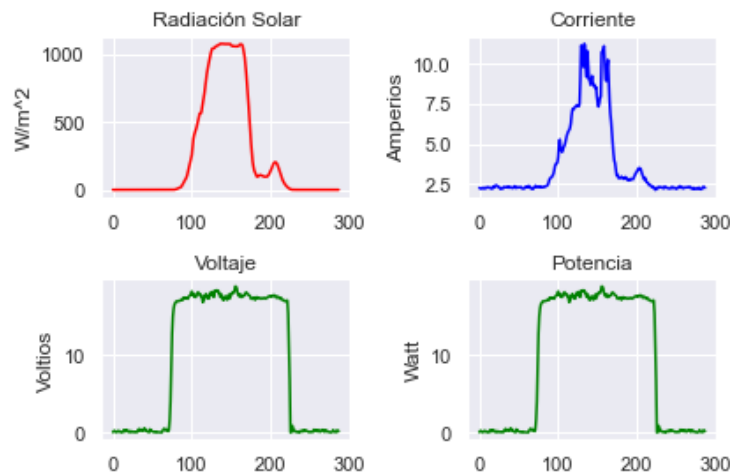
Los sensores utilizados para el envío de señales a la tarjeta Arduino MEGA 2560, presento perturbaciones por presencia de ruido, por esta razón se implementó un filtro pasa-bajo de primer orden Media Móvil Exponencial (EMA), en cada una de las lecturas analógicas de corriente, voltaje y radiación solar. A continuación, se muestra la expresión matemática empleada en la programación.

Media Móvil Exponencial (EMA):

$$S(t) = \begin{cases} Y(0) & t = 0 \\ \alpha Y(t) + (1-\alpha)S(t-1) & t > 0 \end{cases}$$

Los datos son almacenados en una MicroSD por un intervalo de tiempo de 5 min por un periodo de 15 días, esto con el objetivo de ver el comportamiento de las variables en el sistema fotovoltaico y la conexión carga. A continuación, se muestra en la figura 5, las curvas de corriente, voltaje y potencia obtenidos durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Figura 5. Curvas de variables eléctricas medidas del PV



DISEÑO DEL INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN

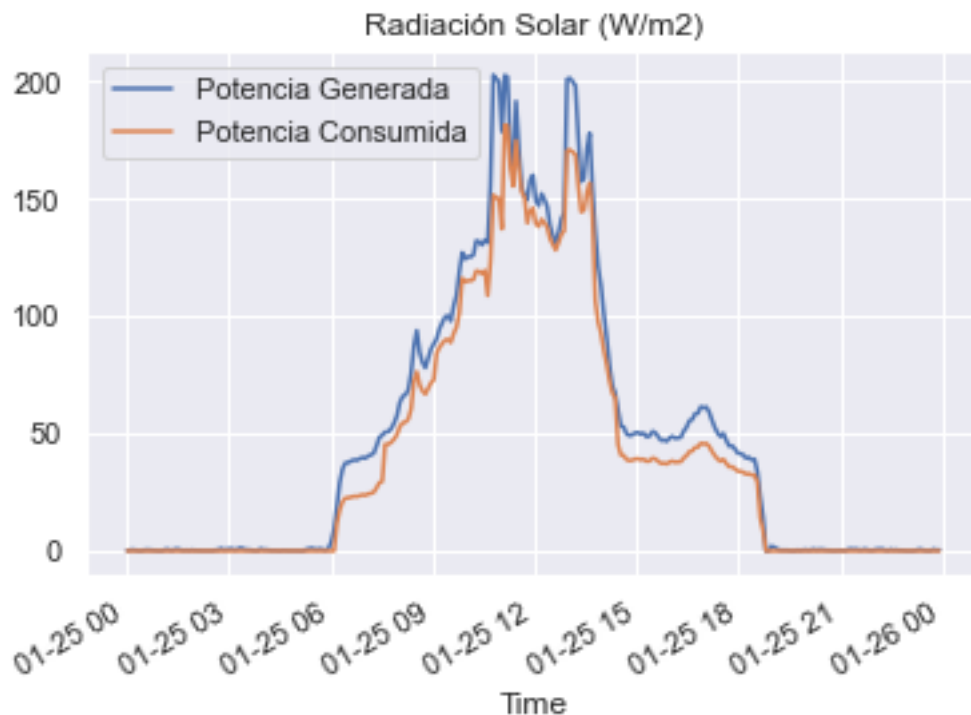
El interfaz de visualización permite al usuario realizar la gestión de energía eléctrica en su hogar por medio de la información visual proporcionada por una pantalla LCD, esto le permiten identificar que potencia tiene disponible en el sistema para su uso y que cargas podría conectar para su uso. De acuerdo a la disponibilidad de energía esta información se va actualizando constantemente, esto con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento de los aparatos eléctricos.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para comprobar el correcto funcionamiento del medidor de energía presentado en la presente investigación se realizó medidas con una pinza amperimétrica, los resultados arrojados mostraron similitud con los datos de corriente y voltaje que se visualizan en la interfaz con un porcentaje de error de 5%, lo que demuestra que el diseño del medidor de energía presentado en la presente investigación con una tarjeta de adquisición de bajo costo es confiable y sobre todo es una herramienta que permite al usuario informarse de la potencia disponible y de esta forma puede decidir que carga conectar al sistema.

