



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA ENERGÍA
FOTOVOLTAICA EN LA OPERACIÓN DE ESTACIONES DE
COMPRESIÓN DE GAS**

AUTOR

ING. LAINEZ DEL PEZO ANGELO JIMMY

TRABAJO DE TITULACIÓN

**Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN PETRÓLEOS**

TUTOR

ING. SALCEDO ARCINIEGA MARCO ANTONIO, PhD.

Santa Elena, Ecuador

Año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Econ. Roxana Álvarez Acosta, PhD
COORDINADORA (E) DEL
PROGRAMA**

**Ing. Salcedo Arciniega Marco, PhD
TUTOR**

**Ing. Gutiérrez Hiestroza Marllerlis, PhD
DOCENTE ESPECIALISTA 1**

**Ing. Carrión Mero Paul, PhD
DOCENTE ESPECIALISTA 2**

**Ab. Rivera González María, Mgtr
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Angelo Jimmy Lainez Del Pezo, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Petróleos.

TUTOR

ING. SALCEDO ARCINIEGA MARCO ANTONIO, PhD.

04 días del mes de octubre del año 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, ANGELO JIMMY LAINEZ DEL PEZO

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA OPERACIÓN DE ESTACIONES DE COMPRESIÓN DE GAS, previo a la obtención del título en Magíster en Petróleos, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme a las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente, este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 04 días del mes de octubre del año 2025

EL AUTOR

ING. LAINEZ DEL PEZO ANGELO JIMMY



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado, Evaluación del Impacto de la Energía Fotovoltaica en la Operación de Estaciones de Compresión de Gas, presentado por el estudiante, Angelo Jimmy Lainez Del Pezo, fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 1%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS PARA LA INGRESO DE ANTIPLAGIO (2)

1%
Textos sospechosos

0% Similitudes
0 % similitudes entre comillas
0 % entre las fuentes mencionadas

1% Idiomas no reconocidos

41p Textos potencialmente generados por IA (ignorado)

| | | |
|--|--|------------------------------|
| Nombre del documento: TESIS PARA LA INGRESO DE ANTIPLAGIO (2).docx | Depositante: Marco Antonio Salcedo Arciniega | Número de palabras: 5396 |
| ID del documento: 88a47f49b427e3444fe834c23fad2fd9805f956c | Fecha de depósito: 4/10/2025 | Número de caracteres: 33.974 |
| Tamaño del documento original: 79.37 kB | Tipo de carga: interface | |
| | fecha de fin de análisis: 4/10/2025 | |

Ubicación de las similitudes en el documento:

TUTOR

ING. SALCEDO ARCINIEGA MARCO ANTONIO, PhD.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, ANGELO JIMMY LAINEZ DEL PEZO

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de informe de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, a los 04 días del mes de octubre del año 2025

EL AUTOR

ING. LAINEZ DEL PEZO ANGELO JIMMY

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por la oportunidad que me ha brindado para desarrollar y ejecutar este trabajo. A Madre por su bendición, que me ha guiado al éxito. Al apoyo incondicional de mis familiares, amigos y compañeros.

A mi tutor de tesis, la Dra. Marco Salcedo, por bríndame la oportunidad de formar parte de su grupo de trabajo, por haberme apoyado incondicionalmente y ser guía en el desarrollo de este trabajo de titulación, agradeciendo sus recomendaciones y el tiempo que dedicó para este desarrollo.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a la facultad Ciencias de la Ingeniería, a la Maestría de Ingeniería en Petróleos y al grupo de docentes, quienes impartieron sus conocimientos, base fundamental de nuestra formación como profesionales.

Angelo Jimmy, Lainez Del Pezo

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo y mis estudios a querida mi mamá Juana Del Pezo Chalen, quien fue mi guía constante y apoyo emocional e incondicional; a mi abuelo, cuyo legado y consejos perduran en mi corazón; a mi persona por no rendirme y poder llegar hasta el final sin perder el rumbo, centrándome en mis responsabilidades.

Para mis queridos amigos Ronny Melendres, José Bravo, Yuli Salazar y Ginger González, quienes fueron los pilares fundamentales en mi trayectoria académica, con los cuales eh formado un verdadero y sincero laso de amistad, gracias a sus apoyos brindados y el constante esfuerzo para poder obtener gran maravillo triunfo.

Con gratitud y cariño, les dedico mis logros, mis alegrías y mis más sinceros agradecimientos a todas las personas, amigos y familiares que hicieron presencia en mi trayecto, los cuales han marcado mi camino de una manera que jamás podré olvidar. ¡Gracias por ser mi familia y amigos invaluable!

