

Análisis de radiación solar y validación experimental en un sistema fotovoltaico aislado.

Analysis of Solar Radiation and Experimental Validation in an Isolated Photovoltaic System.

Vela-Carrasco, Alexis Xavier¹; Salazar-Achig, Edgar Roberto².

¹ Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi; Ecuador, Latacunga; <https://orcid.org/0009-0000-8743-0297>; alexis.vela2@utc.edu.ec

² Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi; Ecuador, Latacunga; <https://orcid.org/0000-0003-4770-1181>; edgar.salazar7619@utc.edu.ec

¹ Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n3/361>

Cita: Vela-Carrasco, A. X., & Salazar-Achig, E. R. (2026). Análisis de radiación solar y validación experimental en un sistema fotovoltaico aislado. *Innova Science Journal*, 4(3), 490-500. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n3/361>

Recibido: 27/01/2026

Aceptado: 18/06/2026

Publicado: 31/07/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: En zonas rurales de la sierra ecuatoriana, los sistemas fotovoltaicos aislados representan una elección eficaz para el suministro eléctrico. Sin embargo, la variabilidad de la radiación solar afecta claramente el comportamiento de carga y descarga de las baterías, complicando la estabilidad y confiabilidad del sistema. Este estudio analiza experimentalmente el impacto de la irradiancia solar en el desempeño del sistema fotovoltaico aislado, la cual está compuesto por un panel solar de 565 W, controlador de carga y descarga para el banco de batería que están conectadas en paralelo. Para la adquisición de datos se utilizó un piranómetro portátil APOGEE para medir con precisión la irradiancia solar y un multímetro industrial FLUKE 289 para poder registrar voltaje y corriente durante los ciclos de carga y descarga. Los resultados demostraron que las variaciones de la radiación solar influyen en la corriente de carga y en la estabilidad de descarga del sistema. Incluso en condiciones de baja irradiancia, el sistema se mantuvo estable con los valores de corrientes de carga entre 6,5 A y 8,5 A, mientras que durante la descarga más que todo en la noche, presentó una corriente promedio de 8,63 A. La validación experimental ratifica la importancia de la irradiancia solar en la optimización y confiabilidad de sistemas fotovoltaicos aislados.

Palabras clave: radiación solar; sistema fotovoltaico aislado; baterías; irradiancia solar; carga y descarga; validación experimental; energía renovable.

Abstract: In rural areas of the Ecuadorian highlands, off-grid photovoltaic systems represent an effective option for electricity supply. However, the variability of solar radiation clearly affects the charging and discharging behaviour of the batteries, which compromises the stability and reliability of the system. This study experimentally analyses the impact of solar irradiance on the performance of the off-grid photovoltaic system, comprising a 565 W solar panel and a charge and discharge controller for the battery bank, connected in parallel. For data acquisition, a portable APOGEE pyranometer was used to accurately measure solar irradiance, and a FLUKE 289 industrial multimeter was used to record voltage and current during the charge and discharge cycles. The results demonstrated that variations in solar radiation influence the system's charging current and discharge stability. Even under low irradiance conditions, the system remained stable with charging currents between 6.5 A and 8.5 A, whilst during discharge, particularly at night, it exhibited an average current of 8.63 A. The experimental validation confirms the importance of solar irradiance in the optimisation and reliability of off-grid photovoltaic systems.

Keywords: solar radiation; isolated photovoltaic system; batteries; solar irradiance; charging and discharging; experimental validation; renewable energy.

1. Introducción

En zonas rurales y localidades un poco aisladas, donde la extensión de la red eléctrica es técnica o económicamente inviable, los sistemas fotovoltaicos (FV) aislados se han afianzado como una clave alternativa para garantizar el acceso a la energía. Estos sistemas permiten sustituir o reducir el uso de generadores a diésel, asociados a altos costos operativos y elevadas emisiones (Palacios-López et al., 2025), pero su desempeño depende fuertemente de la disponibilidad del recurso solar y de una adecuada gestión del almacenamiento en las baterías (Cho & Valenzuela, 2020; González et al., 2020). Guerrero-Calero et al. (2023) señalan que la implementación de energías limpias tiene desafíos tecnológicos, lo que requieren estrategias integrales para lograr una transición energética sostenible.

