*Artículo Científico / Scientific Paper*

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
INGENIUS
Revista de Ciencia y Tecnología
https://doi.org/10.17163/ings.n35.2026.01
pISSN: 1390-650X / eISSN: 1390-860X

# Optimización del consumo energético en campamentos remotos petroleros mediante tecnologías de gestión energética

# Optimization of energy consumption in oil remote camps through energy management technologies

Edwin Illescas[1], Edison Laz[1], Manuel Rogelio Nevárez Toledo[1], Miguel Alberto Dávila-Sacoto[1,*]

Recibido: 02-04-2025, Recibido tras revisión: 21-05-2025, Aceptado: 29-09-2025, Publicado: 01-01-2026

## Resumen

Optimizar los recursos en campos remotos es un criterio fundamental para la eficiencia y la reducción de costos operativos. El estudio tuvo un enfoque descriptivo-experimental, con orientación cuantitativa, en el que se analizó el consumo energético de un campamento remoto de transporte de petróleo, utilizando registros históricos desde 2021. El objetivo principal fue la reducción del consumo energético en un rango del 15 % al 30 %. Mediante el uso de RETScreen se simularon mejoras en los sistemas energéticos, obteniéndose como resultado un consumo eléctrico anual de 271 148 kWh/año, con gastos asociados de USD 27 454. Con la propuesta fotovoltaica, orientada a optimizar el consumo mediante tecnología de gestión energética, el consumo se redujo a 185 878 kWh/año, disminuyendo significativamente la dependencia del Sistema Nacional Interconectado y el uso de fuentes contaminantes. La eficiencia en sistemas de climatización mejoró en un 14.3 %, mientras que en los sistemas eléctricos –bombas, compresores e iluminación– se alcanzó una mejora significativa de 38.6 %, con un ahorro promedio de 30.9 %. Respecto a las emisiones, estas se redujeron de 58.8 $tCO_2$ a 40.7 $tCO_2$, lo que equivale a la absorción de 1.7 hectáreas de bosque con un retorno de inversión estimado en 10.7 años. En conclusión, este proyecto resulta viable desde el punto de vista de la aplicación de tecnologías de eficiencia energética, al incorporar mejoras técnicas que consolidan una solución económicamente rentable y ambientalmente sostenible.

***Palabras clave***: campamentos remotos petroleros, gestión energética, optimización energética, RETScreen, sistemas fotovoltaicos, tecnologías de gestión

## Abstract

Optimizing resource use in remote operational fields is a key strategy for enhancing efficiency and reducing operating costs. This study adopted a descriptive–experimental design with a quantitative orientation to analyze the energy consumption of a remote oil transportation camp, utilizing historical records collected since 2021. The primary objective was to achieve an energy consumption reduction of 15–30%. Using RETScreen, improvements in energy systems were simulated, resulting in an initial annual electricity consumption of 271,143 kWh and associated costs of USD 27,454. With the proposed photovoltaic system, designed to optimize energy use through advanced energy management technologies, annual consumption decreased to 185,878 kWh/year, substantially reducing dependence on the national interconnected grid and on polluting energy sources. Energy efficiency improved by 14.3% in air-conditioning systems and by 38.6% in electrical systems such as pumps, compressors, and lighting, resulting in an overall average energy savings of 30.9%. In terms of environmental impact, $CO_2$ emissions were reduced from 58.8 $tCO_2$ to 40.7 $tCO_2$, equivalent to the carbon sequestration of approximately 1.7 hectares of forest. The estimated return on investment is 10.7 years. These results demonstrate the technical, economic, and environmental feasibility of implementing energy-efficiency technologies to enhance sustainability in remote oilfield operations.

***Keywords***: remote oil camps, energy management, energy optimization, RETScreen, photovoltaic systems, management technologies.

[1,*]Pontificia Universidad Católica, Sede Esmeraldas, Ecuador.
Autor para correspondencia ✉: madavila@pucese.edu.ec.

Forma sugerida de citación: E. Illescas, E. Laz, M. R. Nevárez Toledo y M. A. Dávila-Sacoto. "Optimización del consumo energético en campamentos remotos petroleros mediante tecnologías de gestión energética," *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.° 35, pp. 9-20, 2026. DOI: https://doi.org/10.17163/ings.n35.2026.01.

## 1. Introducción

El dinamismo que presenta la industria petrolera impacta significativamente en el crecimiento económico y social mundial. Estos recursos representan un tercio de la energía primaria utilizada por el ser humano, alcanzando el 2.5% del PIB mundial [1]. Por ello, el transporte de crudo constituye una base importante en la cadena de suministro de recursos fósiles, y los campamentos operativos remotos se enfrentan a desafíos en términos de eficiencia energética, autonomía operativa y sostenibilidad ambiental. Dichas instalaciones, en su mayoría, recurren al uso de sistemas de generación convencionales con altos factores de emisión, lo que incrementa los costos de operación y eleva su huella de carbono.

El desarrollo de tecnologías de gestión energética inteligente implica la integración de algoritmos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático *(machine learning)* en plataformas SCADA y BEMS *(Building Energy Management Systems)* [2, 3]. Estas permiten analizar patrones de consumo, predecir curvas de carga y optimizar el uso de energía en tiempo real [4, 5], adaptándose a perturbaciones estocásticas, como fluctuaciones de demanda o variabilidad en fuentes renovables [6]. De igual modo, los programas de respuesta a la demanda (DRP) fomentan que los usuarios ajusten su consumo de acuerdo con señales de red, como precios altos o incentivos [7, 8].

Siguiendo estos preceptos, los sistemas de gestión de energía (SGEn), bajo normas internacionales ISO 50001, se presentan como una estrategia contundente para el incremento de la eficiencia energética corporativa, mejorando el desempeño operacional [9, 10]. Estos sistemas requieren políticas energéticas graduales, objetivos claros y acciones orientadas a optimizar el rendimiento energético [11].

El crecimiento sostenido del consumo energético masivo y los problemas derivados del impacto ambiental de fuentes convencionales han despertado un interés mundial por una mejor gestión de la energía. En este contexto, RETScreen Expert, desarrollado por Natural Resources Canada, se presenta como una alternativa para evaluar la viabilidad técnica y económica de proyectos energéticos, modelar sistemas eléctricos y térmicos, calcular parámetros clave como el ahorro de energía, la reducción de emisiones y el balance económico. Todo ello proporciona una base sólida para la toma de decisiones fundamentada en datos, orientada a una transición energética eficaz [12].

