

## Sistema Autónomo de Alimentación Eléctrica para de Tanques Remolcados de Combustible.

Jorge Sarmiento <sup>1</sup>; Paul Astudillo <sup>2</sup>; William Yugcha <sup>3</sup>; Diego Pichoasamin <sup>4</sup>; María Vera <sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Instituto Tecnológico Superior Universitario Rumiñahui, Rumiñahui – Ecuador  
[jorge.sarmiento@ister.edu.ec](mailto:jorge.sarmiento@ister.edu.ec)

**Resumen:** Se propone una solución de energías renovables para alimentar un depósito de gasolina remolcado y prescindir de los grupos electrógenos alimentados con combustibles fósiles, se propone una alternativa de energía renovable. Además de apoyar la sostenibilidad medioambiental, esta estrategia armoniza las operaciones de la empresa con los últimos avances en eficiencia de recursos y reducción de emisiones de carbono. El sistema, que consta de baterías, reguladores de carga y paneles solares, se integrará en la estructura del remolque para aprovechar al máximo el espacio y reducir los gastos de mantenimiento y logística. Facilitar el suministro de combustible para maquinaria y/o equipos en campos petrolíferos es el objetivo principal. La energía se almacenará a lo largo del día y se utilizará durante unas cuatro horas diarias. Al garantizar un suministro constante y eficaz, se reduce la probabilidad de interrupciones operativas. El uso de esta tecnología no sólo aumenta la eficacia operativa, sino que también es un paso crucial en la dirección de la sostenibilidad futura de la industria.

**Palabras clave:** Energías renovables, sostenibilidad, autonomía energética, campos petroleros.

### *Autonomous Electric Power Supply System for Fuel Tank Trailers*

**Abstract:** A renewable energy solution is proposed to power a towed gasoline tank and dispense with fossil fuel-powered generator sets, a renewable energy alternative is proposed. In addition to supporting environmental sustainability, this strategy aligns the company's operations with the latest advances in resource efficiency and carbon emissions reduction. The system, consisting of batteries, charge controllers and solar panels, will be integrated into the trailer structure to maximize space and reduce maintenance and logistics costs. Facilitating the supply of fuel for machinery and/or equipment in oil fields is the main objective. The energy will be stored throughout the day and used for about four hours a day. By ensuring a constant and efficient supply, the likelihood of operational interruptions is reduced. The use of this technology not only increases operational efficiency, but is also a crucial step in the direction of the industry's future sustainability.

**Keywords:** Renewable energy, sustainability, energy autonomy, oil fields

### 1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica se ha convertido en un pilar fundamental para la vida moderna, tanto en las actividades cotidianas como en los procesos industriales. Esta creciente dependencia ha sido impulsada por el avance tecnológico, la industrialización global y el crecimiento demográfico (Iñiguez- Morán et al., 2023). Como

resultado, cualquier interrupción en el suministro eléctrico tiene repercusiones considerables, afectando desde la productividad industrial hasta la calidad de vida de la población. A pesar de la importancia de la energía eléctrica, gran parte de la producción actual en Ecuador proviene de fuentes de energía hidráulica (Cenace, 2024), pero cuando hay disminución de los caudales de las fuentes hídricas, ya no es una opción viable y se

recurre a energías no renovables, como el carbón, el petróleo y el gas natural, cuya explotación y uso generan grandes cantidades de emisiones contaminantes, afectando al medio ambiente y contribuyendo al cambio climático (Dong et al., 2022; Little et al., 2021; Trinks et al., 2018).

En respuesta a este problema, los gobiernos han empezado a promulgar políticas energéticas sostenibles que fomentan el uso de fuentes de energía renovables. Además de ser más limpias, estos sustitutos -como la energía solar, eólica y geotérmica- también ofrecen suministros prácticamente ilimitados (Sinsel et al., 2020; Wang et al., 2022). La energía solar ha surgido como una opción destacada debido a su adaptabilidad, amplia disponibilidad en todo el mundo y notables avances en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Esta tecnología no solo permite una generación de energía más respetuosa con el medio ambiente, sino que también promueve la independencia energética, un aspecto crucial en regiones remotas con infraestructuras limitadas. Ecuador, al ubicarse en el centro del planeta goza en un promedio de 5 a 8 horas de luz solar al día (Guerrero-Calero et al., 2024), lo que refuerza la viabilidad de implementar energía solar en diversos procesos residenciales, comerciales e industriales.

