

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,
Volumen 10, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1

**APROVECHAMIENTO MÁXIMO
DE RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE
SEGUIMIENTO INTELIGENTE PARA LA
PROVISIÓN DE SERVICIO DE INTERNET
EN COMUNIDADES RURALES**

**MAXIMUM UTILIZATION OF SOLAR RADIATION
THROUGH INTELLIGENT TRACKING FOR RURAL
ENERGY SOLUTIONS**

Jonathan Meza Silva

Instituto Tecnológico de México, México

Silvestre Bedolla Solano

Instituto Tecnológico de México, México

Juan Jose Bedolla Solano

Instituto Tecnológico de México, México

Aprovechamiento Máximo de Radiación Solar Mediante Seguimiento Inteligente para la Provisión de Servicio de Internet en Comunidades Rurales

Jonathan Meza Silva¹jonamezas24@gmail.com<https://orcid.org/0009-0000-6924-6461>Instituto Tecnológico de México
Campus Acapulco
México**Silvestre Bedolla Solano**silvestre.bs@acapulco.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0001-8947-8403>Instituto Tecnológico de México
Campus Acapulco
México**Juan Jose Bedolla Solano**jjosedolla@hotmail.com<https://orcid.org/0000-0001-6999-8823>Instituto Tecnológico de México
Campus Acapulco
México

RESUMEN

El acceso limitado a la energía eléctrica en comunidades rurales impacta negativamente actividades esenciales como el estudio. La implementación de sistemas solares autónomos se propone como una solución sostenible. Los paneles solares fijos se ven limitados su uso por la variación del ángulo solar. Para optimizar la captación energética, se diseñó un sistema de panel solar con seguimiento solar automatizado. El sistema incluyó un panel de 100W, sensores LDR para detectar la máxima luminosidad, un microcontrolador que procesa las señales y un servomotor que orienta al panel. Se incorporó una batería de ciclo profundo y un controlador de carga para el almacenamiento y gestión de la energía destinada a suministrar un servicio de internet inalámbrico. Las pruebas realizadas entre el panel fijo y el panel con seguimiento revelaron un incremento en la captación energética diaria de entre el 9% y el 14% por parte del sistema automatizado. Este aumento permitió cargar completamente la batería y garantizar un promedio de seis horas de servicio de internet continua. En conclusión, el seguimiento solar mejoró significativamente la eficiencia energética, reduce la necesidad de instalar paneles adicionales y se consolida como una solución económica, replicable y sostenible para dotar de autonomía energética y mejorar las condiciones de vida en entornos rurales.

Palabras clave: energía renovable, comunidades rurales, seguimiento solar, eficiencia energética, panel solar

¹ Autor principal.

Correspondencia: jonameza24@gmail.com

Maximum Utilization of Solar Radiation Through Intelligent Tracking for Rural Energy Solutions

ABSTRACT

The limited access to electrical energy in rural communities negatively impacts essential activities such as studying. The implementation of autonomous solar systems is proposed as a sustainable solution. Fixed solar panels, however, are limited by the variation of the sun's angle. To optimize energy harvesting, the design of an automated solar tracking panel system is presented. The system includes a 100W panel, LDR sensors to detect maximum luminosity, a microcontroller that processes the signals, and a servomotor that orients the panel. A deep-cycle battery and a charge controller are incorporated for the storage and management of the energy intended for lighting. Tests conducted between the fixed panel and the tracking panel revealed an increase in daily energy harvesting of between 22% and 34% by the automated system. This increase allowed the battery to be fully charged and guaranteed an average of eight hours of continuous lighting. In conclusion, solar tracking significantly improves energy efficiency, reduces the need to install additional panels, and is established as an economical, replicable, and sustainable solution to provide energy autonomy and improve living conditions in rural environments.

Keywords: autonomous lighting, renewable energy, rural communities, energy efficiency, solar tracking

*Artículo recibido 22 diciembre 2025
Aceptado para publicación: 26 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética, impulsada por la expansión industrial y el crecimiento de la población, se ha duplicado en la última década, ejerciendo una enorme presión sobre los recursos existentes y aceleración (Sadeghi, Parenti, Memme, & Fossa, 2025)

La energía es un pilar esencial de nuestra sociedad y estilo de vida moderno. Dado que el aumento poblacional y el consumo masivo de aparatos eléctricos y electrónicos impulsan una demanda creciente, resulta imperativo generar energía de forma eficiente y minimizando el daño ambiental. Actualmente, el sector energético es un contribuyente significativo al cambio climático, siendo responsable de aproximadamente el 60% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Anastacio, 2022).