Dentro de las soluciones de generación renovable que pueden gestionarse desde la plataforma de RETScreen, destaca la energía solar fotovoltaica, que convierte la radiación directa en electricidad mediante paneles con celdas de silicio. Esta tecnología resalta por su versatilidad, facilidad de mantenimiento y larga vida útil (25-30 años). No emite gases de efecto invernadero (GEI) y su implementación depende de análisis previos de irradiancia, inclinación y eficiencia del sistema fotovoltaico [13, 14].

En el ámbito de la iluminación, las luminarias LED conectadas a fuentes renovables constituyen una alternativa eficiente, ya que ofrecen mayor vida útil, reducen emisiones y mejoran el rendimiento energético [15]. Aunque su inversión inicial es elevada, un análisis técnico-económico puede justificarla al considerar la calidad lumínica, el nivel de iluminancia (lux) y el confort visual [16].

Los sistemas de climatización representan una parte significativa del consumo energético en edificaciones, y su optimización requiere el mejoramiento del coeficiente de rendimiento (COP) [17]. Estos sistemas son responsables de más del 34% de la demanda energética y del 37% de las emisiones de $CO_2$ [18], por lo que deben descarbonizarse mediante la reducción del uso de combustibles fósiles y de hidrofluorocarbonos (HFC) [19].

La norma ISO 50001:2018, en su cláusula 6, presenta un marco para implementar y mejorar los sistemas de gestión de energía (SGEn), lo que permite reducir el consumo, los costos y las emisiones, así como optimizar el rendimiento energético [20]. Bajo este contexto, los campamentos petroleros dependen en gran medida del diésel y del gas natural: el primero genera altos costos e impacto ambiental, mientras que el segundo, aunque más limpio, enfrenta limitaciones logísticas. Esto concuerda con el balance energético requerido en edificaciones en general. En la Figura 1 se muestran los procesos fundamentales aplicables tanto a los sistemas de climatización como a las luminarias.

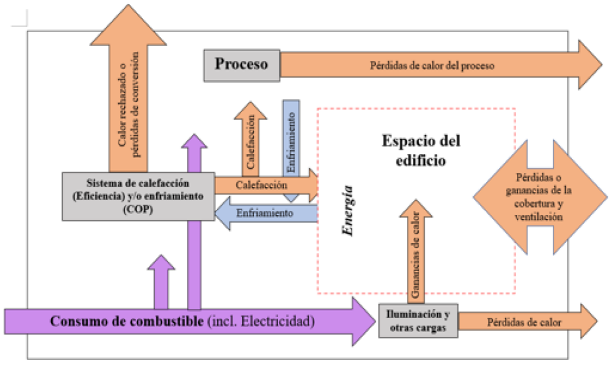


**Figura 1.** Balance de energía para sistemas en edificaciones.

El uso energético, que incluye tanto combustibles como electricidad, depende de su fuente principal y del sistema de calefacción/enfriamiento, cuyo desempeño se mide mediante el coeficiente de rendimiento (COP). Una parte significativa de la energía se disipa como calor residual.

La energía térmica se transfiere al interior, donde interactúa con factores como la radiación solar, la

iluminación artificial y el funcionamiento de equipos eléctricos, generando ganancias térmicas; en contraste, las pérdidas se producen a través de paredes y ventilación, lo que incrementa la demanda energética.

Los procesos industriales también aportan calor al ambiente interior; sin embargo, una fracción se pierde hacia el exterior, reduciendo la eficiencia global. Asimismo, las pérdidas a través del techo y la ventilación aumentan la carga térmica y, en consecuencia, el consumo energético.

En este contexto, la optimización del consumo mediante tecnologías de gestión energética constituye una estrategia esencial para disminuir el impacto ambiental al uso de fuentes no renovables, especialmente en campamentos remotos [21]. Este trabajo analiza la implementación de la plataforma RETScreen como herramienta para la mejora de la eficiencia energética y la incorporación de energías renovables.

El objetivo es maximizar la eficiencia del uso energético en campamentos petroleros, mediante la evaluación del consumo actual, el análisis de viabilidad a través de RETScreen y la propuesta de sistemas renovables y alternativas a corto plazo que permitan mejorar las operaciones y reducir la demanda energética.

## 2. Materiales y métodos

Este estudio es descriptivo-experimental con un enfoque cuantitativo. Se analizan registros históricos de consumo energético correspondientes al período 2021-2022, que incluyen 24 mediciones realizadas en un campo de transporte de crudo. El análisis contrasta un caso base con un escenario optimizado.

Se emplea la plataforma RETScreen Expert para simular condiciones de operación, modelar subsistemas y evaluar la viabilidad de distintas medidas de eficiencia energética. El estudio se centra en los sistemas de iluminación, servicios generales y climatización. La Figura 2 ilustra el flujo energético y las fuentes de abastecimiento consideradas.

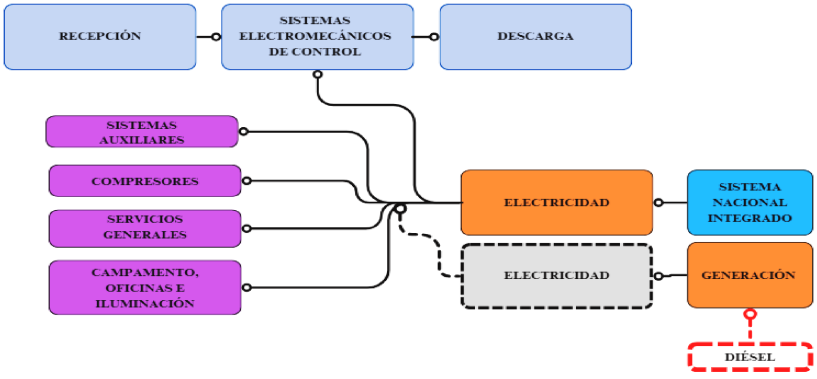


**Figura 2.** Comportamiento del flujo de la energía eléctrica en las áreas del campamento.

La energía proviene del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y abastece sistemas contra incendio, compresores, comedor, oficinas e iluminación del campamento. Todo el proceso está controlado por un sistema electromecánico con válvulas. Como respaldo, generadores a diésel proveen energía en caso de fallas, conectados al mismo sistema, para garantizar la continuidad operativa.

El desempeño energético está basado en tres ejes metodológicos:

- Recopilación y análisis de datos operativos.
- Identificación de mejoras y planificación estratégica.
- Implementación y monitoreo de resultados.