La radiación solar presenta variaciones a diario, según las estaciones del año principalmente a nubosidad y condiciones atmosféricas locales. Estas fluctuaciones se traducen en cambios significativos en la potencia del sistema fotovoltaico y en los regímenes de carga y descarga de las baterías, afectando el estado de carga, la profundidad de descarga afectando la vida útil y confiabilidad del sistema (Al-Bashir et al., 2020; Kumba et al., 2024; McCormick & Suehrcke, 2018; Tejero-Gómez & Bayod-Rújula, 2024).

En sistemas aislados, donde la batería es el único respaldo, comprender esta relación radiación – batería es primordial para su dimensionamiento y que su operación sea adecuada para el sistema (Cho & Valenzuela, 2020; González et al., 2020). A su vez, el cambio climático está variando los patrones de irradiancia, nubosidad, lo que impacta la producción fotovoltaica y su variabilidad a distintas escalas (Bamisile et al., 2025; Bozsik et al., 2024; Chen et al., 2024; Osman et al., 2023).

En las proyecciones recientes se muestran algunos cambios en la generación media y en la frecuencia de días de baja potencia en el sistema fotovoltaico, principalmente en ciertos rangos, lo que aumenta la incertidumbre sobre la disponibilidad futura de energía solar (Bozsik et al., 2024; Chen et al., 2024; Osman et al., 2023). Estas directrices pueden agravar los desafíos de diseño y operación de sistemas fotovoltaicos aislados, al requerir mayores márgenes de seguridad en el almacenamiento debido a la intermitencia (Bamisile et al., 2025; Chen et al., 2024).

En este contexto, se identifica como el principal problema la falta de estudios experimentales detallados que puedan analizar cómo actúa la variabilidad real de la radiación solar que se refleja en los perfiles de carga y descarga de las baterías en sistemas fotovoltaicos aislados, considerando las condiciones ambientales (Jurasz et al., 2020; Kumba et al., 2024; McCormick & Suehrcke, 2018; Tejero-Gómez & Bayod-Rújula, 2024). Aunque existen trabajos que modelan el efecto de la irradiancia sobre la potencia en los sistemas fotovoltaicos - batería, muchos se basan en simulaciones o en resoluciones temporales que no capturan adecuadamente las fluctuaciones de corto plazo que afectan las corrientes de batería (Al-Bashir et al., 2020; Cho & Valenzuela, 2020; González et al., 2020; McCormick & Suehrcke, 2018).

Por ello, el principal objetivo del actual estudio es analizar la radiación solar y su impacto en la carga y descarga de baterías para el sistema fotovoltaico aislado, mediante una validación experimental basada en mediciones de campo. Particularmente, se busca:

determinar el recurso solar en el sitio de estudio, incluyendo su variabilidad de corto plazo; registrar el comportamiento dinámico de la batería (estado de carga, corrientes) en condiciones reales de operación; y establecer relaciones entre la variabilidad de la radiación solar y los patrones de carga/descarga (Jurasz et al., 2020; Kumba et al., 2024; McCormick & Suehrcke, 2018; Tejero-Gómez & Bayod-Rújula, 2024).

La justificación de este trabajo se apoya en varios aspectos. Desde el punto de vista técnico, los resultados permiten el mejoramiento en criterios de dimensionamiento y operación de bancos de baterías en sistemas fotovoltaicos aislados, reduciendo sobredimensionamientos y aumentando la confiabilidad energética (Jurasz et al., 2020; Kumba et al., 2024; McCormick & Suehrcke, 2018; Tejero-Gómez & Bayod-Rújula, 2024).