Los Sistemas de Seguimiento Solar (STS)

Los sistemas de seguimiento solar optimizan la captación de energía al mantener los paneles solares alineados con la trayectoria del sol, lo que puede incrementar la producción de energía entre un 20% y un 50%. Permiten un mejor aprovechamiento de la radiación solar a lo largo del día y del año, adaptándose a las variaciones estacionales y horarios. Contribuyen a la generación de energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y ayudando a mitigar el cambio climático (Anastacio, 2022).

El seguimiento solar es crucial porque maximiza la captación de luz solar, aumentando la eficiencia de los paneles solares. Permite que los paneles mantengan un ángulo óptimo de incidencia de la luz solar, lo que resulta en mayor voltaje y corriente generados. Esto se traduce en una carga más rápida de las baterías y un mejor rendimiento del sistema de energía solar. (Padilla Romero, 2022).

El aprovechamiento de la energía solar, requiere de un sistema de seguimiento solar (solar tracking), que puede ser de uno o dos ejes, Este subsistema es de importancia mayor, ya que un buen seguimiento permite minimizar pérdidas asociadas a una mala focalización en el receptor. Además, el seguidor solar puede representar un porcentaje importante del costo del sistema completo. (Mariana, 2024)

La utilización de un panel que permita el seguimiento solar, facilita obtener mas energía para cargar una batería y poder ser utilizada durante la noche.



El seguimiento solar es crucial para maximizar la captura de energía en paneles solares, ya que permite ajustar la orientación de los paneles para seguir la trayectoria del sol. Esto puede aumentar la eficiencia energética entre un 12% y un 20% en comparación con sistemas fijos, y los rastreadores de doble eje pueden alcanzar eficiencias de hasta el 90%. Además, estrategias como el backtracking ayudan a minimizar las pérdidas de energía causadas por sombras, optimizando así la generación de energía incluso en condiciones subóptimas (Sadeghi, Parenti, Memme, & Fossa, 2025).

La energía es fundamental para el acceso a la conectividad digital, ya que sin un suministro eléctrico confiable, los dispositivos y la infraestructura de telecomunicaciones no pueden funcionar. La integración de fuentes de energía renovable, como la solar, puede mejorar el acceso a la energía en áreas rurales y semiurbanas, facilitando así la conectividad digital. Además, una infraestructura energética sostenible y accesible fomenta el desarrollo económico y social al permitir el uso de tecnologías digitales en diversas comunidades. (Aco Benovic, 2025)

La baja eficiencia de los paneles solares fijos limita la generación de energía, afectando el acceso a servicios esenciales como internet en áreas aisladas. Esto resulta en un vacío tecnológico y social, impidiendo el acceso a información, educación y telemedicina. La investigación sugiere que mejorar la eficiencia de los sistemas solares podría facilitar la sostenibilidad de estos servicios en comunidades desatendidas. (Hilario Rivas, Bardales Linares, & Bollet Ramírez, 2025).

La conectividad digital es esencial para la inclusión social, y el acceso a energía renovable, como la solar, ofrece una solución sostenible ante la falta de infraestructura eléctrica convencional. Los sistemas fotovoltaicos autónomos son una opción viable para electrificar zonas rurales, proporcionando energía limpia y de calidad. Además, el uso de tecnologías como el seguimiento solar inteligente maximiza la captación de energía sin necesidad de aumentar el tamaño de los paneles, lo que reduce costos y mejora la eficiencia. (Mera Bravo & Rodríguez Gámez, 2024).

El estudio aborda la intersección entre energías renovables y telecomunicaciones rurales, enfocándose en la eficiencia de sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar. Se destaca la importancia de estos sistemas para maximizar la captación energética en contextos de recursos limitados, especialmente en aplicaciones agrícolas y comunitarias.