Para la etapa inicial de la configuración del modelo se introdujeron los datos relativos al consumo promedio de energía del campamento, con énfasis en los sistemas de cocción, climatización, iluminación, comprensión de fluidos y en los gastos asociados a la energía. Asimismo, se consideraron las condiciones geográficas del área (latitud, longitud, zona climática y atributos del terreno), utilizando como datos georreferenciales:

- N 0° 58’ 22.268", O 79° 40’ 51.536"
- 0.9728521511737187, –79.68098222443405

Para robustecer la propuesta de incorporación de sistemas de energías renovables, se añadieron variables ambientales como la temperatura del aire, la humedad relativa, la precipitación, la presión atmosférica y la temperatura del suelo. Estos factores se integraron al análisis para evaluar la viabilidad térmica y energética de los sistemas —convencionales y renovables— bajo las condiciones ambientales específicas del campamento, como se muestra en la Figura 3.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Temperatura de diseño de la calefacción | | | 19,6 | | | | | |
| | Temperatura de diseño del aire acondicionado | | | 29,0 | | | | | |
| | Amplitud de la temperatura del suelo | | | 9,7 | | | | | |
| Mes | Temperatura del aire | Humedad relativa | Precipitación | Radiación solar diaria - horizontal | Presión atmosférica | Velocidad del viento | Temperatura del suelo | Grados-días de calefacción | Grados-días de refrigeración |
| | °C | % | mm | kWh/m²/d | kPa | m/s | °C | °C-d | °C-d |
| Enero | 24,9 | 83,7% | 191,89 | 4,24 | 99,9 | 3,4 | 25,7 | 0 | 462 |
| Febrero | 25,0 | 85,9% | 231,28 | 4,43 | 99,9 | 2,8 | 25,6 | 0 | 420 |
| Marzo | 25,1 | 86,5% | 224,44 | 5,00 | 99,8 | 2,5 | 25,7 | 0 | 468 |
| Abril | 25,2 | 86,9% | 244,20 | 4,80 | 99,8 | 2,8 | 25,8 | 0 | 456 |
| Mayo | 25,0 | 86,1% | 146,63 | 4,22 | 99,9 | 3,5 | 25,8 | 0 | 465 |
| Junio | 24,6 | 84,6% | 66,60 | 3,73 | 99,9 | 3,8 | 25,5 | 0 | 438 |
| Julio | 24,5 | 81,5% | 36,27 | 3,87 | 100,0 | 4,0 | 25,6 | 0 | 450 |
| Agosto | 24,8 | 77,9% | 26,97 | 4,06 | 100,0 | 4,2 | 26,1 | 0 | 459 |
| Septiembre | 24,9 | 76,4% | 42,30 | 4,21 | 100,0 | 4,4 | 26,4 | 0 | 447 |
| Octubre | 25,0 | 76,2% | 44,95 | 3,98 | 100,0 | 4,5 | 26,4 | 0 | 465 |
| Noviembre | 24,9 | 75,9% | 42,30 | 3,81 | 99,9 | 4,4 | 26,3 | 0 | 447 |
| Diciembre | 24,9 | 78,9% | 88,04 | 4,07 | 99,9 | 4,1 | 26,1 | 0 | 462 |
| Anual | 24,9 | 81,7% | 1.385,87 | 4,20 | 99,9 | 3,7 | 25,9 | 0 | 5.438 |

**Figura 3.** Datos meteorológicos acordes con la geolocalización propuesta del año 2025. Datos de la NASA.

A través de la georreferenciación se obtuvo la gráfica de los datos meteorológicos correspondientes a radiación y temperatura mensual durante un año, como se muestra en la Figura 4.

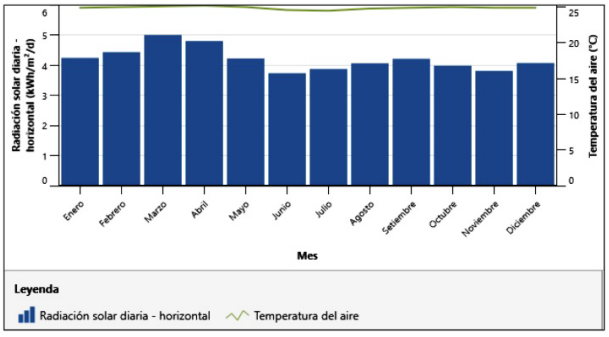


**Figura 4.** Gráfico comparativo relacionado con la radiación vs. temperatura mensual durante el año 2025. Datos de la NASA.

Adicionalmente, se recolectó información de consumo eléctrico correspondiente al período 2021-2022. El análisis en RETScreen aplicó estrategias de administración de gestión de la demanda, almacenamiento y optimización energética, conforme a los módulos estructurados por el software, con el objetivo de reducir pérdidas y mejorar los costos asociados al consumo de energía. Como punto de partida, la Figura 5 muestra la comparación del consumo mensual de energía (kWh) entre los años 2021 y 2022.

En 2021 se consumieron 271 148 kWh (51.86%), mientras que en 2022 el consumo fue de 251 622 kWh (48.04%), evidenciando una reducción atribuida a las movilizaciones sociales, que limitaron el uso de los campamentos.

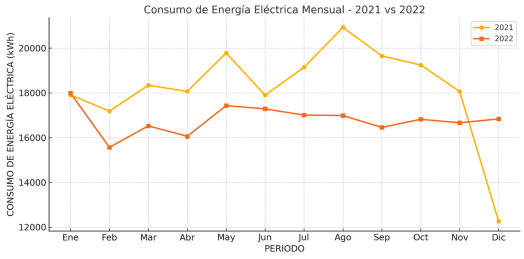


**Figura 5.** Consumo energético total del campamento del 2021 en contraste con el 2022.

En lo referente al consumo de combustibles fósiles, únicamente se dispone de registros de enero-abril 2021 y de enero-marzo 2022, como muestra la Figura 6. Esta información permitió analizar el impacto térmico en la generación autónoma de electricidad, así como la correlación con la eficiencia del sistema energético evaluado.

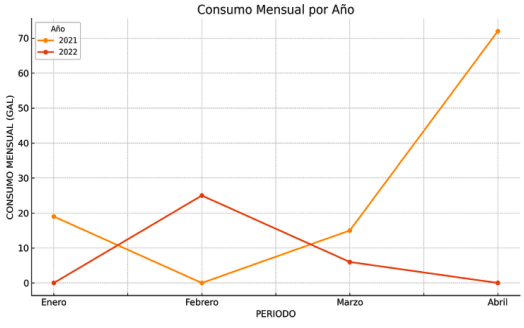


**Figura 6.** Consumo de combustible contrastado en período 2021-2022.

En el consumo de combustibles se refleja la variabilidad del mercado petrolero, lo cual determina el costo

en el período analizado y resulta un factor clave para el cálculo del gasto asociado al combustible consumido.

