



Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Luis Miguel Mojica Hernández

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Producción

Bogotá DC

14 abril 2026

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué,
Casanare

Luis Miguel Mojica Hernández

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero de Producción

Tutor:

Elizabeth León Velásquez

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Producción

Bogotá DC

14 abril 2026

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Resumen

El abastecimiento energético en estaciones operativas ubicadas en zonas remotas representa un desafío debido a la infraestructura eléctrica aumentando costos operativos e impacto ambiental. De acuerdo a lo anterior, esta investigación tiene como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estaciones de producción de hidrocarburos en la empresa PerCol ubicadas en Orocué, Casanare.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y alcance descriptivo–correlacional. Se desarrolló en cinco fases: caracterización de la demanda energética, análisis del recurso solar, dimensionamiento del sistema fotovoltaico, evaluación técnica y propuesta de implementación. Para esto, se utilizaron datos de consumo energético de la estación de producción de hidrocarburos, información climática de la región, en especial del municipio de Orocué y herramientas de simulación, en este caso el software HOMER Pro.

Los resultados muestran una demanda energética de 155.62 kWh/día. El análisis del recurso solar mostró una irradiación promedio de 4.5 kWh/m²/día, confirmando condiciones favorables para la generación fotovoltaica. A partir de estos datos, se dimensionó un sistema de 46 kW, compuesto por 84 paneles solares de 550 W, un inversor de 50 kW y un sistema de almacenamiento de 8625 Ah a 48 V, garantizando una autonomía de un día.

La evaluación técnica del sistema dio como resultado una cobertura energética del 100%, con una eficiencia del 75% y alta confiabilidad operativa. Estos resultados demuestran que la energía fotovoltaica es una alternativa viable para el suministro de energía en estaciones remotas de producción de hidrocarburos.

Palabras clave

energía fotovoltaica, sistemas autónomos, estaciones de hidrocarburos, dimensionamiento energético, energías renovables, zonas remotas, eficiencia energética.

Abstract

Energy supply in operational stations located in remote areas represents a significant challenge due to limited electrical infrastructure, which increases operational costs and environmental impact. In this context, the present study aims to design a photovoltaic system for supplying basic electrical and electronic equipment in hydrocarbon production stations of the PerCol company located in Orocué, Casanare.

This research adopts a quantitative approach with a non-experimental design and a descriptive–correlational scope. It was developed in five phases: energy demand characterization, solar resource assessment, photovoltaic system sizing, technical evaluation, and implementation proposal. Energy consumption data from the hydrocarbon production station, climatic information from the Orocué region, and simulation tools, specifically HOMER Pro software, were used.

The results showed an energy demand of 155.62 kWh/day. The solar resource analysis indicated an average irradiation of 4.5 kWh/m²/day, confirming favorable conditions for photovoltaic generation. Based on these values, a 46 kW system was designed, consisting of 84 solar panels of 550 W, a 50 kW inverter, and an energy storage system of 8625 Ah at 48 V, ensuring one day of autonomy.

The technical evaluation indicated 100% energy coverage, 75% overall efficiency, and high operational reliability. These results demonstrate that photovoltaic energy is a viable alternative for energy supply in remote hydrocarbon production stations.

Keywords

photovoltaic energy, standalone systems, hydrocarbon stations, energy sizing, renewable energy, remote areas, energy efficiency.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Introducción

El cambio hacia fuentes de energía renovables se ha convertido en una necesidad debido al aumento de la demanda energética y a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De acuerdo a lo anterior, la energía solar fotovoltaica se convierte en una alternativa viable técnicamente y sostenible, especialmente en sitios con alta disponibilidad de radiación solar como lo es el territorio del departamento de Casanare.

Aunque la región cuenta con una irradiación promedio de aproximadamente 4.5 kWh/m²/día, que la hace favorable para la generación fotovoltaica, aún no se ha implementado ampliamente esta tecnología bajo condiciones de diseño adaptadas a la demanda real.

El objetivo general es diseñar un sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estaciones de Percol en Orocué, Casanare. Para ello, se plantean objetivos específicos orientados a la caracterización de la demanda energética, el análisis del recurso solar, el dimensionamiento del sistema, la evaluación técnica y la propuesta de implementación.