Angelo Jimmy, Lainez Del Pezo

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | I |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | II |
| CERTIFICACIÓN..... | III |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD | IV |
| DECLARO QUE: | IV |
| CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO | V |
| AUTORIZACIÓN | VI |
| AGRADECIMIENTO | VII |
| DEDICATORIA..... | VIII |
| ÍNDICE GENERAL | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS | XII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIV |
| RESUMEN | XVI |
| ABSTRACT..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)..... | 11 |
| Formulación del problema de investigación | 12 |
| Objetivo General: | 12 |
| Objetivos Específicos:..... | 12 |
| Planteamiento hipotético..... | 12 |
| CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... | 14 |
| 1.1. Revisión de literatura | 14 |
| ¿Qué es la energía solar? | 14 |
| ¿Cómo se aprovecha la energía solar? | 14 |

| | |
|---|-----------|
| La Energía Fotovoltaica..... | 15 |
| Los principales elementos de un parque fotovoltaico..... | 16 |
| Proceso de generación de energía solar fotovoltaica | 18 |
| Ventajas y desventajas de la energía solar..... | 18 |
| Proyectos Ecuador | 19 |
| 1.2. Desarrollo teórico | 20 |
| Ubicación de la Sección de Compresión de Gas de la Estacion Central Shushufindi | 20 |
| Funcionamiento y Componentes | 22 |
| Operación de las Estaciones de Compresión de Gas Natural | 22 |
| Consumo Energético e Impacto Ambiental | 24 |
| Costos de Producción de Energía | 24 |
| Desafíos para la Integración de Energía Fotovoltaica | 25 |
| Tecnología Fotovoltaica: Características y Potencial de Aplicación..... | 26 |
| Componentes Esenciales..... | 26 |
| Modularidad..... | 30 |
| Tecnologías Destacadas e innovaciones | 31 |
| Tipos de costes de una planta solar..... | 32 |
| Costos de instalación | 33 |
| Ventajas Operativas | 33 |
| Correcciones y Mantenimiento Preventivo..... | 34 |
| Conexión paneles solares en serie y en paralelo..... | 35 |
| CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA..... | 36 |
| 2.1. Contexto de la investigación | 36 |
| 2.2. Diseño y alcance de la investigación | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3. Tipo y métodos de investigación..... | 36 |
| Estudio de Caso | 36 |
| 2.4. Población y muestra | 36 |
| Estación de Compresión de Gas: Estación Central Shushufindi | 36 |
| 2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 36 |
| Revisión Bibliográfica | 37 |
| Análisis de Datos: | 37 |
| 2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información..... | 37 |
| Datos y parámetros clave..... | 38 |
| Desarrollo y análisis matemático del PVS en la Estación de compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi..... | 38 |
| Metodología de cálculo..... | 46 |
| Consideraciones esenciales para el diseño de PVS | 50 |
| Accesorios necesarios para el PVS..... | 55 |
| Licitaciones del Cálculo y Recomendaciones | 55 |
| Calculo económico la de Sección de compresión de gas con respecto al a utilidad de gas y PVS..... | 56 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 59 |
| Análisis de costos entre la energía actual y energía generada por PVS | 59 |
| CONCLUSIONES | 62 |
| RECOMENDACIONES | 63 |
| REFERENCIAS..... | 64 |
| ANEXOS..... | 71 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica. (Editorial Etecé, 2023) (Auto Solar, 2023) (Editorial Etecé, 2023)..... | 19 |
| Tabla 2. Resumen del portafolio de proyectos solares fotovoltaicos identificados en este estudio. Esta tabla representa la producción esperada de la energía fotovoltaica de las provincias donde se desarrollarán los proyectos. Tomada de Estudio de Potencial Solar Fotovoltaico del Ecuador, por (CELEC, 2024a)..... | 20 |
| Tabla 3. Parámetros Operacionales Típicos de Estaciones de Compresión de Gas (MAY-OSTENDORP & DAYEM, 2018) (Natural Gas, 2025)..... | 26 |
| Tabla 4. Modelos de paneles solares (Panel Solar Perú, 2025b) (Auto Solar, 2025) (NOVELEC, 2024)..... | 28 |
| Tabla 5. Modelos de Inversores solares (Panel Solar Perú, 2025a)(Techno Sun, 2025)(NOVELEC, 2024)..... | 30 |
| Tabla 6. Plan de Mantenimiento establecido para el PVS (Modificado) (REPSOL, 2023). | 34 |
| Tabla 7. Parámetros claves tomados de la investigación para los cálculos de Sistema Fotovoltaico (Autoría Propia)..... | 38 |
| Tabla 8. Horas pico mensual de cada del año 2022, 2023 y parte del 2024, generada por POWER (Anexo1) y modifica en Excel. | 41 |
| Tabla 9. Modelo de panel SLL700-720M12-132D5 seleccionado para estes estudio (SLL&ENERGY, 2025)(Anexo 2)..... | 47 |
| Tabla 10. Modelo de Inversor SMA SC100 seleccionado para este estudio (SMA, 2025). | 51 |
| Tabla 11. Modelo de Batería PK-ESS-L seleccionada para estes estudio (PKENERGY, 2025)(Anexo 3)..... | 52 |