Los valores del precio unitario del combustible y su evolución se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Consumo de combustible y costo representado en el caso base

| Año | Período | Consumo mensual (GAL) | Costo unitario del combustible (USD) | Costo unitario promedio (USD/GAL) |
|---|---|---|---|---|
| 2021 | enero | 19 | 1.58 | 12 |
| | febrero | 0 | 1.75 | 0 |
| | marzo | 15 | 1.94 | 8 |
| | abril | 72 | 2.18 | 33 |
| 2022 | enero | 0 | 2.47 | 0 |
| | febrero | 25 | 2.86 | 9 |
| | marzo | 6 | 3.39 | 2 |
| | abril | 0 | 3.91 | 0 |

La reducción del consumo del SNI fue compensada mediante generación de combustibles fósiles, se ingresaron los datos eléctricos del campamento para obtener el caso base, considerando los sistemas de generadores, bombas, compresores, iluminación, climatización y otros equipos auxiliares. La demanda energética (DE) (Ecuación (1)) se calculó como: potencia × horas/día × días/año, ajustando la eficiencia.

$$DE(kWh/\text{año}) = Potencia(kW) \cdot horas/día \cdot horas/\text{año} \quad (1)$$

En el registro energético se consideraron las cargas correspondientes al sistema de bombeo del campamento, estas se describen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Registro de datos y análisis energético para las bombas que conforman el campamento

| | **Motor** | **Bomba** | | | | **Demanda energética RETSCREEN** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***Potencia consumida*** | ***Eficiencia nominal*** | ***Eficiencia de condiciones operativas*** | ***Carga del fluido*** | ***Horas de operación*** | **(kWh/año)** |
| | ***(kW)*** | ***(%)*** | ***(%)*** | ***(HP)*** | ***(h/año)*** | |
| Bomba de evacuación | 4.23 | 89.9 | 88.9 | 3.5 | 13 | 55 |
| Bomba de trasiego de diésel | 2.39 | 85.3 | 84.4 | 1.8 | 1 | 2.4 |
| Bomba de recirculación para limpieza 1 | 0.96 | 79 | 78.2 | 0.69 | 26 | 25 |
| Bomba de separación de hidrocarburos | 1.32 | 84 | 83.1 | 1 | 6 | 8 |
| Bomba de recirculación para limpieza 2 | 1.81 | 84 | 83.1 | 1.4 | 208 | 377 |
| Bomba de oxigenación | 1.20 | 84.4 | 83.5 | 0.92 | 728 | 875 |
| Bombas de almacenamiento | 0.62 | 82.2 | 81.3 | 0.23 | 728 | 449 |
| | | TOTAL | | | | 1792 |

El consumo energético anual fue de 1792 kWh, calculado a partir de las horas de uso y la potencia de bombas, mientras que los datos históricos reportan un valor de 1790.89 kWh, lo que permitió establecer un caso base energético confiable.

En la simulación de RETScreen, se modeló un sistema de aire con compresor de tornillo, seleccionado en el software como equipo de aire comprimido (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Datos de registro para equipos eléctricos

| **Equipo compresor de fluidos** | |
|---|---|
| **Parámetros** | **Valor** |
| Capacidad del compresor, [$ft^3$/min] | 20 |
| Presión del sistema, [PSIG] | 165 |
| Pérdidas por fricción, [%] | 10 |
| Capacidad del motor, [kW] | 7.4 |
| Demanda de aire útil, [$ft^3$/min] | 10.5 |
| Tiempo de operación, [h/año] | 1196 |
| ***Demanda eléctrica total*** | **5315** |

Ya hecho el registro del compresor de fluidos, se incorporó el generador eléctrico como parte del sistema energético integral, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Datos de registro para equipo generador de energía

| **Equipo generador de energía** | |
|---|---|
| **Parámetros** | **Valor** |
| Combustible | Diésel |
| Energía eléctrica generada, [kWh/año] | 1370 |
| Potencia, [kW] | 110 |
| Cantidad/año, [gal/año] | 106.18 |

Posterior al registro del compresor, se incorporan cargas eléctricas adicionales, que corresponden al sistema de calefacción del agua, refrigeración, cocina y equipos de cómputo, con la finalidad de complementar el modelado integral de la demanda eléctrica, ver Tabla 5. Este proceso se sistematiza considerando la carga conectada (kW), horas anuales de operación y demanda total del sistema (kWh), de acuerdo con los lineamientos del módulo de uso final eléctrico de RETScreen Expert.

El modelado del sistema de iluminación se realizó mediante el ingreso de datos por zonas funcionales del campamento, siguiendo el mismo proceso aplicado para las cargas eléctricas generales. Dado que el impacto energético de estos componentes es elevado y su diversidad significativa, se los parametrizó de manera detallada en RETScreen. La Tabla 6 presenta la demanda eléctrica total asociada a este rubro.

**Tabla 5.** Datos de registro para equipos eléctricos del área de cocina

| | **Cantidad** | **Horas de operación (h/año)** | **Carga eléctrica (W)** | **Ciclo de utilización (%)** |
|---|---|---|---|---|
| Calentamiento de agua 1 | 1 | 8736 | 5000 | 100 |
| Calentamiento de agua 2 | 1 | 8736 | 3000 | 100 |
| Refrigerador | 3 | 8736 | 1000 | 100 |
| Cocina | 1 | 2184 | 10 000 | 100 |
| Cuarto UPS | 1 | 8736 | 2880 | 100 |
| ***Demanda de electricidad (kWh)*** | | **143 096** | | |