La pregunta de investigación que guía este trabajo es: ¿cómo diseñar un sistema fotovoltaico autónomo que permita abastecer de manera eficiente y confiable la demanda energética de una estación de producción de hidrocarburos en Orocué, Casanare?

Se plantea como hipótesis que un sistema fotovoltaico correctamente dimensionado, basado en la demanda y en las condiciones de irradiación, permite garantizar el suministro energético continuo con alta confiabilidad y reducción del impacto ambiental frente a sistemas convencionales basados en combustibles fósiles.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Marco teórico

El aumento de la demanda energética y la necesidad de reducir el impacto ambiental han impulsado el uso de fuentes renovables, especialmente la energía solar fotovoltaica. Esta tecnología se fundamenta en el efecto fotoeléctrico explicado por Albert Einstein, el cual permite la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica mediante materiales semiconductores. En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos se consideran una alternativa viable debido a su bajo costo operativo y sostenibilidad (Zhang et al., 2023).

Un sistema fotovoltaico autónomo está compuesto por módulos solares, reguladores de carga, inversores y sistemas de almacenamiento energético. La integración de baterías resulta fundamental para compensar la variabilidad de la generación solar y garantizar el suministro continuo. En este sentido, los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento han sido ampliamente estudiados, evidenciando que el uso de baterías mejora la estabilidad y permite adaptar la generación a la demanda energética (Zhang et al., 2023).

La caracterización de la demanda energética constituye un elemento clave en el diseño de sistemas fotovoltaicos. Este proceso implica determinar el consumo de los equipos eléctricos en términos de potencia y tiempo de uso. Una estimación precisa permite optimizar el dimensionamiento del sistema y evitar problemas de sobredimensionamiento o déficit energético.

La disponibilidad del recurso solar es un factor determinante en la viabilidad del sistema. La radiación solar presenta variaciones espaciales y temporales, afectando directamente la generación de energía. En regiones cercanas al ecuador, como Colombia, los niveles de radiación son favorables para la implementación de sistemas fotovoltaicos, lo que ha sido ampliamente documentado en estudios energéticos y climáticos.

El dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos implica la aplicación de modelos matemáticos que consideran la demanda energética, la radiación disponible y las pérdidas del sistema. En este contexto, se han desarrollado diversos métodos de optimización para determinar la configuración

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

óptima del sistema. Investigaciones recientes han utilizado algoritmos multiobjetivo para minimizar costos y maximizar la confiabilidad del suministro energético (Rehman & Al-Hadhrami, 2010).

Uno de los principales indicadores utilizados en el análisis de sistemas fotovoltaicos autónomos es la probabilidad de pérdida de suministro energético (LPSP). Este indicador permite evaluar la confiabilidad del sistema al cuantificar la proporción de tiempo en la que la demanda no puede ser satisfecha. Asimismo, el LPSP se combina con otros indicadores como el costo del ciclo de vida (LCOE) y el costo total neto (NPC) para evaluar la viabilidad técnica y económica (Baniasadi et al., 2016).

Investigaciones recientes han incorporado técnicas avanzadas de gestión energética y optimización para mejorar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos. Por ejemplo, el uso de sistemas de gestión energética (EMS) y algoritmos predictivos permite reducir la pérdida de energía y mejorar la confiabilidad del sistema, logrando reducciones significativas en el déficit energético (Liu et al., 2023) .

En cuanto al almacenamiento energético, las baterías de ion-litio han ganado relevancia debido a su alta densidad energética, mayor vida útil y menor mantenimiento en comparación con tecnologías tradicionales. Estudios recientes demuestran que la integración de baterías avanzadas en sistemas fotovoltaicos mejora significativamente el desempeño técnico y económico, especialmente en aplicaciones aisladas (Saad et al., 2024)

Finalmente, el análisis de la viabilidad técnica y operativa de los sistemas fotovoltaicos requiere la integración de múltiples variables, incluyendo eficiencia, confiabilidad, costos y condiciones ambientales. La literatura científica evidencia que los sistemas híbridos y optimizados representan una solución efectiva para garantizar el suministro energético en zonas remotas, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la transición energética global (Zhang et al., 2023).