En términos económicos y ambientales, un diseño más concreto del almacenamiento contribuye a disminuir los costos de reemplazo de baterías y maximizar el aprovechamiento de la energía solar aprovechable, reduciendo la necesidad de generación que contamine el medio ambiente (Jathar et al., 2023; Jurasz et al., 2020; Osman et al., 2023). En conclusión, la validación experimental en condiciones reales aporta evidencia real valiosa para complementar los modelos y estudios previos, brindando lineamientos aplicables a contextos similares donde los sistemas fotovoltaicos aislados son fundamentales para la seguridad energética local (Cho & Valenzuela, 2020; Kumba et al., 2024; McCormick & Suehrcke, 2018; Al-Bashir et al., 2020).

Los sistemas fotovoltaicos aislados (off-grid) son una alternativa eficaz para el suministro eléctrico en zonas sin acceso a la red convencional. Su funcionamiento se basa en la conversión de energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, integrando componentes como generador fotovoltaico, regulador de carga, inversor y banco de baterías.

El desempeño del sistema depende de la correcta interacción entre estos componentes, especialmente del controlador de carga, que regula el flujo energético para evitar sobrecargas o descargas profundas (González et al., 2020). En sistemas aislados, el almacenamiento energético es crítico, ya que garantiza el suministro continuo en ausencia de radiación solar (Cho & Valenzuela, 2020).

La generación de energía en sistemas fotovoltaicos depende directamente de la irradiancia solar, la cual presenta variaciones debido a factores climáticos como nubosidad, temperatura, altitud y condiciones atmosféricas.

Estudios han demostrado que la variabilidad de la radiación solar impacta significativamente la estabilidad del sistema, afectando la potencia generada y los ciclos de carga y descarga de las baterías (McCormick & Suehrcke, 2018). Además, en regiones tropicales y andinas, esta variabilidad es más pronunciada, lo que dificulta la predicción y gestión energética (Al-Bashir et al., 2020).

El almacenamiento energético es un elemento clave en sistemas aislados. Las tecnologías más utilizadas incluyen baterías de plomo-ácido, ion-litio, níquel-cadmio y baterías de flujo.

Las baterías de ion-litio presentan ventajas como mayor densidad energética, eficiencia y vida útil, mientras que las de plomo-ácido continúan siendo utilizadas por su bajo costo (Kumba et al., 2024). Sin embargo, la selección de la tecnología depende del perfil de carga, condiciones ambientales y disponibilidad de recursos. Investigaciones comparativas indican que las baterías de ion-litio ofrecen mejor desempeño bajo condiciones variables de radiación, aunque su costo inicial es mayor (Tejero-Gómez & Bayod-Rújula, 2024).

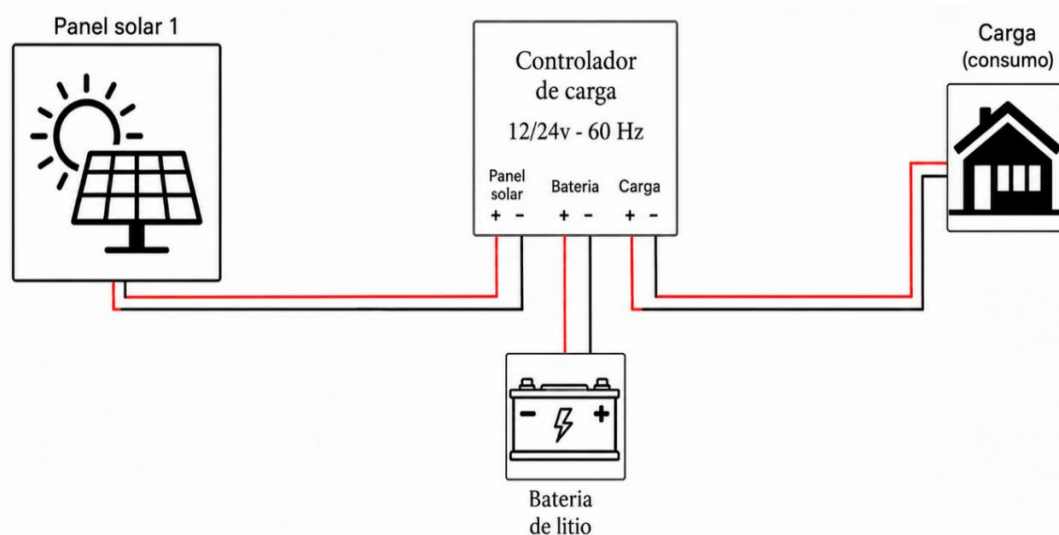
Investigaciones recientes han analizado el impacto de condiciones climáticas extremas en sistemas fotovoltaicos. Eventos como baja irradiancia prolongada, alta nubosidad o temperaturas extremas afectan tanto la generación como el almacenamiento energético.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación se define como de tipo cuantitativo y explicativo, con un diseño experimental de campo. Es experimental porque se manipulan y controlan las condiciones de medición para observar el comportamiento del sistema de almacenamiento, y es de campo porque los datos se recolectan directamente de un sistema fotovoltaico que opera en condiciones climáticas reales. Asimismo, posee un alcance correlacional, ya que busca establecer el grado de relación entre la variabilidad de la irradiancia solar y la dinámica de transferencia de energía en las baterías. El sistema fotovoltaico utilizado para el estudio del análisis experimental se muestra en la Figura 1