En Ecuador, la industria petrolera es uno de los pilares más importantes de la economía, aportando aproximadamente el 10 % del Producto Interno Bruto (PIB) y más del 30 % de los

ingresos fiscales (Cruz Vargas et al., 2022; -Galarza et al., 2023). El país cuenta con alrededor de 22 campos petroleros activos, ubicados principalmente en la región amazónica. Entre ellos, destacan el Bloque 43 (conformado por los campos Ishpingo, Tambococha y Tiputini), Sacha, Shushufindi y Auca, que representan una parte significativa de la producción nacional (Cruz Vargas et al., 2022; Rubio Aguiar, 2022), con una extracción diaria de aproximadamente 500,000 barriles de crudo, en su mayoría pesado.

Dentro de las operaciones de los campos petroleros, el uso de diversas maquinarias y equipos que dependen de combustible para su funcionamiento. Sin embargo, debido a las grandes distancias entre las áreas de trabajo y los puntos de reabastecimiento, se utilizan tanques remolcados para transportar y suministrar combustible. Actualmente, el proceso de carga y descarga de estos tanques se realiza a través de bombas alimentadas por generadores diésel, lo que conlleva costos económicos elevados y un significativo impacto ambiental debido a las emisiones de gases contaminantes.

Al sugerir la instalación de un sistema fotovoltaico para alimentar los tanques de remolque utilizados en las operaciones de extracción de crudo, este concepto pretende paliar estos problemas. En industrias que históricamente han dependido de los combustibles fósiles, el cambio a una fuente de energía limpia como la energía solar ofrece la posibilidad de reducir los

costes operativos, disminuir el impacto ambiental y promover el uso sostenible de los recursos naturales.

La investigación consta de doce secciones. La fase inicial del proyecto consiste en diseñar, construir y poner en marcha el sistema solar teniendo en cuenta las especificaciones técnicas propias de la industria del petróleo y el gas. En la segunda fase se realizarán pruebas sobre el terreno para evaluar el rendimiento del sistema en un entorno industrial real, incluida su eficiencia energética, sus efectos en los procedimientos de producción y las ventajas para la economía y el medio ambiente que conlleva su implantación.

Los resultados de este estudio permitirán comprender cómo las fuentes de energía renovables, especialmente la solar, pueden mejorar las operaciones en sectores de la economía y el medio ambiente que históricamente han dependido de los combustibles fósiles.

## 2. METODOLOGÍA

La propuesta se llevará a cabo en el campo Shushufindi, en la provincia de Sucumbíos dentro de la región amazónica de Ecuador. Este campo es uno de los más importantes del país. Para llevar a cabo la investigación, se empleará el método deductivo junto con un enfoque experimental. Este enfoque permitirá analizar de manera rigurosa los datos de radiación solar disponibles, así como la selección de materiales que se ajusten

a las especificaciones técnicas requeridas por la bomba del remolque.

Al contar con una bomba de transferencia de combustible que se alimenta con 12 VDC, no es necesario contar con un inversor para el funcionamiento, el circuito eléctrico se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Circuito Eléctrico

### 2.1. Diseño

Para el cálculo de la cantidad de paneles solares y baterías se toma en consideración la potencia de 372.85 vatios del despachador de combustible junto con la autonomía de 4 horas, tomando en consideración el tiempo medio que se toma en la actualidad despachar totalmente la capacidad del tanque de combustible de 500 galones.

Es fundamental considerar la cantidad de irradiación solar mensual en el sitio de implementación, como se ilustra en la Figura 2. Se observa que la radiación solar anual de 1800.8159.2 kWh/m, la radiación mínima se presenta en febrero, con un valor de 138.3 kWh/m<sup>2</sup>. Este último dato será utilizado para realizar los cálculos necesarios en el diseño del sistema. Además, se identifica que la temperatura

promedio anual en la región es de 23.6 °C, lo que influye en el rendimiento y la operación del sistema.

	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Temperature °C
January	159.2	73.0	24.7
February	138.3	75.9	24.7
March	155.0	79.9	25.0
April	154.5	65.6	24.6
May	161.2	68.2	24.5
June	148.0	59.1	23.1
July	146.8	72.0	22.8
August	141.6	76.9	22.4
September	149.4	74.9	22.1
October	148.8	80.2	22.6
November	143.7	76.4	22.6
December	154.3	67.8	24.0
Year	1800.8	870.0	23.6

Figura 2. Radiación Solar.