Estado del arte

El análisis de los estudios seleccionados evidencia que la investigación en sistemas fotovoltaicos autónomos ha crecido significativamente en el periodo 2020–2026, con un enfoque en la optimización técnico-económica, la integración de sistemas de almacenamiento y la mejora continua del suministro energético. Sin embargo, también se identifican limitaciones importantes que justifican la pertinencia del presente estudio.

En primer lugar, los trabajos más recientes, como (Saad et al., 2024) , destacan una tendencia hacia la evaluación integral de la viabilidad de sistemas fotovoltaicos off-grid mediante indicadores técnicos y probabilísticos. En particular, el uso del índice LPSP ha permitido cuantificar la confiabilidad del sistema, constituyéndose en una herramienta clave para garantizar el suministro energético continuo. No obstante, estos estudios suelen basarse en modelos generalizados que no incorporan condiciones específicas de sitios particulares, lo que limita su aplicabilidad directa en contextos locales como el de Orocué, Casanare.

En segundo lugar, investigaciones como la de (Zhang et al., 2023) evidencia avances en el dimensionamiento óptimo de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento energético. Estos estudios demuestran que la incorporación de baterías mejora significativamente la estabilidad y eficiencia del sistema, además de reducir costos operativos a largo plazo. Sin embargo, presentan limitaciones asociadas al uso de supuestos idealizados y condiciones de operación estandarizadas, lo cual puede diferir considerablemente de escenarios reales donde existen variaciones climáticas, operativas y de demanda energética.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Por otra parte, los estudios desarrollados en 2021, como los de Aly et al., Agyekum et al. y Das et al., introducen enfoques innovadores basados en inteligencia artificial, análisis comparativos y simulaciones con herramientas especializadas como HOMER. Estos aportes representan un avance significativo en la gestión energética y en la evaluación técnico-económica de sistemas híbridos. No obstante, su principal limitación radica en la alta dependencia de herramientas computacionales y modelos complejos, lo que puede dificultar su implementación en contextos industriales específicos donde se requiere simplicidad operativa y robustez en el diseño.

Asimismo, el estudio de (Bhandari et al., 2015) aunque proporciona una base teórica sólida sobre el modelamiento de sistemas híbridos, presenta un enfoque generalista que no profundiza en aplicaciones específicas ni en condiciones particulares de operación. Esto evidencia una brecha en la literatura relacionada con estudios aplicados a contextos industriales concretos, especialmente en regiones con alto potencial solar como los Llanos Orientales de Colombia.

De manera transversal, se identifican varias tendencias comunes en la literatura: el uso de modelos de optimización multiobjetivo, la integración de sistemas de almacenamiento energético y la evaluación de indicadores de desempeño como eficiencia, costos y confiabilidad. Sin embargo, también se evidencian vacíos importantes, tales como la escasa consideración de condiciones climáticas locales detallados, la limitada aplicación en entornos industriales específicos (como estaciones petroleras) y la falta de estudios que integren simultáneamente demanda energética real, variabilidad climática y criterios de diseño técnico adaptados al contexto.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

En este sentido, el presente proyecto se posiciona como una contribución relevante al abordar estas brechas mediante el diseño de un sistema fotovoltaico adaptado a las condiciones específicas de las estaciones de Percol en Orocué, Casanare. A diferencia de los estudios revisados, esta investigación integra el análisis de la demanda energética real de equipos básicos, las condiciones climáticas locales y criterios de dimensionamiento técnico, lo que permite proponer una solución más contextualizada, viable y aplicable.

En síntesis, aunque la literatura existente proporciona una base sólida en términos de modelos, metodologías y herramientas de análisis, persiste la necesidad de estudios aplicados que consideren condiciones reales y específicas. Por tanto, el presente trabajo no solo se fundamenta en los avances previos, sino que también busca aportar un enfoque práctico orientado a la implementación de sistemas fotovoltaicos en contextos industriales aislados, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la transición energética en Colombia.