Figura 1.

Diagrama del sistema fotovoltaico aislado de la red.



Nota: Elaborado por los autores

Para poder realizar las mediciones de la irradiancia solar se necesita principalmente de un piranómetro portátil marca APOGEE (Ver Figura 2), que sirve para registrar la irradiancia solar en tiempo real, permite la obtención de datos tanto manual como automáticamente donde está instalado el sistema fotovoltaico, el dispositivo cuenta con una memoria de almacenamiento de 99 datos y en su pantalla principal se muestra la radiación en W/m².

Figura 2.

Piranómetro Portátil Apogee



Nota: Tomado de MP-200: Pyranometer Separate Sensor with Handheld Meter, por Apogee Instruments, Inc. (2026).

A continuación, se procede analizar la carga y descarga de las baterías en el sistema fotovoltaico, de igual manera se necesita un instrumento de medición de corriente y voltaje por lo cual se utilizó el multímetro industrial FLUKE 289 que se observa en la Figura 3, para determinar los parámetros eléctricos que pueden afectar la vida útil de las baterías, al momento de su funcionamiento para un monitoreo continuo durante un periodo de tiempo para observar el comportamiento del banco de baterías en un día típico, por lo cual este instrumento de alta precisión se utiliza para la medición exacta en un determinado lapso de tiempo, con la ayuda del programa TrendCapture (programa que sirve para registrar, analizar y visualizar mediciones a lo largo del tiempo), puede almacenar más de 15000 datos para diversas pruebas, en este caso para medir voltaje y corriente en la carga y descarga de la batería.

Figura 3.

Multímetro Fluke 289.



Nota: Tomado de Fluke 289 True-RMS Industrial Logging Multimeter, por Fluke Corporation (2026).

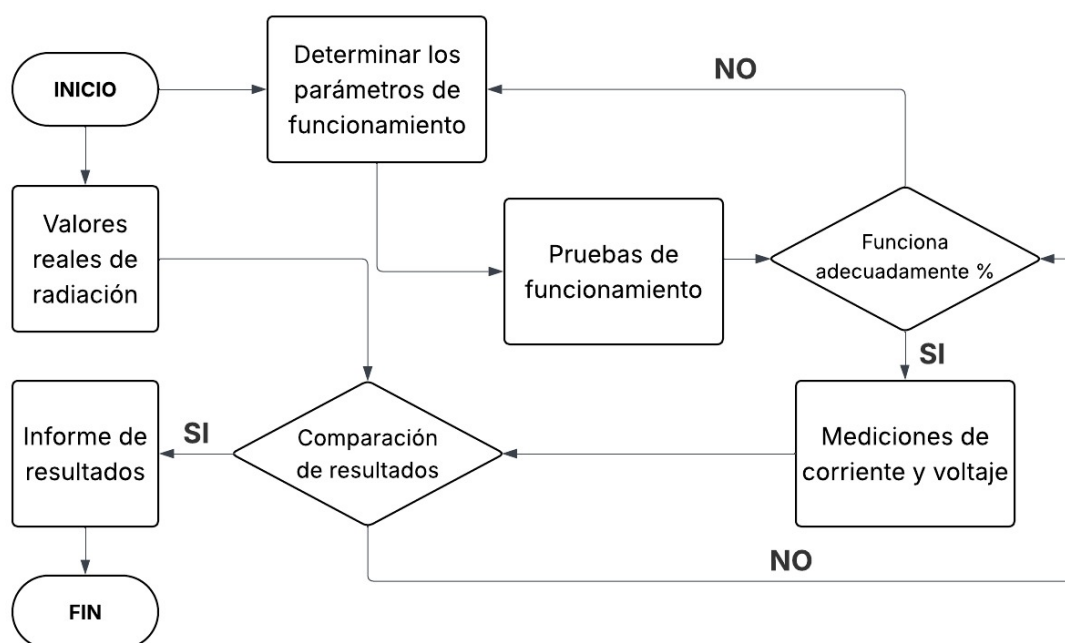
2.1. Pruebas experimentales sobre la carga y descarga de las baterías.