Además, se identifica un vacío en la literatura sobre la integración de tecnologías de energía solar con sistemas de telecomunicación autónomos, que este trabajo busca explorar y desarrollar (Mohammed Gmal & Gheorghe, 2021)

El estudio se centra en una comunidad rural que enfrenta desafíos significativos debido a la falta de acceso a la energía y a la conectividad digital. La ausencia de suministro eléctrico y la lejanía de áreas urbanas limitan el acceso a servicios esenciales, lo que resalta la necesidad de soluciones energéticas sostenibles. Este contexto proporciona una oportunidad para evaluar la efectividad y relevancia de un sistema propuesto para mejorar la situación energética y digital de la comunidad (Surafel Kifle, Schiasselloni, Cattani, & Bozzoli, 2025)

La investigación se centra en evaluar la eficiencia de un sistema de seguimiento solar inteligente para proporcionar energía a un sistema de internet rural autónomo. Los objetivos específicos incluyen analizar el rendimiento energético del panel con seguimiento, compararlo con paneles fijos y valorar el impacto de la conectividad en la comunidad. Este enfoque busca mejorar la sostenibilidad y la calidad de vida en áreas rurales a través de soluciones energéticas innovadoras (Pawar, Pawale, Nagthane, Thakre, & Jangale, 2021).

El seguimiento solar es crucial para maximizar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, ya que permite que los paneles se orienten hacia la fuente de luz más intensa, aumentando así la producción de energía. Además, ayuda a mitigar la disminución del rendimiento causada por la sombra y la acumulación de polvo. En resumen, el uso de seguidores solares optimiza la generación de energía solar y mejora la rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas (Singh, y otros, 2022)

METODOLOGIA

La propuesta de Varo Martínez, presenta un enfoque de modelado geométrico para rastreadores solares de doble eje en sistemas agrivoltaicos. Este método utiliza simulaciones detalladas de irradiancia solar y geometría espacial para identificar zonas no sombreadas adecuadas para actividades agrícolas bajo los paneles. Además, la integración de algoritmos de optimización, como el GPSO y el ABC, puede ser útil para mejorar la captura de energía en condiciones de sombreado parcial (Sadeghi, Parenti, Memme, & Fossa, 2025).



El algoritmo mas utilizado en seguimiento solar es el algoritmo azimutal, consiste en un conjunto de instrucciones o un método de cálculo que utiliza el concepto de azimut (ángulo horizontal) para determinar la dirección u orientación de un objeto con respecto a un punto de referencia, generalmente el norte geográfico. (Mariana, 2024)

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, experimental y de diseño tecnológico, orientado a evaluar el impacto del seguimiento solar inteligente en la optimización de energía destinada a sistemas de internet comunitario en zonas rurales. Se empleó un enfoque mixto, al integrar mediciones cuantitativas de generación energética y evaluaciones cualitativas del funcionamiento del servicio.

El estudio se aplicó en la comunidad rural de los Corales ubicada en la Costa Grande Guerrero, la comunidad no cuentan con acceso estable a la red eléctrica y el servicio de internet. Se eligió un punto estrategico que contara con las condiciones favorables de luz solar y necesidad comprobada de conectividad rural. Las características principales era ambientales como es la temperatura, irradiancia promedio solar, estos datos fueron registrados para la instalación y el comportamiento del sistema.