| | |
|--|----|
| Tabla 12. Costos operativos para la implementación de un PVS en la Sección de Compresión de Gas en la Estación central Shushufindi (Anexo 2)(SLL&ENERGY, 2025)(Auto Solar, 2025)(Panel Solar Perú, 2025b)..... | 57 |
| Tabla 13. Proyecto de Proyecto a 4 años (Autoría Propia)..... | 59 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa solar que muestra el potencial de generación de electricidad fotovoltaica (kWh/kWp) en Ecuador (Ecuador & EP, 2024) | 10 |
| Figura 2. Energía Solar, el grafico representa los Módulos de Paneles Solare. Tomado de ¿Cuáles son los componentes de un sistema solar fotovoltaico? por (Alusin Solar, 2022). | 14 |
| Figura 3. Energía Solar Fotovoltaica, esta gráfica representa la Energía Solar Fotovoltaica. Tomada de Cómo se almacena la energía solar fotovoltaica, por (Atersa Shop, 2021). | 15 |
| Figura 4. Central de Energía Solar Fotovoltaica, esta gráfica representa la Central de Energía Fotovoltaica. Tomada de “¿Cómo se construye una central fotovoltaica?”, por (Reve, 2020). | 17 |
| Figura 5. Nuevos Proyectos de Generación de Energía Solar, esta gráfica representa los Nuevos Proyectos de Generación de Energía Solar en las Provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Cotopaxi. Tomada de CELEC EP identifica 7 proyectos de generación fotovoltaica, de más de 1 580 megavatios pico, por (CELEC, 2024b). | 20 |
| Figura 6. Sección de compresión de gas de la estación central Shushufindi (SunEarthTools, 2025). | 21 |
| Figura 7. Sección de Compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi, Ecuador (Google, 2025). | 37 |
| Figura 8. Mapa sobre Energías Renovables (Fotovoltaica) por el Programa de la NASA (NASA, 2025). | 39 |
| Figura 9. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del 2022. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia). | 41 |
| Figura 10. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del 2023. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia). | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 11. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del 2024. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia)..... | 43 |
| Figura 12. Grafica Evolutiva de las HSP a lo largo del Periodo 2022 - 2024. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia)..... | 44 |
| Figura 13. Proyecto de Proyecto a 4 años en forma de grafico (Autoría Propia)..... | 60 |
| Figura 14. Horas pico mensual ya anual del año 2022, 2023 y parte del 2024, generada por POWER (NASA, 2025)..... | 71 |
| Figura 15. Característica del Panel solar modelo de la empresa SLL Energy..... | 71 |
| Figura 16. Característica de la batería solar comercial de 215 kWh modelo PK-ESS-L con la empresa SLL Energy..... | 72 |

RESUMEN

Esta investigación evalúa la viabilidad técnica, económica y ambiental de integrar un sistema fotovoltaico (PVS) en la Sección de Compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi, ubicada en Sucumbíos, Ecuador, para reducir la dependencia de combustibles fósiles. La estación captura 2,5 MMSCFD de gas natural, con un consumo energético de 750 kW diarios, generando emisiones de CO₂. El estudio aborda la transición energética hacia energías renovables, destacando el potencial solar de Ecuador (con HSP (Hora Solar Pico) promedio de 3,73 horas basado en datos de la NASA de 2022-2024, en esta zona). Se dimensiona un PVS de 1000 kW con 373 paneles, 3 inversores y 5 baterías, considerando una eficiencia del 75% y un área de 1158,538 m². Económicamente, compara costos: operación con gas cuesta \$27,375 anuales, mientras que el PVS inicial de \$232 593,6 genera ahorros progresivos, recuperando la inversión en el tercer año, con beneficios ambientales como reducción de GEI.

Palabras clave: Energía Fotovoltaica, Compresión de Gas, Descarbonización.

ABSTRACT

This research evaluates the technical, economic, and environmental feasibility of integrating a photovoltaic system (PVS) into the Gas Compression Section of the Shushufindi Central Station, located in Sucumbíos, Ecuador, to reduce the dependence on fossil fuels. The station captures 2,5 MMSCFD of natural gas, with an energy consumption of 750 kWh daily, generating CO₂ emissions. The study addresses the global and regional energy transition towards renewables, highlighting the solar potential of Ecuador (with an average Peak Sun Hours (PSH) of 3,73 hours based on NASA data from 2022-2024, in this area). A 1000 kW PVS is sized with 373 panels, 3 inverters, and 5 batteries, considering a 75% efficiency and an installation area of 1158,538 m². Economically, it compares costs: gas operation costs \$27,375 annually, while the initial PVS investment of \$232 593,6 generates progressive savings, recovering the investment in the third year, with environmental benefits such as GHG reduction.

Keywords: Photovoltaic Energy, Gas Compression, Decarbonization

INTRODUCCIÓN

La transición energética global responde a la urgencia de enfrentar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Aunque los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) dominan la matriz energética mundial, su impacto ambiental impulsa la adopción de alternativas limpias. La energía fotovoltaica (FV) destaca como una solución clave: es inagotable, no emite GEI en operación y tiene un potencial transformador (Gray, 2025).

En América Latina, las energías renovables, como la solar y la eólica, crecen rápidamente. Brasil, Chile y Colombia lideran en capacidad instalada, mostrando un compromiso regional con la descarbonización que inspira proyectos innovadores en toda la región (Roca, 2024).

En Ecuador, el panorama energético combina desafíos y avances. Los combustibles fósiles, que en 2013 representaban el 84% del consumo total (con el diésel aportando el 31%), evidencian la necesidad de transformar sectores como la industria y el transporte. Sin embargo, la generación eléctrica es limpia en un 80% gracias a la hidroenergía. Diversificar esta matriz es esencial para ganar resiliencia ante estiajes y descarbonizar el consumo final (Costa, 2014)(EP Petroecuador, 2025).