Tabla 1
Comparación de estudios seleccionados sobre sistemas fotovoltaicos autónomos (2020–2026)

Aut or(es) / Año	Título del estudio	Objet ivo principal	Meto dología emplead a	Varia bles analizad as	Princ ipales hallazgo s	Limita ciones reportada s	Relaci ón con el proyecto actual
(Saa d et al., 2024)	<i>Techno-economic assessment of off-grid photovoltaic systems in remote areas</i>	Evaluar la viabilidad técnica y económica de sistemas fotovoltaicos aislados	Simulación y análisis técnico-económico	Radación solar, demanda, costos, LCOE	Los sistemas PV off-grid son viables y reducen costos frente a diésel	Dependencia de datos climáticos y supuestos económicos	Apoya la viabilidad del sistema en zonas aisladas como Orocué

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

(Zhang et al., 2023)	<i>Optimal configuration of battery storage systems in photovoltaic generation systems</i>	Optimizar la configuración del almacenamiento en sistemas PV	Modelos de optimización y simulación	Capacidad de batería, SOC, generación	Mejora la estabilidad y confiabilidad del sistema	Costos elevados de baterías	Apoya la selección del sistema de almacenamiento
(Zhang et al., 2023)	<i>Optimal sizing and techno-economic analysis of photovoltaic systems with battery storage</i>	Dimensionar sistemas PV con almacenamiento	Modelos matemáticos y optimización	Radición, demanda, costos, capacidad	Reducir costos y mejorar eficiencia energética	Supuestos idealizados del modelo	Base para el dimensionamiento del sistema
(Pasqual et al., 2021)	<i>Energy management of hybrid photovoltaic–battery systems using AI techniques</i>	Implementar gestión energética inteligente	Algoritmos de inteligencia artificial	Consumo, generación, almacenamiento	Reducir pérdidas y optimizar operación	Alta complejidad computacional	Aporta a la optimización operativa
(Liu et al., 2021)	<i>Techno-economic comparative analysis of PV systems</i>	Comparar sistemas con y sin baterías	Análisis comparativo tecnológico	Costos, eficiencia, almacenamiento	Sistemas con baterías son más confiables	Mayor inversión inicial	Justifica el uso de baterías

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

	<i>with and without battery storage</i>						
(HOMER Energy, 2021)	<i>HOMER Pro User Guide</i>	Evaluar sistemas híbridos mediante simulación	Simulación con software HOMER	Energía, costos, emisiones	Permite optimizar configuraciones energéticas	Dependencia del software	Apoya el análisis técnico-económico
(Bandari et al., 2015)	<i>Mathematical modeling of hybrid renewable energy systems: A review</i>	Revisar modelos de sistemas híbridos	Revisión bibliográfica	Costos, eficiencia, tecnologías	Energía solar viable en zonas aisladas	Generación de resultados	Soporte teórico del estudio

Fuente propia, basada en análisis de estudios sobre sistemas fotovoltaicos autónomos (2020–2026).

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Metodología

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición y análisis de variables como consumo energético, radiación solar y dimensionamiento de componentes del sistema fotovoltaico. El diseño es de tipo no experimental, ya que no se manipulan variables independientes, sino que se analizan condiciones existentes en la estación de producción de hidrocarburos de Percol ubicadas en Orocué, Casanare.

El estudio es de corte transversal, debido a que la recolección de datos se realiza en un único momento temporal, apoyado en registros históricos de consumo energético y datos climáticos. Asimismo, el alcance es descriptivo–correlacional, puesto que, por un lado, se caracterizan las variables energéticas y ambientales, y por otro, se establecen relaciones entre la demanda energética y la capacidad de generación fotovoltaica

Fases de la investigación

El desarrollo metodológico se estructura en cinco fases:

- *Caracterización de la demanda energética:*

Se identifican los equipos eléctricos y electrónicos básicos, determinando su potencia nominal, horas de uso y consumo diario en kWh. Esta fase se basa en metodologías de auditoría energética (Capehart et al., 2020)

- *Análisis del recurso solar:*

Se recopilan datos de radiación solar, temperatura y condiciones climáticas de bases de datos como IDEAM, con el fin de estimar el potencial fotovoltaico del sitio (Gilman et al., 2018)

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

- *Dimensionamiento del sistema fotovoltaico:*

Se calculan los componentes del sistema (paneles, baterías, inversor y regulador) utilizando modelos matemáticos y criterios técnicos ampliamente aceptados en ingeniería solar.