Debe tenerse en cuenta la hora solar pico (HSP) (Waleed et al., 2019), es decir, el momento del día en que la radiación solar alcanza su valor máximo expresado en kWh/m<sup>2</sup>/día. Para el diseño será utilizado el valor mínimo de irradiación solar. Incluso en las circunstancias más desfavorables, se podrá determinar con precisión las horas de autonomía del sistema fotovoltaico en base a la ecuación 1. Este método permite garantizar un suministro constante de energía, lo que significa que incluso en situaciones de cielo nublado, el sistema seguirá funcionando de forma eficaz y fiable (Reyes Soledispa & Velez Vera, 2022).

$$HSP = \frac{HG}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (1)$$

- **HSP**= Hora solar pico
- **HG**= Radiación solar del mes menos favorable

La inclusión de la hora solar pico (HSP) permite dimensionar adecuadamente los componentes del sistema, como los paneles solares y las baterías de almacenamiento. Esto asegura que se maximice la autonomía del sistema y se minimicen las posibles interrupciones en el suministro de energía. Con un valor de HSP de 3.62 horas, se calcula el número de paneles solares necesarios para cubrir la demanda energética mediante la ecuación 2. Para este análisis, se usará paneles con una potencia de 330 W, tomando en consideración que es una opción comercial y disponible en el mercado. Esta elección garantiza un equilibrio entre eficiencia, disponibilidad y costo (Álvarez Játiva, 2022).

$$N = \frac{E \cdot n}{HSP \cdot \eta \cdot P} \quad (2)$$

- **N**= Numero de paneles
- **E**= Energía diaria (Wh/día)
- **n**= Número de días (día)
- **HSP**= Hora solar pico (h)
- **η**= Eficiencia
- **P**= Potencia del panel solar (w)

Se ha determinado que es necesaria una batería de 100 Ah tras tener en cuenta la duración prevista de la autonomía y las necesidades de consumo. Gracias a esta capacidad de almacenamiento, el sistema podrá funcionar incluso en épocas de baja radiación solar o climatología desfavorable. La selección de una batería con esta capacidad también representa una solución rentable que

logra un equilibrio entre longevidad, capacidad de almacenamiento y asequibilidad, en consonancia con los objetivos de eficiencia económica y sostenibilidad del proyecto (Parihar & Malik, n.d.).

$$CB = \frac{EC \cdot D_{aut}}{VB \cdot PD} \quad (3)$$

- **CB**= Capacidad de la batería (Ah).
- **E**= Energía consumida (Wh).
- **VB**= voltaje de la batería (V).
- **PD**= Factor de descarga (0.7).
- **D<sub>aut</sub>**= Días de autonomía.

## 2.2. Construcción

Se colocó un armazón adicional que permite albergar los componentes de control y proporciona una plataforma de montaje para el panel fotovoltaico en su parte superior. En la Figura 3 se muestra el diseño final de esta estructura, que se integra junto al depósito de reserva existente. El objetivo de la configuración elegida es optimizar la movilidad en toda la zona de operación, maximizando la eficacia de la captación de energía solar, lo que le permite adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento.



**Figura 3.** Estructura nueva.

Además, el sistema de control se encuentra alojado dentro de un gabinete especializado, diseñado para contener de manera segura y ordenada los diversos componentes de control. Este gabinete incluye los dispositivos de interconexión eléctrica, protecciones, y los elementos necesarios para la gestión del arranque y detención del proceso operativo. Dicho diseño asegura la correcta organización de los circuitos y facilita el mantenimiento, además de proteger los componentes de posibles agentes externos. Esta disposición puede observarse detalladamente en la figura 4.



Figura 4. Elementos de control.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Finalmente se evaluaron el rendimiento y funcionamiento del sistema durante un periodo de prueba de siete días. Para confirmar que los componentes del sistema cuentan con una función adecuada, se realizaron varias mediciones de corriente y tensión durante este periodo (Figuras 5 y 6). Este enfoque permitió analizar el rendimiento del sistema fotovoltaico.

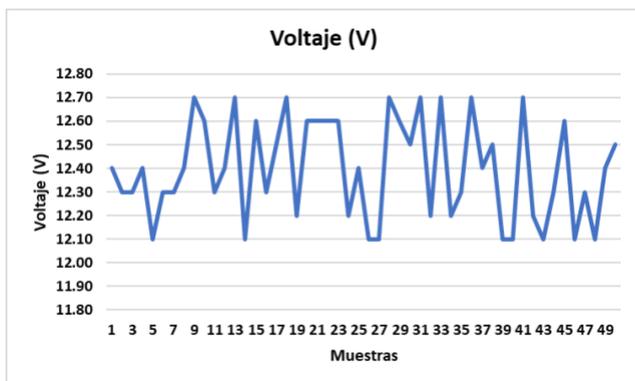


Figura 5. Voltaje.