La política energética ecuatoriana impulsa esta transición al sustituir combustibles pesados por gas natural y promover tecnologías renovables. La integración de energía fotovoltaica en infraestructuras industriales, como estaciones de compresión de gas, refuerza los objetivos de descarbonización y posiciona a Ecuador como líder regional. Un caso notable es EP Petroecuador, que ha reducido 540 kilotoneladas de CO₂ al reemplazar 163.32 millones de galones de diésel por fuentes de bajas emisiones y renovables (Costa, 2014)(Andrés et al., 2024)

Es decir, en la actualidad, la búsqueda de fuentes de energía sostenibles ha cobrado gran relevancia a nivel global, impulsada por la necesidad de mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Las energías renovables, que incluyen

la solar, eólica, hidroeléctrica, entre otras, se presentan como una alternativa viable para satisfacer la demanda energética de manera sostenible. Dentro de este contexto, la energía fotovoltaica ha emergido como una de las tecnologías más prometedoras, gracias a su capacidad para transformar la luz solar en electricidad de manera eficiente y accesible.

Ecuador, un país privilegiado por su diversidad geográfica y climática, posee un gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar. A pesar de contar con recursos hídricos significativos, la incorporación de tecnologías fotovoltaicas puede diversificar la matriz energética nacional, mejorar la seguridad energética y contribuir al desarrollo sostenible. Como se observa en la figura 1, en nuestro país son pocas las zonas excluidas para poder generar este tipo de energía, ya sea esta por factores naturales. En este sentido, es fundamental analizar cómo la energía fotovoltaica puede integrarse en diferentes sectores, especialmente en aquellos que demandan altos niveles de consumo energético, como las estaciones de compresión de gas.

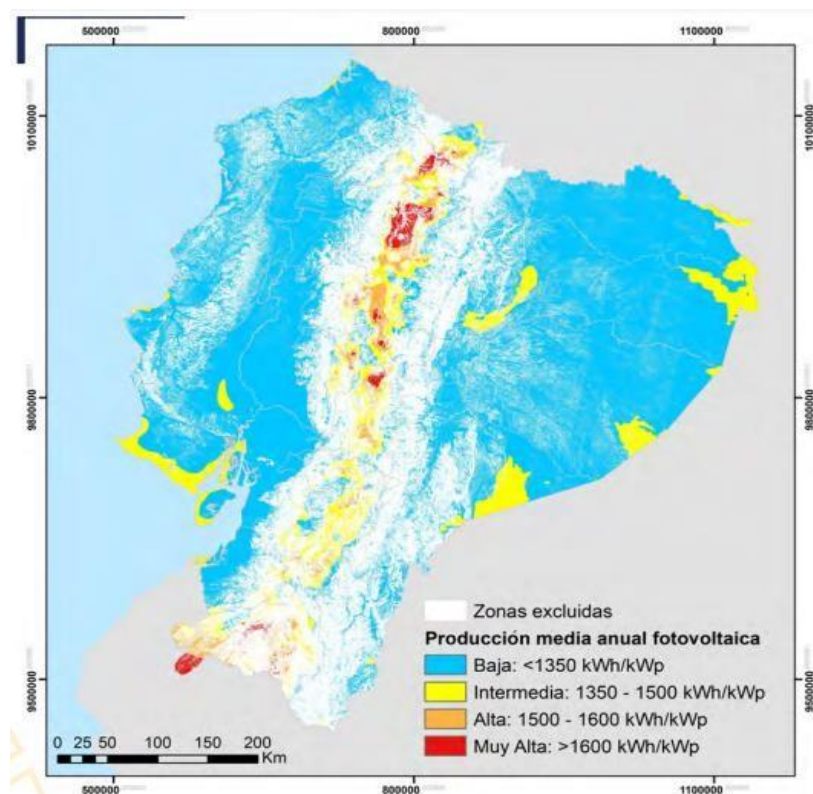


Figura 1. Mapa solar que muestra el potencial de generación de electricidad fotovoltaica (kWh/kWp) en Ecuador (Ecuador & EP, 2024)

Las estaciones de compresión de gas son infraestructuras clave en la cadena de suministro de gas natural, desempeñando un papel fundamental en el transporte y distribución de este recurso. Sin embargo, su operación requiere una considerable cantidad de energía, lo que puede generar costos elevados y un impacto ambiental significativo. La implementación de sistemas de energía fotovoltaica en estas estaciones no solo puede reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales, sino también disminuir los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de la energía fotovoltaica en la operación de la estación de compresión de gas en la Estación Central Shushufindi, analizando su viabilidad técnica, económica y ambiental. A través de este análisis, se busca proporcionar información valiosa que contribuya a la toma de decisiones en la implementación de energías renovables en el país, promoviendo un futuro más sostenible.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

La Estación Central Shushufindi, situada en Sucumbíos, Ecuador, es un componente esencial de la infraestructura energética nacional. Esta estación captura 2,5 millones de pies cúbicos de gas natural asociado por día (MMSCFD), un recurso clave que se destina a la Planta de Gas de la Refinería Shushufindi para producir gas licuado de petróleo (GLP) de uso doméstico y otros derivados. Además, desempeña un rol ambiental que conlleva la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la disminución de la quema de gas asociado (*flaring*), apoyando la meta de eliminar progresivamente los mecheros en la región (EP Petroecuador, 2024).

A pesar de su aporte a la sostenibilidad, la estación consume energía en su proceso de compresión, probablemente generada con gas natural, lo que genera una huella de carbono operativa. Hasta este punto surge una oportunidad: la integración de energía fotovoltaica. Al emplear energía solar para alimentar sus operaciones, la estación no solo continuaría reduciendo el *flaring*, sino que también disminuiría sus propias emisiones, generando un beneficio ambiental sinérgico. Esta iniciativa se alinearía con los objetivos

de descarbonización de EP Petroecuador, que enfrenta una alta intensidad de emisiones por barril, potenciando su contribución a la sostenibilidad (EP Petroecuador, 2025)(Marcellus, 2020).