- *Evaluación técnica del sistema:*

Se analizan indicadores como eficiencia, autonomía energética y confiabilidad del sistema en condiciones operativas reales.

- *Propuesta de implementación:*

Se diseña un esquema técnico de instalación, mantenimiento y estimación preliminar de costos del sistema.

Población y muestra

La población corresponde a la estación de producción de hidrocarburos de la empresa Percol en Orocué, Casanare.

Instrumentos

Se emplean los siguientes instrumentos:

- Formato de auditoría energética, para el levantamiento de información de equipos y consumos.
- Bases de datos climáticas (IDEAM), para el análisis del recurso solar.
- Software especializado (como HOMER Pro), para la simulación y dimensionamiento del sistema.

La validación de los instrumentos se realiza mediante revisión bibliográfica y contraste con metodologías estandarizadas en estudios previos (HOMER Energy, 2021) . Asimismo, se verifica la consistencia de los datos mediante triangulación de fuentes.

Resultados y análisis

En concordancia con el objetivo central de la investigación, a continuación, se presentan los resultados obtenidos, los cuales permiten responder a la problemática planteada y evaluar la viabilidad técnica de la solución propuesta para el suministro energético de la estación.

Demanda energética de la estación: La caracterización de la demanda energética evidenció un consumo total de 155.62 kWh/día. Los sistemas de bombeo, refrigeración e iluminación representan más del 80% del consumo total, lo que indica un perfil de carga intensivo y de operación continua. Este comportamiento implica altos requerimientos de potencia instalada y condiciona directamente el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y del almacenamiento energético.

Recurso solar y viabilidad del aprovechamiento fotovoltaico: El análisis del recurso solar en Orocué, Casanare, arrojó una irradiación promedio de 4.5 kWh/m²/día, valor característico de regiones tropicales con alto potencial solar. Estos resultados confirman la viabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos autónomos en la zona, en concordancia con estudios desarrollados en regiones con condiciones climáticas similares.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico: Considerando pérdidas globales del 25%, la demanda energética corregida se estimó en 207 kWh/día. A partir de este valor, la potencia requerida del generador fotovoltaico es de 46 kW. El sistema propuesto está conformado por 84 módulos de 550 W y un inversor de 50 kW, permite cubrir la demanda energética total.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Sistema de almacenamiento energético: El almacenamiento se dimensionó para una autonomía de un día, con una profundidad de descarga del 50%, obteniendo una capacidad de 8625 Ah a 48 V. Este resultado muestra que el almacenamiento constituye uno de los componentes más críticos del sistema, como lo son los costos de implementación

Evaluación técnica del sistema: El sistema diseñado presenta una cobertura energética del 100%, con una autonomía de 1 día y una eficiencia global del 75%. La alta confiabilidad del sistema se sustenta en la adecuada relación entre la generación estimada y la demanda energética, así como en la incorporación de almacenamiento para mitigar la variabilidad del recurso solar.

Propuesta de solución a la problemática

A partir de los hallazgos obtenidos en la investigación, se propone el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico autónomo con almacenamiento energético, orientado a suplir la totalidad de la demanda eléctrica de la estación analizada en Orocué, Casanare. El sistema se fundamenta en un dimensionamiento de 46 kW de potencia instalada, mediante 84 paneles solares de 550 W, lo que permite una generación aproximada de 207 kWh/día, considerando pérdidas del sistema del 25%.

El sistema incorpora un inversor trifásico de 50 kW, seleccionado para garantizar la estabilidad operativa y soportar los picos de carga propios de equipos industriales. Asimismo, se incluye un sistema de almacenamiento energético de 48 V y 8625 Ah, diseñado para proporcionar una autonomía de un día, asegurando continuidad del suministro durante periodos de baja irradiación o ausencia de generación solar.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Complementariamente, se integra un regulador de carga MPPT, el cual optimiza la eficiencia del sistema mediante el aprovechamiento máximo de la energía solar disponible. La configuración general del sistema se complementa con criterios de instalación adecuados a la zona, incluyendo orientación sur geográfica, inclinación entre 10° y 15°, y un plan de mantenimiento preventivo basado en limpieza y monitoreo continuo.