Las pruebas de carga y descarga de las baterías del sistema fotovoltaico se desarrollaron mediante un escenario experimental (Ver Figura 4), se utilizó un panel

solar de 565 W que cubre la demanda energética y con una inclinación de 25° del sistema instalado que considero el mantenimiento y acumulación de polvo en el panel solar, teniendo los datos principales se procede a determinar los parámetros de funcionamiento que son, la Irradiancia solar del sistema, medida con el piranómetro portátil Apogee. Para realizar el análisis y el impacto de la irradiancia solar que tendría en las baterías, se utiliza las mediciones de corriente y voltaje con los valores reales que se obtuvieron del multímetro industrial Fluke 289 donde se puede medir la corriente y voltaje, y en caso de que sea necesario se utilizara pinzas amperimétricas digitales, y mediante el programa Python, se puede comparar los valores obtenidos para el análisis de resultados.

Figura 4.

Diagrama de flujo de la validación experimental de la carga y descarga de las baterías.



Nota: Elaborado por los autores

Para el sistema fotovoltaico se necesita determinar el número de baterías ya que se considera el consumo de la energía en el transcurso del día, su autonomía, su porcentaje de carga y descarga da como resultado la utilización de dos baterías conectadas en paralelo. En la tabla 1 se puede observar las mediciones que se realizó para determinar con cuántas baterías se necesita para el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 1.

Datos del banco de baterías.

Valores requeridos del Banco de Baterías	
Magnitud	Valor
Energía Diaria	1.99 KWh/día
Voltaje Sistema	12 V

Intensidad por hora	39. 88 Ah
Intensidad por día	199. 38 Ah
Número de baterías	2

Nota: Elaborado por los autores

En esta ocasión se utilizó la batería marca UTL modelo FGL 121500, esta batería fue seleccionada por su capacidad de almacenamiento, su estabilidad durante ciclos de carga y descarga y es compatible con sistemas fotovoltaicos aislados utilizados en validaciones experimentales. En la tabla 2 se presenta las especificaciones técnicas de la batería.

Tabla 2.

Datos técnicos batería FLG 121500

Potencia (Pmax)	Voltaje de circuito abierto (Voc)	Corriente de corto circuito (Isc)	Voltaje en potencia máxima (Vmp)	Corriente en potencia máxima (Imp)	Eficiencia
1000 W	110 VAC	9 A	120 VAC	9 A	85%