**Tabla 6.** Demanda energética de consumo eléctrico de las luminarias del campamento dado por RETScreen

| | **Cantidad** | **Horas de operación h/año** | **Carga eléctrica (W)** | **Ciclo de operación (%)** |
|---|---|---|---|---|
| Área industrial | 22 | 4368 | 350 | 100 |
| Refugio técnico de generadores | 8 | 182 | 400 | 100 |
| Puesto de vigilancia | 2 | 8736 | 40 | 100 |
| Unidad modular DDV | 2 | 3640 | 40 | 100 |
| Sala de monitoreo operativo | 2 | 4368 | 40 | 100 |
| Sala de automatización | 6 | 8736 | 40 | 100 |
| Sanitario área de control | 1 | 3.64 | 58 | 100 |
| Bodega de control | 1 | 3.64 | 18 | 100 |
| Unidad operativa modular | 2 | 3640 | 40 | 100 |
| Punto de mantenimiento mecánico | 8 | 182 | 5 | 100 |
| Punto de mantenimiento eléctrico | 3 | 182 | 305 | 100 |
| Módulo técnico Seramin | 7 | 1820 | 18 | 100 |
| Gimnasio | 2 | 1092 | 40 | 100 |
| Estación de herramientas | 3 | 364 | 5 | 100 |
| Habitaciones | 1 | 1820 | 305 | 100 |
| Almacén logístico | 1 | 182 | 18 | 100 |
| Sala común del campamento | 7 | 1820 | 40 | 100 |
| Comedor | 1 | 1820 | 40 | 100 |
| Cocina | 1 | 6552 | 250 | 100 |
| Sanitarios | 4 | 364 | 18 | 100 |
| **Demanda de electricidad (kWh/año)** | | **41 151** | | |

Para el registro de sistemas de climatización se consideró un coeficiente de rendimiento energético (COP) promedio de 3, correspondiente a los tres equipos de aire acondicionado. Posteriormente, estos sistemas se integraron en la plataforma RETScreen, considerando una carga térmica total de enfriamiento de 93 500 BTU/h, con un ciclo de utilización de 100% y 8736 horas de operación anual. Se determinó una demanda energética anual de 79 795 kWh, correspondiente al consumo previsto del subsistema de climatización.

## 3. Resultados y discusión

En la Tabla 7 se muestra que el consumo total de combustible es de 113 gal/año, equivalente a 4557 kWh/año, mientras que el consumo energético total asciende a 271 148 kWh/año. El costo de diésel es de USD 339/año y el de electricidad USD 27 115/año, considerando un costo promedio del diésel de USD 3/gal y de la electricidad USD 0.10/kWh.

En este caso particular se decidió que, para reducir el consumo energético en el campamento de transporte de petróleo, es importante proponer un sistema fotovoltaico cuyo objetivo sea lograr un ahorro de entre el 15 % y el 30% del total de la demanda energética del campamento. Por ello, se optó por un sistema fijado, con un total de 50 paneles, cada uno con una capacidad de 600 W, lo que da una potencia aproximada de 30 kW, considerando las pérdidas en los paneles y en el inversor. Las demás características se presentan adscritas en la Tabla 8.

**Tabla 7.** Consumo combustible-electricidad y costo monetario de los sistemas por año en caso base y caso propuesto

| **Tipo de combustible** | | **Caso base** | | **Caso propuesto** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tipo de combustible** | **Precio del combustible (USD)** | **Consumo de combustible** | **Costo de combustible (USD)** | **Consumo de combustible** | **Costo de combustible** |
| Diésel | 3 | 113 gal | 339 | 113 gal | USD 339 |
| Electricidad | 0.10 | 271 148 kWh | 27 115 | 185 878 kWh | $ 18 588 |
| **Total** | | | **27 454** | | **$ 18 927** |

**Tabla 8.** Componentes e indicadores clave del sistema fotovoltaico considerado para el estudio mediante RETScreen

| | |
|---|---|
| Modo de rastreo solar | Fijado |
| Inclinación | 15° |
| Azimut | 180 |
| Tipo de panel | Mono - Si |
| Fabricante | Jinico Solar |
| Modelo | Mono Si - JKM600N-78HL4-600W |
| Capacidad | 600W por panel |
| Número de unidades | 50 |
| Capacidad total | 30 kW |
| Temperatura nominal de operación de las celdas | 45° C |
| Eficiencia | 21,46% |
| Área del colector solar | 140 $m^2$ |
| Pérdidas varias | 10% |
| Eficiencia del inversor | 97% (recomendado por el software) |
| Pérdidas en el inversor | 1% |

Se establece la premisa de que, si se mantiene un consumo constante de la energía generada por el sistema fotovoltaico, el ángulo de inclinación debe ser de 15°. En cuanto a la orientación de azimut, esta debe dirigirse hacia el hemisferio correspondiente; en este caso, como Esmeraldas (Ecuador) se encuentra en el hemisferio norte, la orientación debe ser hacia el sur, lo que determina un ángulo de 180°.

Asimismo, se plantea como premisa que el costo inicial, los costos de operación y mantenimiento, y la energía ahorrada para el campamento se encuentran descritos en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Costos de instalación y de operación-mantenimiento relacionados con el consumo del sistema fotovoltaico

| | **Costo por kW (USD/kW-año)** | **Costo total (USD)** |
|---|---|---|
| Costo inicial | 1176 | 35 294 |
| Costo de operación y mantenimiento | 10.29 | 309 |
| **Energía ahorrada** | | **36 103 kWh** |

Como acotación, los elementos fueron seleccionados con base en la premisa inicial de reducir entre un

15 % y un 30% la dependencia energética tanto del SNI como de los sistemas de producción energética convencionales, tales como generadores a diésel. Por ello, todos estos parámetros fueron calculados de manera automática por el RETScreen, que brindó sugerencias en aspectos relacionados con proveedores, modelos, capacidad, eficiencia y pérdidas, así como en criterios económicos, tales como el costo por kW del panel y el costo de operación y mantenimiento anual.

### 3.1. Medidas de optimización del consumo energético

Ya entrando en la materia correspondiente a los ahorros en el sistema energético del campamento, se establece una relación directa con los datos ingresados y con la adición del sistema fotovoltaico como elemento clave, puesto que a través de este se cumple el criterio fundamental de la investigación: reducir entre un 15 % y un 30% el consumo energético, aplicando principios de optimización. Estos resultados se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Concepto de ahorro eléctrico y combustible en el campamento

| Combustible | | Caso base | | Caso propuesto | | Ahorros | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tipo de combustible** | **Precio del combustible (USD)** | **Consumo de combustible** | **Costo de combustible (USD)** | **Consumo de combustible** | **Costo de combustible (USD)** | **Combustible ahorrado** | **Monto ahorrado (USD)** |
| Diésel | 3 | 113 gal | 339 | 113 gal | 339 | 0 gal | 0 |
| Electricidad | 0.10 | 271 148 kWh | 27 115 | 185 878 kWh | 18 588 | 85 270 kWh | 8527 |
| **Total** | | **27 454** | | | **18 927** | | **8527** |