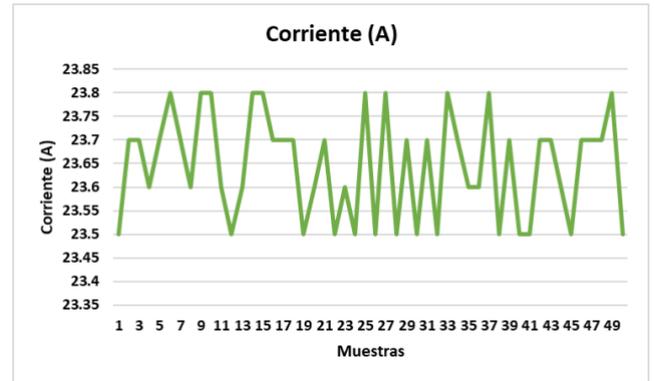


Figura 6. Corriente.

Al analizar los datos obtenidos se puede evidenciar las que la producción de la energía. Las lecturas del voltaje del sistema presentaron variaciones entre 12,10 y 12,7 voltios. Esta variación, demuestra lo bien que el regulador elegido controla la tensión aplicada a la bomba. Por el contrario, las mediciones de corriente mostraron un rango de 23,5 a 23,8 amperios, siendo este último el pico más alto. La estabilidad de estos niveles de corriente, corrobora la idoneidad del dimensionamiento del sistema. Estos resultados implican que el sistema funciona dentro de los parámetros previstos. Junto con los niveles de corriente medidos, la estabilidad de la tensión sugiere una conversión eficaz de la energía solar y una adaptación suficiente a las demandas de carga de la bomba.



**Figura 7.** Horas de autonomía.

El comportamiento de la autonomía del sistema se representa en la Figura 7. Los datos recogidos a lo largo de un periodo de evaluación de siete días muestran que la duración de la autonomía de funcionamiento va desde un mínimo de 3,5 hasta un máximo de 4,1 horas, despachando todo el combustible. La resiliencia del modelo predictivo utilizado durante el proceso de diseño queda validada por estos resultados, que muestran concordancia con los cálculos preliminares. Existe una relación inversa entre la frecuencia de los despachos y las fluctuaciones observadas en la duración de la autonomía. Esta relación se traduce en un aumento de las necesidades energéticas del sistema.

#### 4. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que alimentar bombas de combustible en tanques de remolque en campos petrolíferos mediante un sistema fotovoltaico es técnica y operativamente viable. Siete días de pruebas revelan que el sistema mantiene sistemáticamente una corriente de 23,5 a 23,8 amperios y un rango de tensión constante de 12,10

a 12,7 voltios. Estos resultados demuestran una conversión eficaz de la energía solar y un dimensionamiento adecuado del sistema. La estabilidad del rendimiento indica que la solución es fiable, especialmente en entornos industriales difíciles donde el consumo de energía es crucial, como los campos petrolíferos.

Los datos de autonomía del sistema, que se sitúan entre 3,5 y 4,1 horas, confirman la validez del modelo predictivo utilizado en la fase de planificación y son coherentes con las previsiones iniciales de diseño. Esta constancia garantiza un funcionamiento fiable incluso en momentos de alta demanda energética, lo que constituye un signo crucial de la robustez del sistema. La durabilidad operativa del sistema y su adaptabilidad a las oscilaciones típicas de las operaciones en yacimientos petrolíferos quedan demostradas por su capacidad para mantener un mínimo de 3,5 horas de autonomía, incluso en circunstancias de carga pesada.

La exitosa instalación de este sistema fotovoltaico en el campo petrolífero de Shushufindi muestra cómo la energía renovable puede cambiar las industrias que históricamente han dependido de combustibles fósiles. La solución no solo reduce drásticamente los costos operativos y el impacto ambiental, sino que también alinea las operaciones con las tendencias mundiales de descarbonización al eliminar la necesidad de generadores diésel para alimentar las bombas de combustible. Esta solución creativa podría servir

como modelo replicable para aplicaciones similares en otros campos petrolíferos e industrias en el futuro, alentando un cambio lento en el sector energético hacia métodos más respetuosos con el medio ambiente.

Para trabajos futuros se plantea un cambio de la batería del sistema para aumentar las horas de autonomía y permita llegar a lugares más lejanos, para despacho de combustible hacia los equipos dentro del área de trabajo.