Nota: Elaborado por los autores

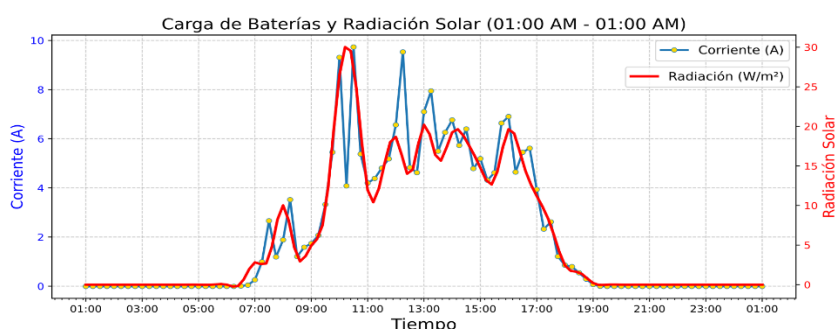
3. Resultados

3.1. Carga

El sistema solar fotovoltaico aislado evaluado demostró un comportamiento confiable, incluso en condiciones de baja radiación solar. En este caso el día en que se realizó las mediciones fue en un ambiente predominantemente nublado con irradiancia muy baja, el sistema fotovoltaico mantuvo una corriente de carga estable con los valores entre 6,5 A y 8,5 A (Figura 5). Dicha corriente de carga permite una recarga continua de las baterías donde se pudo alcanzar un promedio de 4,74 A. Los valores indican que el sistema es capaz de extraer la potencia disponible y de manera eficiente para el funcionamiento en la casa comunal, a pesar de registrar niveles de irradiancia muy imperceptibles, el nivel de carga se mantuvo en una corriente de carga estable y sostenida hacia el banco de baterías, lo que sobresale la robustez del dimensionamiento del panel solar de 565 W.

Figura 5.

Curva Carga de baterías.



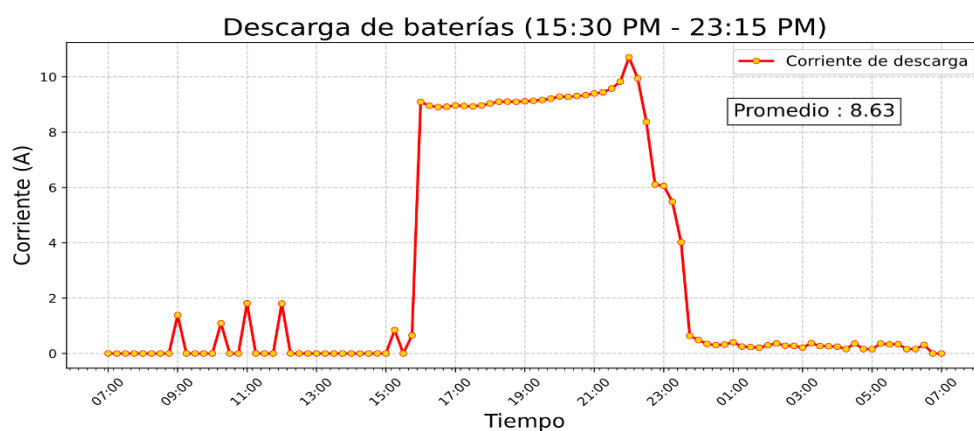
Nota: Elaborado por los autores

3.2. Descarga

El sistema solar aislado (Figura 6) presentó una operación eficiente durante el período de descarga nocturna, con una corriente promedio de 8,63 A. Se observó una caída transitoria entre las 15:30 y 17:00 horas debido a una mayor demanda durante una actividad en la casa comunal, pero la corriente se logró estabilizar rápidamente. La corriente de descarga se mantuvo en valores elevados y sólidos, ya que la estabilidad en la descarga demuestra que el banco de baterías fue adecuadamente dimensionado para cubrir la demanda energética diaria estimada (1,99 kWh/día), manteniendo un suministro confiable durante las horas sin radiación solar, aspecto fundamental para aplicaciones aisladas en comunidades rurales.

Figura 6.

Descarga de baterías.