La Tabla 11 muestra que, en el caso base, se consumieron 113 galones de diésel (USD 339) y 271 148 kWh/año de electricidad (USD 27 454). En el caso propuesto, el consumo de diésel se mantiene, pero el de electricidad disminuye a 185 878 kWh/año (USD 18 588), lo que representa un ahorro de 85 270 kWh (31%) gracias al sistema fotovoltaico. Los ahorros por subsistema (calentamiento, enfriamiento, electricidad) se detallan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Ahorro energético y porcentual respecto al contexto de cada uno de los sistemas

| | **Calentamiento (kWh)** | **Enfriamiento (kW)** | **Electricidad (kWh)** | **Total (kWh)** |
|---|---|---|---|---|
| Caso base | 4557 | 79 795 | 191 353 | 275 705 |
| Caso propuesto | 4557 | 68 396 | 117 482 | 190 435 |
| **Combustible ahorrado** | **0 kWh** | **11 399 399 kW** | **73 871 kWh** | **85 270 kWh** |
| ***Combustible ahorrado (%)*** | ***0%*** | ***14.3%*** | ***38.6%*** | ***30.9%*** |

Con fotovoltaicos, los sistemas de enfriamiento ahorran 14.3% y los eléctricos (bombas, compresores, luces) 38.6%, promediando 30.9%. Al no depender del SNI o generadores, el beneficio económico es alto, con un retorno de inversión en 10.7 años. La Figura 7 compara ambos casos.

Los equipos eléctricos como generadores son los que más ocupan el rubro de consumo de combustible en las instalaciones del campamento, seguido por los procesos de refrigeración o denominados de climatización, y con un bajo porcentaje están los equipos mecánicos y por último el calor del proceso que se pierde en los procesos de combustión. Para el caso propuesto queda descrito de la manera mostrada en la Figura 8.

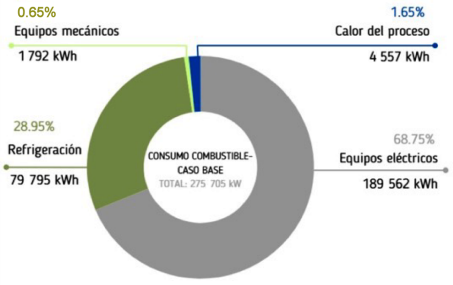


**Figura 7.** Consumo energético base por concepto de combustibles por los diferentes tipos de equipos.

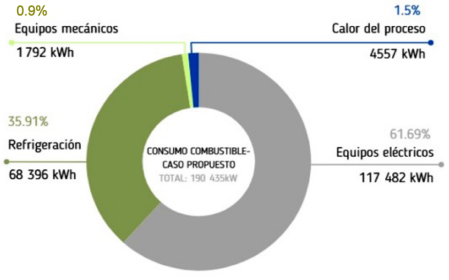


**Figura 8.** Consumo energético propuesto por concepto de combustibles por los diferentes tipos de equipos.

Se evidencia una diferencia significativa en la reducción de consumo, considerando la propuesta de

implementación de un sistema fotovoltaico, el cual contribuye a disminuir 36 103 kWh anuales, como se observa en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Consumo energético del caso propuesto en RETScreen

| Consumo energético caso propuesto | | |
|---|---|---|
| **Tipo de equipos** | **Consumo kWh** | **Valor porcentual** |
| Equipos eléctricos | 146 479 kWh | 64.7% |
| Refrigeración | 68 396 kWh | 30.2% |
| Equipos mecánicos | 7106 kWh | 3.1% |
| Calor del proceso | 4557 kWh | 2% |
| Generación fotovoltaica de electricidad | –36 103 kWh | - |

### 3.2. Costos asociados

En lo referente a los costos de la implementación del sistema fotovoltaico, se observa un incremento en la inversión inicial; sin embargo, se obtiene un ahorro significativo en el gasto de combustible, lo que representa un beneficio económico. Aunque el retorno de la inversión es a largo plazo, este conlleva ventajas en la optimización de sistemas sostenibles y respetuosos con el medioambiente, como se describe en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Gastos considerados para implementación

| Costos asociados a implementación | |
|---|---|
| Costos iniciales incrementales [USD] | 35 294 |
| Ahorros en costos de combustible [USD] | 8527 |
| Ahorros incrementales de operación y mantenimiento [USD] | –309 |
| Retorno del capital en años | 10.7 |

La inversión inicial será elevada y los costos de operación y mantenimiento presentan un valor negativo, lo que indica que deben ser considerados dentro de los gastos asociados a la operación del sistema fotovoltaico.

### 3.3. Análisis ambiental

En el análisis de impacto ambiental se consideran aspectos como los factores de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), cuyo valor es de 0.213 $tCO_2$/MWh, delimitado por el programa para Ecuador. En la Figura 9 se muestra que las emisiones de GEI corresponden a una reducción anual bruta equivalente a 18.1 $tCO_2$, lo que representa la absorción de aproximadamente 11.7 hectáreas de bosque.

En el caso base, la emisión fue de 58.8 $tCO_2$, mientras que en el caso propuesto se redujo a 40.7 $tCO_2$.

Además del estudio de implementación del sistema fotovoltaico, se plantean medidas que pueden aplicarse de manera inmediata. Estas alternativas se sugieren debido a que el costo de implementación del sistema puede constituir una limitación si no se hace un análisis exhaustivo previo. En este sentido, se identificaron opciones de optimización que también fueron evaluadas mediante el programa RETScreen.

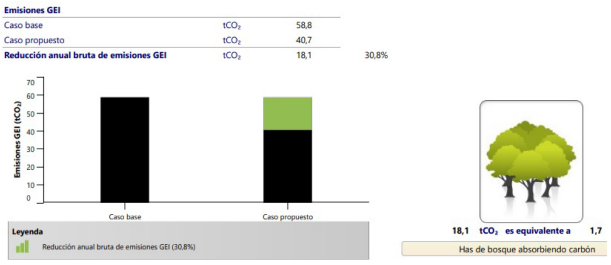


**Figura 9.** Reducción anual bruta de emisiones de GEI.

### 3.4. Medidas de gestión energética en el campamento petrolero

#### Área de cocina

Se muestra un escenario base y una propuesta de mejora respecto al sistema de calentamiento de agua (8000 L/día), evaluado con registros históricos, en el que como fuente energética se utiliza un generador eléctrico para producir calor.