Materiales y equipos utilizados

Tabla 1 de Componentes: Sistema de Internet Autónomo con Seguimiento Solar

Tabla 1.- Material ocupado para la estructura del seguimineto solar

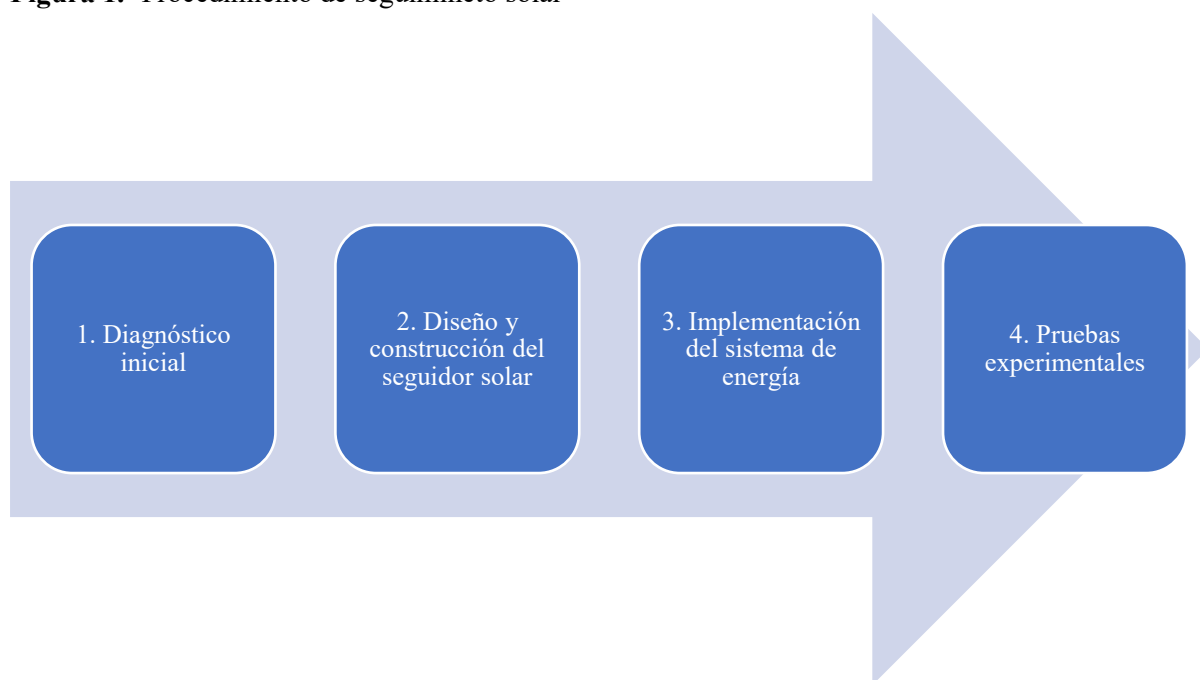
Componentes	función	Utilidad
Panel Solar Monocristalino (100 W)	Transforma la radiación solar en energía eléctrica de corriente directa (DC).	Es la fuente primaria de energía. Al ser monocristalino, ofrece mayor eficiencia en espacios reducidos.
Estructura de Seguimiento (1 eje)	Soporte mecánico que permite la rotación del panel sobre su propio eje.	Optimiza la captación de energía al mantener el panel orientado hacia el sol durante el día.
Sensores LDR (10 kΩ)	Resistencias variables que cambian su valor según la intensidad de la luz.	Actúan como los "ojos" del sistema, permitiendo que el microcontrolador sepa dónde está el punto más brillante del cielo.
Microcontrolador (Arduino/ESP32)	Unidad de procesamiento central que ejecuta el código de control.	Recibe los datos de los LDR y decide hacia dónde y cuánto debe moverse el motor



Servomotor MG996R / Motorreductor	Actuador electromecánico que genera el movimiento físico.	Mueve la estructura del panel con precisión y torque suficiente para soportar el peso y la resistencia al viento.
Controlador de Carga MPPT	Regulador de voltaje que maximiza la transferencia de energía (Maximum Power Point Tracking).	Asegura que la batería se cargue de forma óptima y protege contra sobrecargas, siendo más eficiente que los controladores PWM.
Batería (Ciclo Profundo)	Almacenamiento electroquímico de energía.	Garantiza que el sistema de internet siga funcionando durante la noche o en días nublados.
Multímetro y Sensor de Corriente	Herramientas de diagnóstico y monitoreo eléctrico.	Permiten medir el consumo real del sistema y validar que el panel esté generando la potencia esperada
Router / Punto de Acceso	Dispositivo de red que distribuye la señal de internet.	Permite que los usuarios finales (estudiantes o docentes) se conecten de forma inalámbrica al servicio.
Antena de Largo Alcance	Equipo de telecomunicaciones para recepción de señal (Radioenlace).	Establece la conexión con el nodo principal de internet, superando obstáculos geográficos en zonas rurales.