Nota: Elaborado por los autores

4. Discusión

A partir de los resultados experimentales de la Figura 5 se observa una respuesta clara en el sistema ante las variaciones de radiación solar: los periodos de leve incremento en la irradiancia solar coincidieron con una mayor inyección de corriente de carga, el valor de la corriente promedio de carga que se registra en el ensayo experimental es de 4,74 A. Este comportamiento valida empíricamente lo planeado por McCormick y Suehrcke (2018), quienes sostienen que la intermitencia a corto plazo de la radiación solar dicta directamente el régimen operativo y la eficiencia en la captura energética de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, mientras que los modelos teóricos y simulaciones previas como las de Al-Bashir et al. (2020), sugieren que las caídas drásticas de irradiancia inducen inestabilidades severas y fallos críticos en el proceso de carga, indicando la capacidad para extraer la máxima potencia disponible en condiciones de baja irradiancia solar. Las fluctuaciones registradas reflejan una operación similar del sistema, ajustándose a la disponibilidad del recurso solar sin interrupciones en el proceso de carga en las baterías.

Los resultados de la Figura 5 resaltan la adaptabilidad del sistema frente a condiciones meteorológicas desfavorables, donde se avala la recarga continua de las baterías inclusive en días de baja insolación. La estabilidad de la corriente de carga confirma un adecuado dimensionamiento y configuración del sistema, que logra aprovechar

eficientemente la radiación aprovechable para mantener el estado de carga de las baterías. Esta adaptabilidad frente a condiciones meteorológicas desfavorables andinas concuerda con las estrategias de gestión sugeridas por Gonzales et al. (2020), fortificando la idea de que la correcta interacción de los componentes minimiza la incertidumbre climática.

Se observó en la Figura 6 una operación mayormente estable con valores de corriente entre 8 y 9 A durante la mayor parte del período analizado. Únicamente se registró una caída transitoria en la corriente aproximadamente entre las 15:30 - 17:00, debido a que donde se encuentra instalado el sistema fotovoltaico, es en la casa comunal de Colaya Juridico, y al momento de realizar las mediciones estuvieron presentes en una sesión para anunciar el funcionamiento de dicho sistema, al que se pudo analizar la transición entre la fase final de carga y el inicio del ciclo de descarga. Este resultado respalda directamente los criterios de optimización expuestos por Cho y Valenzuela (2020), quienes destacan que una correcta estimación de la autonomía previene regímenes de operación erráticos durante la ausencia del recurso solar. A continuación, la corriente se estabilizó nuevamente en niveles altos, demostrando la capacidad del banco de baterías para proveer energía de forma sostenida durante las horas de mayor demanda nocturna.

Estos resultados evidencian un correcto funcionamiento del banco de baterías y una gestión eficiente de la energía almacenada, por ello lo señalado por Kumba et al. (2024), quienes concluyen que las baterías son sometidas a condiciones de irradiancia variable pueden mantener un desempeño satisfactorio cuando el sistema fotovoltaico presenta una configuración adecuada, permitiendo mantener una corriente de descarga elevada inclusive en condiciones de ausencia de radiación solar. La alta corriente evidencia una demanda consistente del sistema y una buena capacidad de entrega de potencia por parte de las baterías. En contraste, Tejero-Gomez y Bayod-Rújula (2024), indican que periodos prolongados de baja irradiancia pueden acelerar el envejecimiento de las baterías si el almacenamiento no ha sido correctamente dimensionado. Por suerte en el presente estudio no se ha encontrado evidencia con problemas de estabilidad, lo que indica que el sistema implementado cuenta con una capacidad favorable para afrontar variaciones climáticas.

5. Conclusiones

El sistema fotovoltaico aislado con validación experimental señaló un alto nivel de confiabilidad al concordar con la disponibilidad del recurso solar. Durante días con nubosidad e irradiancia casi imperceptible, el sistema logró mantener una corriente de carga sostenible y continua hacia el banco de baterías, oscilando la corriente entre los 6.5 A y 8.5 A.

La configuración del sistema manifestó ser apropiada para la demanda energética evaluada, manteniendo una corriente de descarga promedio de 8,63 A durante la noche. Estos resultados ratifican experimentalmente la importancia de considerar las energías renovables.

El banco de baterías exhibió un comportamiento estable durante los ciclos de carga y descarga, conservando corrientes sostenidas inclusive en condiciones de baja

irradiancia, manifestando un adecuado dimensionamiento y configuración del sistema fotovoltaico aislado.