Para observar el funcionamiento de sistema de generación y el comportamiento de cargas eléctricas, se recopiló datos para la obtención de gráficas de corriente, voltaje y potencia disponible. A continuación, se muestra en la figura 6 las curvas de funcionamiento de dichas magnitudes.

Figura 6. Curvas de potencias consumida y generada



En la figura 6 se puede apreciar el comportamiento de la corriente y voltaje al realizar la conexión de cargas eléctricas en el sistema, mediante la cual se puede evidenciar que no existen perturbaciones en dichas magnitudes eléctricas. Por otra parte, es importante que indicar que la gestión de energía se realizó de acuerdo a las necesidades del usuario, logrando de esta forma garantizar el buen funcionamiento de los aparatos eléctricos y sobre todo proteger al sistema de almacenamiento mientras el sistema no genere electricidad, principalmente en horas de la noche.

CONCLUSIONES

El medidor de energía eléctrica permitió al usuario comprender la importancia de la gestión de carga en un sistema eléctrico, debido a que era el encargado de conectar y desconectar carga de acuerdo a la disponibilidad de la potencia en las diferentes horas del día, por otra parte, también permitió cuidar el sistema de almacenamiento debido a que el medidor cuenta con un sistema de alarma para informar el porcentaje máximo de descarga (50% de su capacidad nominal).

La aplicación de filtros digitales en las señales analógicas enviadas desde los sensores es importante para no tener lecturas erróneas en el interfaz del medidor. De tal forma que permita reducir el porcentaje de error, para este caso de estudio el porcentaje de error estaba en un 15% y al implementar el filtro se redujo a un 5%.

La demanda energética es un punto muy importante que se debe tener en cuenta para el diseño de sistemas fotovoltaicos, así como el contar con datos meteorológicos que permitan evaluar el potencial de energía fotovoltaica disponible para la generación de energía eléctrica.

LISTA DE REFERENCIAS

- Abusharia, R. M., & Al-Aubidy, K. M. (2022). Embedded control unit design for energy management in smart homes. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(5), 2537–2546. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i5.4103>
- Al-Dahidi, S., Louzazni, M., & Omran, N. (2020). A Local Training Strategy-Based Artificial Neural Network for Predicting the Power Production of Solar Photovoltaic Systems. *IEEE Access*, 8, 150262–150281. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016165>
- Chojacki, A., Rodak, M., Ambroziak, A., & Borkowski, P. (2020). Energy management system for residential buildings based on fuzzy logic: Design and implementation in smart-meter. *IET Smart Grid*, 3(2), 254–266. <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2019.0005>
- Karthick, T., Charles Raja, S., Jeslin Drusila Nesamalar, J., & Chandrasekaran, K. (2021). Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100454>
- Kumar, A., Alghamdi, S. A., Mehbodniya, A., anul haq, M., Webber, J. L., & Navruzbek Shavkatovich, S. (2022). Smart power consumption management and alert system using IoT on big data. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102555. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2022.102555>
- Liu, C., Shi, J., Chen, H., & Chen, L. (2020). Estimating aggregated behind-the-meter photovoltaic generation using smart meter data. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2020-August*. <https://doi.org/10.1109/PESGM41954.2020.9281564>
- Mbungu, N. T., Bansal, R. C., Naidoo, R. M., Bettayeb, M., Siti, M. W., & Bipath, M. (2020). A dynamic energy management system using smart metering. *Applied Energy*, 280, 115990. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2020.115990>

- Peratikou, S., & Charalambides, A. G. (2022). Estimating clear-sky PV electricity production without exogenous data. *Solar Energy Advances*, 2, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.seja.2022.100015>
- Shamshiri, M., Gan, C. K., Baharin, K. A., & Azman, M. A. M. (2019). IoT-based electricity energy monitoring system at Universiti Teknikal Malaysia Melaka. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 8(2), 683–689. <https://doi.org/10.11591/eei.v8i2.1281>
- Tajwar, A. S. R., Ahmed, A., Hazari, M. R., & Mannan, M. A. (2021). Solar Photovoltaic-Based Smart Metering System. *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 530–534. <https://doi.org/10.1109/ICREST51555.2021.9331098>
- Venkateswaran, R. B., Tomar, A., Nguyen, P., & Suma, A. (2021). An Optimal Energy Management System Using Day-ahead Prediction Algorithm. *Proceedings of 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe: Smart Grids: Toward a Carbon-Free Future, ISGT Europe 2021*. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope52324.2021.9640220>
- Yadagani J., Balakrishna P., & Srinivasulu G. (2019). *An Effective Home Energy Management System Considering Solar PV Generation*. 57–62. <https://doi.org/10.1109/ICSETS.2019.8744780>