Procedimiento

Figura 1.- Procedimiento de seguimineto solar



Diagnóstico inicial

Se realizó un estudio preliminar para identificar las necesidades de disponibilidad de luz solar, la conectividad de la comunidad, y el tipo de infraestructura para las telecomunicaciones viable. Se registraron poca cobertura de señal, debido a las distancias lejanas a las torres y existe demanda estimada de usuarios por la poca conectividad en la comunidad.

Diseño y construcción del seguidor solar

El panel solar se montó sobre una estructura que puede ser controlada por un microcontrolador. Se colocaron dos sensores LDR apuntando en direcciones opuestas con ellos para poder detectar la luz. La diferencia de luminosidad entre sensores en el día genera una señal que activó el servomotor, ajustando la orientación del panel solar, para mantenerlo en línea recta a los rayos solares.

Implementación del sistema de energía

La energía generada por el panel se dirigió al controlador MPPT y posteriormente a la batería, que alimentó el router y la antena de transmisión. Se realizaron pruebas de carga en diferentes horarios para evaluar el comportamiento del sistema bajo variación de irradiancia.

Pruebas experimentales

Se evaluó el rendimiento del sistema mediante:

- Medición de voltaje, corriente y potencia del panel.
- Registro del porcentaje de carga de la batería.
- Tiempos de autonomía del sistema de internet.
- Estabilidad del servicio durante horas de máximo consumo.

Se comparó el desempeño entre panel fijo y panel con seguimiento solar durante varios días consecutivos.

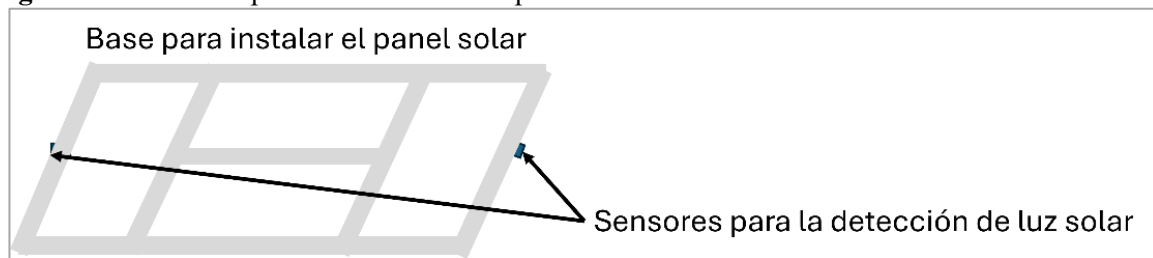
Diseño

En la Figura 2, se detalla el diseño de la base personalizada, una estructura de soporte diseñada bajo especificaciones exactas para maximizar el rendimiento del panel solar. A diferencia de los soportes genéricos, este diseño a medida permite:



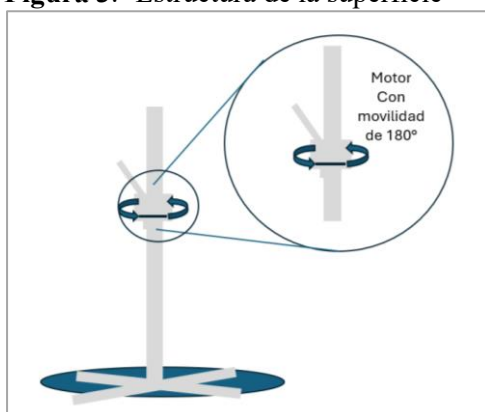
- Optimización del Ángulo de Inclinación: Ajustar la posición del panel según la latitud local para captar la mayor cantidad de radiación solar directa.
- Integración de Materiales: Utilizar aleaciones ligeras pero resistentes a la corrosión, garantizando una vida útil prolongada a la intemperie.
- Distribución de Carga: Asegurar que el peso del panel y la resistencia al viento (efecto vela) se distribuyan de manera uniforme para evitar daños estructurales.

Figura 2.- Estructura para la colocacion del panel solar



La Figura 3 detalla la interfaz de conexión entre la estructura y la superficie de instalación. Este módulo integra un actuador electromecánico (motor) capaz de realizar un barrido de 180 grados. Esta capacidad de movimiento es la base del algoritmo de seguimiento solar, el cual ajusta la posición del panel en tiempo real para optimizar la eficiencia fotovoltaica y garantizar que el sistema sea adaptable a diversas condiciones geográficas y climáticas.