La validación experimental favorece al mejoramiento en gestión energética, en el manejo de los sistemas fotovoltaicos aislados y optimización del almacenamiento energético en aplicaciones de energías renovables para comunidades en zonas rurales aisladas.

Referencias Bibliográficas

- Al-Bashir, A., Al-Dweri, M., Al-Ghandoor, A., Hammad, B., & Al-Kouz, W. (2020). Analysis of the effects of solar irradiance, cell temperature, and wind speed on photovoltaic systems performance. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(2), 353–359. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8591>
- Apogee Instruments, Inc. (2026). *MP-200: Pyranometer separate sensor with handheld meter*. Apogee Instruments. <https://www.apogeeinstruments.com/mp-200-pyranometer-separate-sensor-with-handheld-meter/>
- Bamisile, O., Acen, C., Cai, D., Huang, Q., & Staffell, I. (2025). Environmental factors affecting solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 203, 115073. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115073>
- Bozsik, N., Szeberényi, A., & Bozsik, N. (2024). Impact of climate change on household photovoltaic systems performance. *HighTech and Innovation Journal*, 5(1). <https://doi.org/10.28991/hij-2024-05-01-01>
- Chen, X., Mao, H., Tian, Z., Luo, Y., Zhou, C., Li, H., Wang, Q., Kong, W., & Fan, J. (2024). Impacts of climate change on global photovoltaic variability. *Applied Energy*, 374, 124087. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124087>
- Cho, D., & Valenzuela, J. (2020). Optimización de sistemas fotovoltaicos residenciales aislados de la red. *Solar Energy*, 208, 766–777. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.023>
- Fluke Corporation. (2026). *Fluke 289 True-RMS industrial logging multimeter*. Fluke. <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-289>
- González, L., Chacon, R., Delgado, B., Benavides, D., & Espinoza, J. (2020). Estudio de técnicas de compensación energética en sistemas solares fotovoltaicos con el uso de supercondensadores en redes de baja tensión. *Energies*, 13(15), 3755. <https://doi.org/10.3390/en13153755>
- Guerrero-Calero, J. M., Vera-Solórzano, D. R., Riofrío-Guevara, M. A., & Navarro-Saltos, G. E. (2023). Energías limpias y desarrollo sostenible: Una revisión sobre las tendencias y desafíos actuales. *Innova Science Journal*, 1(1), 38–50. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v1/n1/9>

- Jathar, L., Ganesan, S., Awasarmol, U., Nikam, K., Shahapurkar, K., Soudagar, M., Fayaz, H., El-Shafay, A., Kalam, M., Boudila, S., Baddadi, S., Tirth, V., Nizami, A., Lam, S., & Rehan, M. (2023). Comprehensive review of environmental factors influencing photovoltaic panel performance: Concern for emissions at different life cycle stages. *Environmental Pollution*, 334, 121474. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121474>
- Jurasz, J., Ceran, B., & Orłowska, A. (2020). Component degradation in small-scale off-grid photovoltaic systems with battery storage: Reliability, environmental impact and economic performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38, 100647. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100647>
- Kumba, K., Simon, S., Gundu, V., Upender, P., Ra, N., & Sarkar, M. (2024). Evaluation of battery degradation and predictive methods under resistive loading caused by intermittent solar radiation. *IEEE Access*, 12, 33720–33729. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3369914>
- McCormick, P., & Suehrcke, H. (2018). The effect of intermittent solar radiation on photovoltaic systems performance. *Solar Energy*, 174, 839–845. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.043>
- Osman, A., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D., & Yap, P. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 741–764. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8>
- Palacios-López, L. A., Pinargote-Bravo, V. J., Moran-González, M. R., & Navarro-Saltos, G. E. (2025). Estrategias para mitigar el cambio climático en ciudades sostenibles mediante una revisión de la literatura. *Innova Science Journal*, 3(2), 1–13. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n2/49>
- Tejero-Gómez, J., & Bayod-Rújula, Á. (2024). Battery energy storage system sizing for photovoltaic power smoothing including ageing analysis. *Energies*, 17(6), 1485. <https://doi.org/10.3390/en17061485>

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.