Formulación del problema de investigación

¿Cuál es el impacto de incorporar energía fotovoltaica en la operación, eficiencia y sostenibilidad de la estación de compresión de gas, evaluando aspectos técnicos, económicos y ambientales en la Estación Central Shushufindi?

Objetivo General:

Evaluar las implicaciones de la energía solar fotovoltaica en el funcionamiento de estaciones de compresión de gas, considerando aspectos técnicos, económicos y ecológicos.

Objetivos Específicos:

1. Identificar las principales variables que influyen en el consumo energético y los costos operativos de la estación de compresión de gas.
2. Caracterizar los perfiles de generación y consumo de energía en la estación de compresión, a fin de determinar el potencial de integración de sistemas fotovoltaicos.
3. Analizar el impacto técnico y económico de la implementación de sistemas fotovoltaicos en la operación de la estación de compresión de gas, utilizando software y métodos matemáticos para determinar su viabilidad y beneficios en la eficiencia energética.

Planteamiento hipotético

Con la relevancia estratégica y el compromiso ambiental, la Estación Central Shushufindi es un candidato ideal para un proyecto piloto de integración fotovoltaica. Si

se implementa con éxito, podría convertirse en un modelo replicable para otras instalaciones industriales en Ecuador, promoviendo la adopción de energía limpia en el sector de hidrocarburos y aportando soluciones escalables a nivel nacional.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Revisión de literatura

¿Qué es la energía solar?

La energía solar es uno de los principales tipos de energía renovable y tiene un papel clave en la transición energética. Ayuda a impulsar economías más limpias que protejan el medio ambiente, mejoren el bienestar de las personas y garanticen la sostenibilidad de las empresas (REPSOL, 2025). Esta es una energía inagotable obtenida a partir de la radiación electromagnética del sol. Genera electricidad y calor de forma totalmente sostenible y gratuita (Caballero, 2023). En la Figura 2 se muestra la instalación de paneles solares por trabajadores especializados en Energía Fotovoltaica.



Figura 2. Energía Solar, el grafico representa los Módulos de Paneles Solare. Tomado de ¿Cuáles son los componentes de un sistema solar fotovoltaico? por (Alusin Solar, 2022).

¿Cómo se aprovecha la energía solar?

Hay diversas tecnologías para capturar la energía solar y convertirla en energía utilizable en las actividades humanas. Algunas lo hacen de modo activo y otras de modo pasivo (Editorial Etecé, 2023).

- **Tecnologías activas:** Son aquellas que emplean dispositivos eléctricos o mecánicos (células fotovoltaicas, tecnologías de concentración térmica) para

captar y almacenar la energía solar, y transformarla en otro tipo de energía (Editorial Etecé, 2023).

- **Tecnologías pasivas:** Incluyen las disposiciones relacionadas con la arquitectura bioclimática, es decir, la orientación de los edificios para recibir mayor luz natural, prevenir la dispersión del calor añadido por el Sol, etc. Esta energía solar es útil pero no genera electricidad, por lo que no se habla de este tipo de energía (Editorial Etecé, 2023).

La Energía Fotovoltaica

El corazón de cualquier parque fotovoltaico está representado por los paneles solares. El material semiconductor con el que están recubiertos, como por ejemplo el silicio, es sensible a la luz y crea la energía eléctrica al recibir la radiación solar gracias al fenómeno físico conocido como «efecto fotovoltaico». Los paneles se colocan sobre estructuras de soporte especiales que garantizan una correcta inclinación y orientación para aprovechar al máximo la exposición a la luz (ENEL GREEN POWER, 2024b). La Figura 3 muestra un campo de paneles solares fotovoltaicos instalados en un entorno natural recibiendo la luz solar directa.



Figura 3. Energía Solar Fotovoltaica, esta gráfica representa la Energía Solar Fotovoltaica. Tomada de Cómo se almacena la energía solar fotovoltaica, por (Atersa Shop, 2021).

Todos los paneles solares de un parque fotovoltaico están conectados a un inversor, una máquina capaz de transformar la corriente continua producida por los

módulos en corriente alterna, más fácil de transportar y utilizar en los hogares. Un sistema de control supervisa el funcionamiento de la central y lo conecta a la red para que la electricidad producida esté disponible (ENEL GREEN POWER, 2024b).

Los módulos fotovoltaicos tienen una vida útil promedio de entre 25 y 30 años. Gracias a los proyectos de repowering (repotenciación), es posible extender la vida útil de una planta, reemplazando incluso los paneles con soluciones más innovadoras y vanguardistas. Cuando una instalación se desactiva, se desmantelan todos los componentes y se devuelve el terreno a sus condiciones normales: para proteger los propietarios de las tierras de los sitios, se han previsto ciertos requisitos de desactivación que nos obligan a asumir los costes para recuperar el área del proyecto (Accionistas, 2022)(ENEL GREEN POWER, 2024b).

Los principales elementos de un parque fotovoltaico

Cada parque solar es diferente en tamaño, geometría, morfología del terreno y potencia instalada, pero los elementos principales son siempre los mismos, para ello podemos observar la figura 4, donde se aprecian estos elementos (ENEL GREEN POWER, 2024a)(Accionistas, 2022).