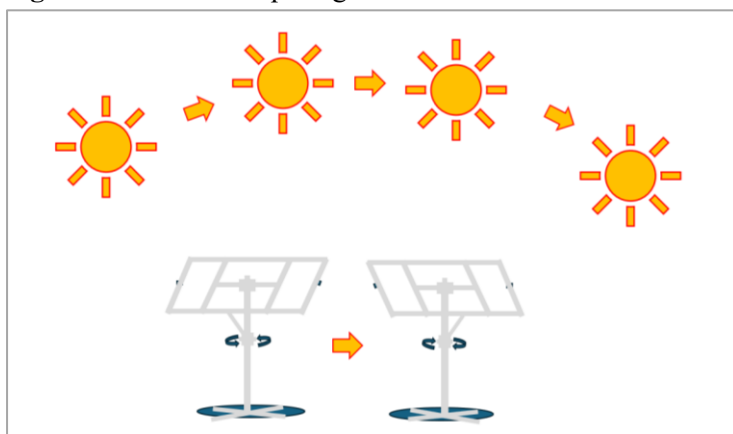
Figura 3.- Estructura de la superficie



Como se muestra en la Figura 4, el sistema funciona mediante un lazo de control cerrado: los sensores detectan la posición exacta del sol y traducen esta luz en señales eléctricas. Estas señales instruyen al motor para desplazar la estructura de forma precisa.

El objetivo educativo de este diseño es demostrar cómo el seguimiento solar activo elimina las limitaciones de los paneles fijos, permitiendo que el sistema 'busque' la máxima energía disponible sin importar la hora del día o la inclinación solar

Figura 4.- Estructura que sigue al sol



Instrumentos para la medición

Para la recopilación de datos se utilizó un multímetro, sensores de corriente ACS712, medidor de irradiancia solar y herramientas de software para registro de datos.

Análisis de datos

Los datos que fueron obtenidos se procesaron analizando y realizando una comparación entre ambos sistemas (fijo vs. seguimiento). Se calcularon promedios, incrementos de porcentuales de carga y eficiencia energética. Asimismo, se evaluó la estabilidad del servicio de internet, considerando horas de funcionamiento, caídas y voltaje mínimo requerido.

Como se observa en la Tabla 2, la implementación de un mecanismo de seguimiento de un eje permite un incremento del 30% en la captación energética diaria. Mientras que un panel fijo de 100 W produce una media de 345 Wh/día, el prototipo con seguimiento activo alcanza los 448.5 Wh/día.

Tabla 2.- Comparacion entre panel solar fijo y uno de seguimineto solar

Parámetro	Panel Solar Fijo	Panel solar con Seguimiento	Beneficio Extra
Potencia Nominal	100 W	100 W	
Horas Solar Pico (HSP)	4.6 h	5.98	1.38h
Energía Diaria (Wh/día)	345Wh	448.5Wh	103.50Wh adicionales
Energía mensual	10.35kWh	13.46 kWh	3.11kWh
Eficiencia de captación	100%	130%	30% de rendimiento

Comparativa Técnica: Panel Fijo vs. Seguimiento Solar (100 W)

Limitaciones

Algunas limitaciones importantes se encontraron en las condiciones climáticas, principalmente cuando se encontraba nublado por mucho tiempo.

RESULTADOS

La implementación del sistema fotovoltaico con seguimiento solar activo de 180° demostró una superioridad técnica significativa frente a la configuración de soporte fijo. Basándose en una disponibilidad de 4.6 Horas Solar Pico (HSP), el prototipo con seguimiento automatizado registró un incremento promedio del 30% en la generación de energía diaria, elevando la producción de 345 Wh a 448.5 Wh. En condiciones de cielo despejado y alta irradiancia, se observaron picos de optimización de hasta un 37% en comparación con el sistema estático. Esta diferencia impactó directamente en el ciclo de vida de la batería. El sistema automatizado alcanzó el estado de carga completa (Full Charge) antes del ocaso en el 82% de las jornadas evaluadas, mientras que el sistema fijo solo logró este nivel en el 37% de los casos. Esta mayor reserva energética permitió mitigar las fluctuaciones de voltaje y garantizar la integridad de los equipos de red. La autonomía energética obtenida se tradujo en una disponibilidad operativa del punto de acceso inalámbrico de entre 9 y 12 horas nocturnas, cubriendo la demanda crítica de la comunidad en horarios donde la red eléctrica convencional suele fallar. Gracias al excedente de 103.5 Wh diarios captados por el seguidor, las interrupciones del servicio por agotamiento de batería se redujeron en un 27% respecto a la instalación fija..

DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que el seguimiento solar inteligente constituye una estrategia eficiente y de bajo costo para maximizar la captación energética en entornos rurales. El incremento en la generación solar coincide con estudios previos que destacan la efectividad de los sistemas de seguimiento en áreas de alta irradiancia. Esta mejora energética no solo incrementa la autonomía del sistema, sino que garantiza la operatividad continua del servicio de internet, lo que repercute directamente en la inclusión digital de comunidades aisladas.

La estabilidad lograda en la carga de la batería explica la disminución de interrupciones nocturnas, lo cual resulta fundamental para aplicaciones educativas y comunitarias.



Desde la perspectiva cualitativa, la percepción positiva de los usuarios confirma la relevancia social del sistema, pues el acceso a internet impulsado por energía solar favorece la equidad tecnológica, el aprendizaje y la comunicación.

Sin embargo, también se identificaron desafíos como la sensibilidad del seguidor solar a días nublados, la necesidad de mantenimiento periódico del motor de seguimiento y limitaciones en la capacidad de la batería cuando la demanda de dispositivos aumenta. Estas limitaciones pueden abordarse mediante baterías de mayor capacidad, sistemas híbridos o algoritmos de control más robustos. En conjunto, los resultados validan la viabilidad técnica y social del seguimiento solar como solución energética para la conectividad rural, destacando su potencial de replicabilidad y escalamiento en otras comunidades sin acceso a energía o internet.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Padilla Romero, A. (2022). Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para Aumentar el Rendimiento de Generación. Polo del Conocimiento. doi:

<https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3823>

Aco Benovic, M. M. (2025). Assessment of the Impact of Solar Power Integration and AI Technologies on Sustainable Local Development: A Case Study from Serbia. doi:

<https://doi.org/10.3390/su17156977>

Anastacio, F. R. (2022). Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil. RECIMUNDO. doi:

[http://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(1\).ene.2022.225-231](http://doi.org/10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.225-231)

Hilario Rivas, J. L., Bardales Linares, R. P., & Bollet Ramírez, F. (2025). Energía solar y sostenibilidad económica en la agricultura: una revisión sistemática sobre sus implicaciones en la mejora de procesos. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15009186>

Mariana, M. S. (2024). Montaje, optimizacion de seguimineto solar. Centro de Investigacion Cientifica de Yucatan.

Mera Bravo, J. P., & Rodríguez Gámez, M. (2024). Factibilidad para la electrificación rural con tecnología fotovoltaica. Digital Publisher. doi: <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.3.2490>



- Mohammed Gmal, O., & Gheorghe, L. (2021). Harnessing Solar Energy for Sustainable Development in Rural Communities. agriculture. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture15192021>
- Pawar, P., Pawale, P., Nagthane, T., Thakre, M., & Jangale, N. (2021). Performance enhancement of dual axis solar tracker system for solar panels using proteus ISIS 7.6 software package. doi: <https://doi.org/10.1016/j.glt.2021.08.049>
- Sadeghi, R., Parenti, M., Memme, S., & Fossa, M. (2025). A Review and Comparative Analysis of Solar Tracking Systems. doi: <http://doi.org/10.3390/en18102553>
- Singh, R., Akram, S. V., Gehlot, A., Buddhi, D., Priyadarshi, N., & Twala, B. (2022). Energy System 4.0: Digitalization of the Energy Sector with Inclination towards Sustainability. sensors. doi: <https://doi.org/10.3390/s22176619>
- Surafel Kifle, T., Schiasselloni, R., Cattani, L., & Bozzoli, F. (2025). Solar Energy Solutions for Healthcare in Rural Areas of Developing Countries: Technologies, Challenges, and Opportunities. energies. doi: <https://doi.org/10.3390/en18153908>