## REFERENCIAS

- Álvarez Játiva, L. H. (2022). *Situación y perspectivas de las Energías Renovables y de las medidas de Eficiencia Energética en la República del Ecuador*.
- Cenace. (2024). *Informe Anual 2023 – Operador Nacional de Electricidad CENACE*. <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Parte-1-Informe-Anual-CENACE-2023.pdf>
- Cruz Vargas, B. G., Díaz Navarro, J. C., & Castillo Castro, N. R. (2022). Las exportaciones primarias no petroleras como determinante de la producción económica en Ecuador. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional, ISSN-e 2550-682X, Vol. 7, N° 12 (DICIEMBRE 2022), 2022, Págs. 1028-1053, 7(12), 1028–1053. https://doi.org/10.23857/pc.v7i8*
- Dong, J., Asif, Z., Shi, Y., Zhu, Y., & Chen, Z. (2022). Climate Change Impacts on Coastal and Offshore Petroleum Infrastructure and the Associated Oil Spill Risk: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering 2022, Vol. 10, Page 849, 10(7), 849. https://doi.org/10.3390/JMSE10070849*
- Galarza, R., Ernesto, F., Vera-Alcívar, ;, Gonzalo, D., Carrera-Reyes, ;, Fidel, C. E., Galarza, E. R., Alcívar, V., Carrera-Reyes, C. E., Central, U., & Ecuador, D. (2023). Alternativas y desafíos para enfrentar la transición de la era post petrolera en el Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, ISSN-e 2602-8484, Vol. 16, N° 2, 2023 (Ejemplar Dedicado a: Futuro Sostenible), Págs. 143-162, 16(2), 143–162. https://doi.org/10.29166/revfig.v16i2.4721*
- Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M., Zapata-Velasco, M. L., Mielles-Giler, J. W., & Cárdenas-Baque, D. A. (2024). Potencial fotovoltaico para sistemas de bombeo de agua para la comuna de Joa, Manabí, Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research, 4(3), 32–45. https://doi.org/10.55813/GAEA/JESSR/V4/N3/119*
- Iñiguez- Morán, V., Villa- Ávila, E., Ochoa-Correa, D., Larco- Barros, C., Sempertegui-Álvarez, R., Iñiguez- Morán, V., Villa-Ávila, E., Ochoa- Correa, D., Larco- Barros, C., & Sempertegui- Álvarez, R. (2023). Estudio de eficiencia energética de una bicicleta eléctrica urbana cargada con una estación de carga solar fotovoltaica autónoma y su cumplimiento con la regulación ecuatoriana No. ARCERNNR – 002/20. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, 2023(29), 46–57. https://doi.org/10.17163/ING.S.N29.2023.04*
- Little, D. I., Sheppard, S. R. J., & Hulme, D. (2021). A perspective on oil spills: What we should have learned about global warming. *Ocean & Coastal Management, 202, 105509. https://doi.org/10.1016/JOCECOA.MAN.2020.105509*
- Parihar, S. S., & Malik, N. (n.d.). Analysing the impact of optimally allocated solar PV-based DG in harmonics polluted distribution network. *Sustain. Energy Technol.*

Assessments, 49.  
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101784>.

Reyes Soledispa, S. L., & Velez Vera, E. D. (2022). *Diseño de un sistema aislado de energía fotovoltaica para los módulos didácticos del LTI-ESFOT*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22064>

Rubio Aguiar, O. D. (2022). *Elaboración de una metodología de gestión energética para campos petroleros en el Ecuador basada en la ISO 50001*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4653>

Sinsel, S. R., Riemke, R. L., & Hoffmann, V. H. (2020). Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review. *Renewable Energy*, 145, 2271–2285. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.06.147>

Trinks, A., Scholtens, B., Mulder, M., & Dam, L. (2018). Fossil Fuel Divestment and Portfolio Performance. *Ecological Economics*, 146, 740–748. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.11.036>

Waleed, A., Riaz, M. T., Muneer, M. F., Ahmad, M. A., Mughal, A., Zafar, M. A., & Shakoor, M. M. (2019). Solar (PV) Water Irrigation System with Wireless Control. *RAEE 2019 - International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering*. <https://doi.org/10.1109/RAEE.2019.8886970>

Wang, W., Yuan, B., Sun, Q., & Wennersten, R. (2022). Application of energy storage in integrated energy systems — A solution to fluctuation and uncertainty of renewable energy. *Journal of Energy Storage*, 52, 104812. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2022.104812>