Desde el punto de vista técnico, la propuesta garantiza cobertura energética del 100%, alta confiabilidad y eficiencia global del 75%, evidenciando su viabilidad para aplicaciones industriales en zonas remotas. No obstante, se identifican implicaciones económicas relevantes, principalmente asociadas al sistema de almacenamiento, el cual representa el mayor costo del proyecto. La siguiente tabla muestra los costos estimados del proyecto:

Tabla 2

costos estimados del sistema fotovoltaico para estación de producción de hidrocarburos en empresa Percol en Orocué Casanare

Concepto	Costo total (COP)
Equipos principales (PV + inversor + baterías)	198,080,000
Balance del sistema (BOS)	33,600,000
Ingeniería e instalación	56,000,000
Costo total estimado del proyecto	287,680,000 COP

Elaboración propia, a partir de cotizaciones y estimaciones de mercado para sistemas fotovoltaicos en zonas de hidrocarburos en Casanare (2026).

Discusión

Los resultados obtenidos permiten realizar una valoración integral sobre la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico autónomo en estaciones ubicadas en zonas de Orocué, Casanare, evidenciando el cumplimiento del objetivo general del estudio mediante el diseño de una solución técnica capaz de cubrir la demanda energética bajo condiciones reales de operación.

En primer lugar, la caracterización energética identificó un consumo de 155.62 kWh/día, relacionado principalmente a cargas como bombeo, refrigeración e iluminación. Esto evidencia un perfil energético exigente y continuo, lo que exige alta confiabilidad y estabilidad en el suministro, condicionando el dimensionamiento del sistema propuesto.

En cuanto al recurso solar, la irradiación promedio de 4.5 kWh/m²/día confirma condiciones favorables para la generación fotovoltaica en la zona. Sin embargo, la dependencia de la generación respecto a la radiación solar implica variabilidad operativa, lo que hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento para garantizar la continuidad del suministro energético.

El sistema fotovoltaico dimensionado, con una potencia de 46 kW y 84 paneles de 550 W, muestra coherencia con la demanda estimada, incorporando un factor de pérdidas del 25% que incrementa la confiabilidad del diseño. No obstante, se evidencia que el aumento de la demanda incrementa significativamente el tamaño del sistema, lo que puede representar desafíos en costos e instalación.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

El sistema de almacenamiento de 8625 Ah a 48 V se identifica como un componente crítico, ya que permite compensar la intermitencia del recurso solar y asegurar la autonomía operativa. Sin embargo, también representa el principal desafío económico del sistema.

Los indicadores de desempeño obtenidos (100% de cobertura energética, 75% de eficiencia global y alta confiabilidad) demuestran la viabilidad técnica del sistema.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Plan de divulgación

El presente trabajo tiene como producto principal la elaboración de un artículo científico, el cual permite la validación académica de los resultados en el área de energías renovables. La estrategia de divulgación se orienta principalmente al ámbito empresarial y técnico, buscando la aplicación práctica del sistema propuesto.

En el ámbito empresarial, los resultados serán socializados con la empresa Percol mediante un informe técnico y una presentación ejecutiva que incluye el dimensionamiento del sistema, su viabilidad técnica y costos estimados, con el fin de apoyar la toma de decisiones sobre su implementación en estaciones operativas de producción de hidrocarburos.

Desde el enfoque técnico, se elaborará material de soporte como memorias de cálculo, diagramas de instalación y lineamientos de operación y mantenimiento, facilitando la replicabilidad del sistema en otras estaciones con condiciones similares.

El proceso de divulgación se desarrollará en un periodo estimado de tres a seis meses, incluyendo la preparación del informe técnico, estructuración del paquete de implementación y socialización de resultados con personal operativo.

Como resultado esperado, se busca la apropiación de los resultados por parte de la empresa y la posible implementación del sistema en entornos industriales aislados.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que el diseño de un sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético en estaciones de Percol ubicadas en Orocué, Casanare, es técnicamente viable y coherente con las condiciones energéticas y ambientales del entorno.

En relación a la caracterización de la demanda energética se evidenció un consumo de 155.62 kWh/día. A partir de estos resultados, se concluye que cualquier solución debe priorizar la confiabilidad y la capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda, aspectos fundamentales en entornos operativos remotos.