- **Paneles fotovoltaicos:** son dispositivos formados por un módulo o un conjunto de módulos fotovoltaicos conectados a una estructura de soporte.
- **Módulos fotovoltaicos:** son dispositivos formados por células fotovoltaicas capaces de convertir la energía solar en energía eléctrica. Las células permiten la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, aprovechando el efecto fotoeléctrico, y constituyen el elemento base de la planta fotovoltaica.
- **Seguidor:** estructura de soporte sobre la que se instalan módulos fotovoltaicos que permite ajustar automáticamente la orientación de los módulos para maximizar la producción de electricidad.

- **Inversor:** dispositivo que convierte la corriente continua producida por los módulos en corriente alterna.
- **Transformador:** dispositivo capaz de elevar la tensión antes de pasarla a la red.
- **Vías de acceso y obras de drenaje:** útiles para las actividades de inspección y vigilancia y para proteger la planta en caso de lluvia e inundaciones.
- **Conducto de cable:** el cable tendido en una excavación que conecta la planta con la cabina primaria del operador de la red eléctrica.
- **Acumuladores o baterías:** No son siempre necesarios, ya que los excedentes de producción (es decir, la electricidad generada que no se use en el momento en el hogar) pueden verterse a la red eléctrica. Sin embargo, son necesarios si lo que se busca es un autoconsumo real que cubra las necesidades energéticas del hogar cuando la producción fotovoltaica desciende.

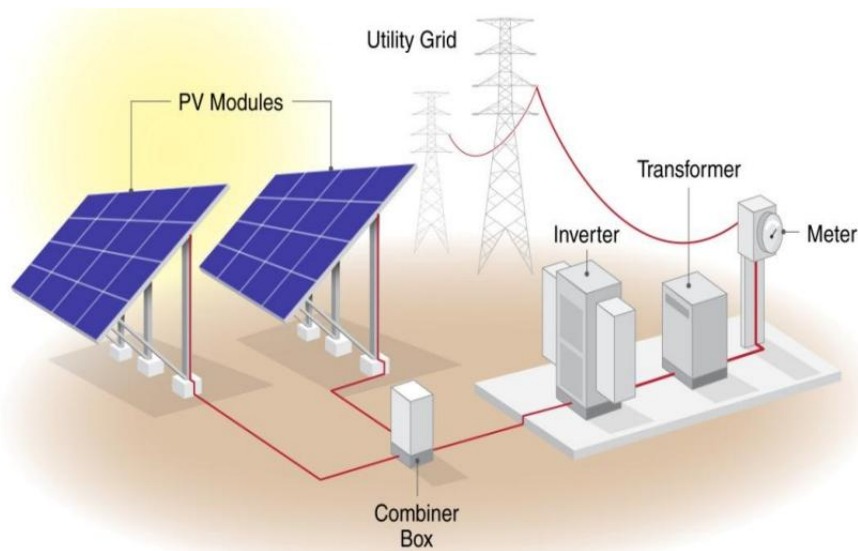


Figura 4. Central de Energía Solar Fotovoltaica, esta gráfica representa la Central de Energía Fotovoltaica.

Tomada de "¿Cómo se construye una central fotovoltaica?", por (Reve, 2020).

Proceso de generación de energía solar fotovoltaica

1. El proceso comienza con los paneles fotovoltaicos (PV Modules), que capturan la energía solar y la convierten en electricidad de corriente continua (DC). Esta electricidad de DC es canalizada a través de los cables hacia la caja de combinación (Combiner Box), donde se combinan las salidas de los diferentes paneles.
2. Desde la caja de combinación, la electricidad de DC pasa al inversor (Inverter), el cual convierte la corriente continua en corriente alterna (AC) que puede ser utilizada por la red eléctrica.
3. Una vez convertida a AC, la electricidad pasa por el transformador (Transformer), el cual ajusta el voltaje a los niveles adecuados para la red eléctrica principal (Utility Grid).
4. Finalmente, la electricidad de AC se inyecta a la red eléctrica, donde es distribuida a los consumidores. Un medidor (Meter) registra la cantidad de electricidad que fluye desde la instalación fotovoltaica hacia la red. Todo este proceso permite aprovechar la energía solar y alimentar la red eléctrica de manera sostenible. (Reve, 2020).

Ventajas y desventajas de la energía solar

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">➤ El Sol es una fuente de energía prácticamente ilimitada, a diferencia de los combustibles fósiles.➤ Su uso no contamina.➤ Aunque la instalación inicial es costosa, el ahorro a largo plazo es | <ul style="list-style-type: none">➤ La producción de energía solar varía según el clima y la hora del día.➤ La fabricación tiene un impacto ambiental mínimo.➤ La instalación de sistemas solares requiere una inversión significativa. |

| | |
|---|--|
| <p>significativo, ya que la energía solar es gratuita.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La instalación es sencilla, lo que permite que áreas rurales accedan a esta energía. ➤ No presenta riesgos para la salud, a diferencia de la energía nuclear o fósil. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Se requieren grandes superficies para una generación eficiente. ➤ Las mejores zonas para energía solar a menudo están apartadas de las ciudades |
|---|--|

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica. (Editorial Etecé, 2023) (Auto Solar, 2023) (Editorial Etecé, 2023).