Se propuso reducir la temperatura del agua caliente 5 °C, pasando de 45.5 °C a 40.5 °C.

Desde el punto de vista termodinámico, esta disminución implica una menor cantidad de energía requerida para alcanzar la temperatura idónea. La premisa de no incrementar, por ejemplo, en 10 °C la temperatura del agua se fundamenta en el equilibrio entre la eficiencia energética y el confort térmico del usuario. Reducir 5 °C significa que la energía necesaria para calentar el agua es directamente proporcional a la diferencia de temperatura deseada, sin comprometer ni el confort térmico del usuario ni la funcionalidad del sistema.

Con valores reales de consumo energético, se estima un ahorro aproximado de 17 000 kWh anuales, lo que representa una mejora del 24.3% en el desempeño térmico. El caso base era de 70 180 kWh/año, mientras que en el caso propuesto, bajo las condiciones sugeridas de funcionamiento, se reduce a 53 147 kWh/año. Este resultado se debe tanto al ajuste de la temperatura como a la optimización del ciclo de uso.

Como medida complementaria, se plantea reducir el ciclo de utilización en 25%, lo que disminuiría la demanda térmica global y, a su vez, reduciría la frecuencia de mantenimientos preventivos y correctivos.

Para futuras investigaciones, se puede efectuar un análisis de recuperación de calor en sistemas de extracción, mediante la implementación de campanas extractoras que permitan precalentar agua o alimentar procesos secundarios dentro del campamento.

**Luminarias del campamento**

Para el proceso de optimización de los sistemas lumínicos en las diferentes áreas del campamento, se propone la sustitución de la tecnología obsoleta, como las lámparas fluorescentes con balasto electrónico, por luminarias LED. En este análisis se considera una pérdida global del 25 %, aplicada tanto al caso base como al caso propuesto.

Desde el punto de vista técnico, se evidencia una reducción del 50% en la demanda eléctrica, pasando de 41 151 kWh/año a 20 855 kWh/año, lo cual mejora la eficiencia energética de los sistemas de iluminación. Este resultado se debe a la eficacia de las luminarias: mientras las luces convencionales con balasto presentan una eficiencia de 70 lm/W, las luminarias LED alcanzan 85.5 lm/W, lo que permite mantener los mismos niveles de iluminancia (500 lux) con una menor carga conectada.

Es importante destacar que los sistemas lumínicos deben ser adaptados a un diseño óptico adecuado, considerando aspectos direccionales y de dispersión de la luz. Las luminarias LED, al emitir luz de forma direccional, reducen las pérdidas por dispersión y ayudan a mantener los niveles de luminancia requeridos (500 lux) con una menor cantidad de luminarias y menor carga instalada. A diferencia de las lámparas fluorescentes con balasto, que debido a su emisión omnidireccional requieren un mayor número de puntos de luz, la tecnología LED reduce significativamente la potencia unitaria: de 150 W a 75 W por lámpara. En términos de carga total, esto implica una reducción de 4688 W (fluorescentes T8) a 2344 W (LED).

Para investigaciones futuras, se recomienda un análisis más exhaustivo de eficiencia lumínica en zonas críticas, considerando los niveles de iluminancia mediante software especializado como DIALux. Asimismo, se sugiere efectuar una comparativa entre luminarias LED convencionales y luminarias LED con sensores de presencia o regulación automática, a fin de determinar el potencial adicional de ahorro energético.

**Sistemas de climatización**

El sistema de climatización, conformado por tres equipos (capacidad conjunta: 93 500 BTU/h), presenta una oportunidad significativa de mejorar su eficiencia al incrementar el coeficiente de rendimiento (COP) de 3.0 a 3.5. Desde la termodinámica, el COP refleja la relación entre la energía útil entregada y la energía consumida; por tanto, al elevar el COP se reduce el consumo energético manteniendo la misma capacidad de climatización.

Con COP = 3.5, la demanda energética asociada al sistema de climatización se reduce de 79 795 kWh/año a 68 396 kWh/año, lo que equivale a una disminución del 14.28%. Este comportamiento es coherente con la proporcionalidad inversa del consumo respecto al COP.

Para alcanzar este valor de COP se plantean las siguientes estrategias:

- Mantenimiento preventivo y correctivo de periódico: limpieza de serpentines, verificación de presiones de alta y baja, y detección de fugas, de ser el caso.
- Mejoras de hermeticidad en las áreas climatizadas para reducir la carga térmica y, en consecuencia, el trabajo del sistema.
- Controles inteligentes (termostatos programables, sensores de ocupación) que optimicen los ciclos de operación.
- Integración de energías renovables (por ejemplo, aerotermia o apoyo solar térmico para ACS), que disminuyen el esfuerzo del compresor cuando proceda.

Se propone un sistema fotovoltaico de 30 kWp con 50 paneles de 600 Wp, logrando un ahorro eléctrico del orden del 30% en el consumo desplazable. La planta puede ampliarse con más módulos o complementarse con cambio a luminarias LED en zonas críticas. Asimismo, se sugiere mantenimiento regular de climatización o reemplazo por equipos Inverter con refrigerante R410.

A futuro, distribuir mejor la carga fotovoltaica priorizando equipos sensibles, e incorporar protecciones (p. ej., interruptores en carga telecomandados, almacenamiento energético cuando sea viable) mejorará la resiliencia del sistema.

Para investigaciones futuras, conviene evaluar los ciclos operativos de climatización y extracción, estableciendo parámetros reales de funcionamientos (horarios de mayor carga térmica, posibilidad de reducir la operación sin afectar el confort), y estudiar la compatibilidad de equipos Inverter con refrigerantes bajo GWP (potencial de calentamiento global).

## 4. Conclusiones

El objetivo central del estudio fue evaluar el impacto técnico, económico y ambiental de las medidas implementadas. En consecuencia, se estableció como meta reducir entre un 15 % y un 30% el consumo energético de un campamento petrolero remoto.

Este análisis se llevó a cabo mediante la herramienta RETScreen, en la que se propusieron mejoras en los sistemas de climatización, iluminación y servicios generales. Con base en los registros históricos, el consumo eléctrico inicial fue de 271 148 kWh/año, con un gasto aproximado de USD 27 454. En el escenario propuesto con un sistema voltaico, cuyo propósito fue

optimizar el consumo energético, el consumo se redujo a 185 878 kWh/año, lo que representa un 31% de ahorro y una disminución en el gasto de USD 8527 anuales.

La generación fotovoltaica, estimada en 30 kWp (no 30 kWh/año), permitió disminuir la dependencia del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y de fuentes contaminantes.