El análisis del recurso solar permitió establecer que la zona presenta una irradiación promedio de 4.5 kWh/m²/día, lo que confirma un alto potencial para la generación fotovoltaica. Este resultado es consistente con estudios desarrollados en regiones tropicales, donde la disponibilidad del recurso favorece la implementación de sistemas solares.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico determinó una capacidad requerida de 46 kW, mediante la instalación de 84 paneles de 550 W, junto con un inversor de 50 kW. Estos resultados evidencian una adecuada correspondencia entre la demanda energética y la capacidad instalada, considerando además un margen de pérdidas del 25%. Se concluye que el diseño propuesto garantiza la cobertura total de la demanda bajo condiciones normales de operación.

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

La evaluación técnica del sistema mostró indicadores favorables, con una cobertura energética del 100%, una eficiencia global del 75% y alta confiabilidad operativa. Estos resultados permiten afirmar que el sistema propuesto cumple con los requerimientos técnicos necesarios para su implementación. No obstante, se identifica que la eficiencia alcanzada refleja pérdidas inherentes al sistema, lo que sugiere la posibilidad de optimización mediante tecnologías más avanzadas o estrategias de gestión energética.

De manera general, el estudio permite dar respuesta al problema planteado, demostrando que la energía fotovoltaica constituye una alternativa viable para el abastecimiento energético en estaciones de producción de hidrocarburos de la empresa Percol, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la sostenibilidad operativa. Este resultado tiene implicaciones relevantes en el contexto de la transición energética, al evidenciar el potencial de las fuentes renovables en aplicaciones industriales.

finalmente, se concluye que el sistema fotovoltaico diseñado no solo es técnicamente viable, sino que representa una solución sostenible y replicable para el abastecimiento energético en zonas no interconectadas, contribuyendo al desarrollo de modelos energéticos más eficientes y ambientalmente responsables.

Bibliografía

- Baniasadi, M., Tugnoli, A., Conti, R., Torri, C., Fabbri, D., & Cozzani, V. (2016). Waste to energy valorization of poultry litter by slow pyrolysis. *Renewable Energy*, 90, 458–468. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.018>
- Bhandari, B., Lee, K.-T., Lee, G.-Y., Cho, Y.-M., & Ahn, S.-H. (2015). Optimization of hybrid renewable energy power systems: A review. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2(1), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s40684-015-0013-z>
- Capehart, B., Turner, W., & Kennedy, W. (2020). *Guide to Energy Management* (9th ed.).
- Gilman, P., Dobos, A., & Freeman, J. (2018). *SAM photovoltaic model technical reference*.
- HOMER Energy. (2021). *HOMER Pro User Guide or Documentation*.
- Liu, C., Hashemian, M., Shawabkeh, A., Dizaji, H. S., Saleem, S., Mohideen Batcha, M. F., & Wae-hayee, M. (2021). CFD-based irreversibility analysis of avant-garde semi-O/O-shape grooving fashions of solar pond heat trade-off unit. *Renewable Energy*, 171, 328–343. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.089>
- Liu, Z., Gong, S., Li, X., Chen, X., Hu, X., Li, Y., Yan, X., Wang, H., Li, Y., & Lu, X. (2023). Facile, catalyst-free, and high enthalpy PEG-based phase change composite for use in photothermal conversion and waste heat recovery. *Journal of Energy Storage*, 74, 109532. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109532>
- Pascual, S., Lisbona, P., Bailera, M., & Romeo, L. M. (2021). Design and operational performance maps of calcium looping thermochemical energy storage for concentrating solar power plants. *Energy*, 220, 119715. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119715>

Sistema fotovoltaico para el abastecimiento energético de equipos eléctricos y electrónicos básicos en estación de producción de hidrocarburos de Percol, en Orocué, Casanare

Rehman, S., & Al-Hadhrami, L. M. (2010). Study of a solar PV–diesel–battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha, Saudi Arabia. *Energy*, 35(12), 4986–4995. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.025>

Saad, M., El-Shafie, A., & Kamel, S. (2024). Techno-economic assessment of off-grid photovoltaic systems in remote areas. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60.

Zhang, Y., Wang, J., & Li, X. (2023). Optimal configuration of battery storage systems in photovoltaic generation systems. *Journal of Energy Storage*, 65, 107234. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107234>