Proyectos Ecuador

CELEC EP identifica 7 proyectos de generación fotovoltaica, de más de 1 580 megavatios pico.

La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), con la cooperación de la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), identificó un portafolio de siete proyectos de generación fotovoltaica, que totalizan 1 580 megavatios pico (MWp). Se ubican en Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo (CELEC, 2024b). Podemos observar los datos correspondientes en la figura 5 y en la tabla 2. Por otra parte, la potencia eléctrica es la cantidad máxima de energía que una instalación puede consumir al mismo tiempo. Se mide en kilovatios (kW) y determina cuántos electrodomésticos se pueden utilizar simultáneamente sin que el suministro se vea interrumpido.(REPSOL, 2024)

| Provincias | Número de Proyectos | Potencia (MWp) | Producción esperada (GWh/año) | Potencial de Inversión (\$USD MM) |
|------------|---------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| PICHINCHA | 3 | 248 | 474 | 218 |
| COTOPAXI | 1 | 536 | 1021 | 471 |
| CHIMBORAZO | 1 | 167 | 304 | 147 |
| IMBABURA | 2 | 630 | 1252 | 553 |

Tabla 2. Resumen del portafolio de proyectos solares fotovoltaicos identificados en este estudio. Esta tabla representa la producción esperada de la energía fotovoltaica de las provincias donde se desarrollarán los proyectos. Tomada de *Estudio de Potencial Solar Fotovoltaico del Ecuador, por (CELEC, 2024a)*

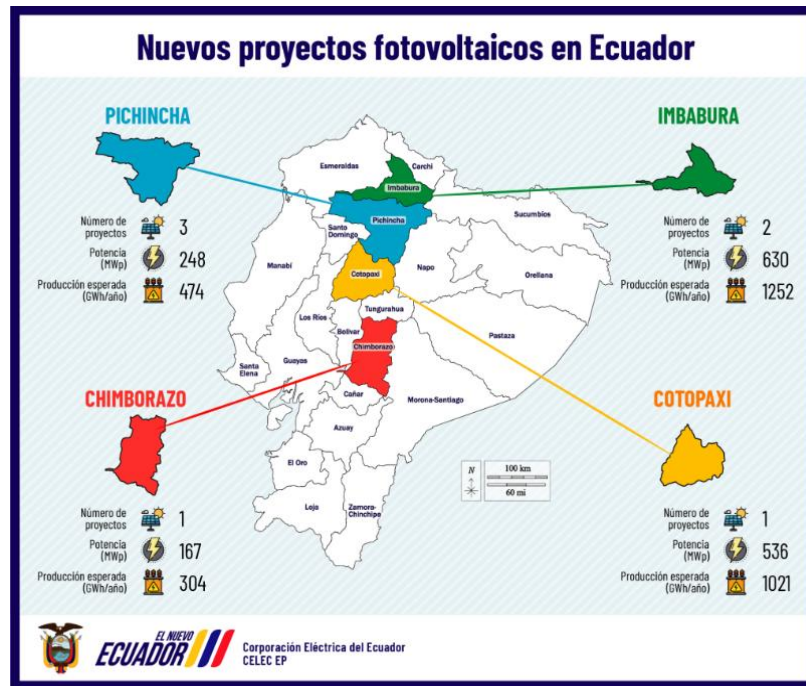


Figura 5. Nuevos Proyectos de Generación de Energía Solar, esta gráfica representa los Nuevos Proyectos de Generación de Energía Solar en las Provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Cotopaxi. Tomada de CELEC EP identifica 7 proyectos de generación fotovoltaica, de más de 1 580 megavatios pico, por (CELEC, 2024b).

1.2. Desarrollo teórico

Ubicación de la Sección de Compresión de Gas de la Estacion Central Shushufindi

La Estación Central Shushufindi está ubicada en la provincia de Sucumbíos, en la Amazonía ecuatoriana, con coordenadas aproximadas de -0.2001340 de latitud, -76.6506643 de longitud. Se encuentra a unos 300 km al este de Quito, en una zona de alta biodiversidad cercana al campo petrolero Shushufindi. Su posición estratégica la conecta directamente al Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), lo que la convierte en un nodo clave para el manejo de hidrocarburos en el norte de Ecuador (Gem.wiki, 2025). En la figura 6, podemos observar la sección de compresión de gas de esta estación.



Figura 6. Sección de compresión de gas de la estación central Shushufindi (SunEarthTools, 2025).

Situada en plena selva amazónica, la estación enfrenta retos logísticos y ambientales significativos. La región, cubierta por un denso bosque húmedo tropical, requiere protocolos especializados para reducir el impacto en este ecosistema frágil. La sección de compresión de gas se encuentra a 280 metros sobre el nivel del mar, en un terreno ligeramente ondulado con pendientes menores al 5%, inmerso en la rica vegetación de la cuenca amazónica (Adán & Juan, 2009).

La baja altitud de la zona ofrece condiciones atmosféricas ventajosas para el manejo de gases, gracias a una mayor densidad del aire que mejora los procesos de compresión. Sin embargo, el clima tropical presenta desafíos:

- Temperaturas medias anuales de 25°C.
- Humedad relativa superior al 80%.

Estas condiciones demandan sistemas avanzados de enfriamiento y control de corrosión para garantizar la eficiencia operativa. Además, la cercanía a afluentes del río Aguarico exige protocolos estrictos de contención para proteger los cuerpos de agua circundantes (Carlos & Douglas, 2023).