En cuanto a la distribución de la eficiencia energética, los sistemas de climatización registraron una mejora del 14.28%, mientras que los sistemas eléctricos —incluidas bombas e iluminación— alcanzaron la mayor reducción, con un 38.6%. El balance general señala un ahorro promedio del 30.9% en todo el sistema.

Desde el punto de vista ambiental, las emisiones de $CO_2$ se redujeron de 58.8 $tCO_2$ a 40.7 $tCO_2$, lo que equivale a la absorción realizada por 1.7 hectáreas de bosque. Finalmente, el retorno de inversión proyectado es de 10.7 años, lo que consolida la propuesta como una solución viable, sostenible y replicable.

## Rol de autores

- **Edwin Illescas:** Conceptualización, análisis formal, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito, investigación y gestión de recursos.
- **Edison Laz:** Software, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito, validación y gstión de recursos.
- **Manuel Rogelio Nevárez Toledo:** Administración de proyecto.
- **Miguel Alberto Dávila-Sacoto:** Supervisión, administración de proyecto y metodología.

## Referencias

[1] E. A. Llanes Cedeño and O. D. Rubio Aguiar, *Elaboración de una metodología de gestión energética para campos petroleros en el Ecuador basada en la ISO 50001.* Universidad Internacional SEK, 2022. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r1

[2] B. Williams, D. Bishop, P. Gallardo, and J. G. Chase, "Demand side management in industrial, commercial, and residential sectors: A review of constraints and considerations," *Energies*, vol. 16, no. 13, p. 5155, Jul. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.3390/en16135155

[3] S. Mimi, Y. Ben Maissa, and A. Tamtaoui, "Optimization approaches for demand-side management in the smart grid: A systematic mapping study," *Smart Cities*, vol. 6, no. 4, pp. 1630–1662, Jun. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.3390/smartcities6040077

[4] S. S. Shuvo and Y. Yilmaz, "Demand-side and utility-side management techniques for increasing EV charging load," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 14, no. 5, pp. 3889–3898, Sep. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.1109/TSG.2023.3235903

[5] S. Charles Raja, A. C. Vishnu Dharssini, J. Jeslin Drusila Nesmalar, and T. Karthick, "Deployment of IoT-based smart demand-side management system with an enhanced degree of user comfort at an educational institution," *Energies*, vol. 16, no. 3, p. 1403, Jan. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.3390/en16031403

[6] V. Cortez, R. Rabelo, A. Carvalho, A. Floris, and V. Pilloni, "On the impact of flexibility on demand-side management: Understanding the need for consumer-oriented demand response programs," *International Journal of Energy Research*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024. [Online]. Available: http://doi.org/10.1155/2024/8831617

[7] D. Stanelyte, N. Radziukyniene, and V. Radziukynas, "Overview of demand-response services: A review," *Energies*, vol. 15, no. 5, p. 1659, Feb. 2022. [Online]. Available: http://doi.org/10.3390/en15051659

[8] M. Alikhani, M. P. Moghaddam, F. Moazzen, and A. Azadi, "Optimal implementation of consumer demand response program with consideration of uncertain generation in a microgrid," *Electric Power Systems Research*, vol. 225, p. 109859, Dec. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109859

[9] A. Piñeres Castillo, J. J. Cabello Eras, and M. Hinojosa Rivera, "Factores determinantes para la evaluación de la eficiencia energética en las organizaciones: una visión desde las condiciones de Colombia," *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. 2, pp. 509–520, 2022. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r9

[10] P. J. Ramos-Males and A. M. Bautista-Segovia, "La eficiencia energética: Una estrategia para la economía doméstica en Ecuador," *Dominio de las Ciencias*, vol. 8, no. 2, pp. 1334–1346, 2022. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r10

[11] R. Cancio-Bello, S. Montelier Hernández, A. Oviedo Regojo, and O. Bello Gonzalez, "Bases para la implementación de un sistema de gestión energética en la UEB Ron "Luis Arcos Bergnes" de Cienfuegos basado

en la NC-ISO 50001:2019," *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. 4, 2021. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r11

[12] L. Freire, V. Resabala, J. Castillo, and B. Corrales, "Propuesta de un plan alternativo de optimización energética," *Espacios*, vol. 40, no. 30, 2019. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r12

[13] F. De La Cruz Cabrales Ávila and R. A. Mejía Otero, "Sistemas fotovoltaicos: solución energética en las comunidades aisladas," 2022. [Online]. Available: http://doi.org/10.5281/ZENODO.7461726

[14] G. S. Inca Yajamín, D. F. Cabrera Carrión, D. F. Villalta Gualán, R. C. Bautista Zurita, and H. D. Cabrera Carrión, "Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 3, pp. 9493–9509, Jul. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835

[15] A. F. Guamán Mejía and L. V. Sánchez Parrales, "Importancia de la energía renovable para el alumbrado público," *Revista Sinapsis*, vol. 24, no. 1, 2024. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r15

[16] J. R. López Escobedo, K. Nicolás Javier, and F. García Reyes, "Optimización de energía eléctrica y luminosa en laboratorios y aulas de aprendizaje, aplicación sustentable con luminarias de tecnología LED," *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, vol. 1, no. 1, pp. 93–100, Dec. 2022. [Online]. Available: http://doi.org/10.56845/terys.v1i1.108

[17] J. L. Rodríguez Muñoz, J. S. Pacheco Cedeño, C. M. Valencia Castillo, and J. d. J. Ramírez Minguela, "Energy and exergy analysis of an ejector-compression refrigeration cycle with double ihx," *REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS*, vol. 6, no. 3, p. e261, Sep. 2023. [Online]. Available: http://doi.org/10.37636/recit.v6n3e261

[18] ONU, *Las emisiones históricas del sector de la construcción, lo alejan de los objetivos de descarbonización.* Naciones Unidas, 2022. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r18

[19] IRENA, *Integración de energías renovables de baja temperatura en los sistemas energéticos urbanos: lineamientos para los responsables de la formulación de políticas – Resumen.* International Renewable Energy Agency, 2021. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r19

[20] ISO, *Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018.* Organización Internacional de Normalización, 2018. [Online]. Available: https://upsalesiana.ec/ing35ar1r20

[21] T. Jing and Y. Zhao, "Optimizing energy consumption in smart buildings: A model for efficient energy management and renewable integration," *Energy and Buildings*, vol. 323, p. 114754, Nov. 2024. [Online]. Available: http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114754