La estación de compresión de gas es “Shushufindi”, fundamental en las redes de gasoductos, desempeñando el papel de "motor" que impulsa el gas natural desde los puntos de producción hasta los consumidores finales. A lo largo de las tuberías, factores como la fricción, la distancia y los cambios de elevación reducen gradualmente la presión del gas. Para contrarrestar estas pérdidas y mantener un flujo constante, estas estaciones se ubican estratégicamente cada 64 a 161 kilómetros (40 a 100 millas) (Natural Gas, 2025)(Marcellus, 2020).

Funcionamiento y Componentes

Estas instalaciones son complejas y están equipadas con diversos sistemas para procesar y purificar el gas natural. Entre sus componentes principales se incluyen:

- **Entradas principales:** Para recibir el gas del gasoducto.
- **Receptores de diablos:** Utilizados en la limpieza de tuberías.
- **Sistemas de seguridad:** como apagado, alivio de presión y cierre de emergencia.
- **Colectores de líquidos y filtros separadores:** para eliminar impurezas.

El proceso de compresión genera un aumento en la temperatura del gas, lo que requiere sistemas de enfriamiento para disipar el calor, garantizar la calidad del gas y optimizar la eficiencia operativa (Marcellus, 2020).

Operación de las Estaciones de Compresión de Gas Natural

Las estaciones de compresión de gas natural son instalaciones operativamente exigentes, diseñadas para manejar grandes volúmenes de gas y elevar su presión a niveles considerablemente altos. Durante su funcionamiento normal, el gas natural ingresa a estas estaciones a presiones relativamente bajas, típicamente entre 2.8 y 3.2 kg/cm² (40-45 PSI), y es descargado a presiones mucho mayores, que oscilan entre 87.9 y 91.4 kg/cm² (1250-1300 PSI). Este proceso de compresión genera una cantidad considerable de calor, que debe ser disipado mediante sistemas de enfriamiento para mantener la integridad del gas y la eficiencia del equipo.

La operación en Shushufindi implica la habilitación y funcionamiento de compresores de gas, un paso importante para el procesamiento del volumen de gas captado. Esta actividad contribuye directamente a la producción de gas licuado de petróleo (GLP), gasolina natural y gas combustible para la generación eléctrica. De hecho, el Complejo Industrial Shushufindi es responsable de producir el 35% del GLP de uso doméstico a nivel nacional, lo que subraya su importancia para la seguridad energética y el abastecimiento de los hogares ecuatorianos. La planta procesa más de 12 MMSCFD de gas natural asociado proveniente de campos como Shushufindi, Libertador y Sacha. El gas licuado de petróleo (GLP), un producto clave de la Refinería Shushufindi, es una mezcla de hidrocarburos ligeros, principalmente propano y butanos, obtenidos del procesamiento de gas natural o de la refinación de crudo. La presencia de compuestos de azufre en el GLP de la planta de gas del complejo industrial Shushufindi puede generar un impacto estructural significativo, causando pérdida de grosor en las paredes de tuberías y tees de conducción, lo que representa una amenaza para la operación. Por ello, se ha propuesto la mitigación de estos compuestos mediante métodos de tratamiento (Mancheno & Alfredo, 2015).

Los compresores utilizados en estas estaciones varían en tipo, incluyendo compresores alternativos y centrífugos, y son accionados por motores eléctricos o turbinas de gas. Los compresores alternativos son generalmente adecuados para altas relaciones de compresión y caudales más bajos, mientras que los centrífugos manejan caudales más grandes. Cabe destacar que los compresores axiales pueden ofrecer una eficiencia hasta un 10% superior a la de los centrífugos, lo que se traduce en un menor consumo energético. (Trainings & Demos, 2025)(José, 2020).

Un estudio que evaluó el rendimiento energético y ambiental de las instalaciones petroleras de producción en Ecuador entre 2015 y 2020 reveló disparidades significativas en la eficiencia energética. Por ejemplo, el Bloque 43-ITT fue el más eficiente con 7,82 kWh por barril, mientras que el Bloque 57-LB fue el menos eficiente con 31,41 kWh por barril. Este estudio también subraya que los campos petrolíferos en maduración demandan más energía y emiten mayores cantidades de gases de efecto invernadero. La industria petrolera es inherentemente intensiva en energía, con procesos como la

extracción, el transporte, la refinación y la conversión que requieren un alto consumo energético continuo (Andrés et al., 2024).

Consumo Energético e Impacto Ambiental

Operar estas estaciones demanda una gran cantidad de energía. Cada unidad compresora puede requerir entre 1,500 y 5,000 caballos de fuerza (0,75 MW a 3,7 MW), que para el caso de la Estación Central de Compresión DE Gas Shushufindi, esta consume 0,75 MW por día, mientras que las estaciones más grandes alcanzan capacidades totales de 37 a 60 MW. Tradicionalmente, esta energía proviene de la combustión de una parte del gas transportado o de motores eléctricos, lo que implica un uso continuo de combustibles fósiles y genera emisiones significativas de gases de efecto invernadero (GEI) (MAY-OSTENDORP & DAYEM, 2018).

Costos de Producción de Energía

- **Costo de Energía Eléctrica:**

El costo de la energía eléctrica en Ecuador puede variar, pero en general, se encuentra en un rango de \$0.08 a \$0.15 por kW (kilovatio), dependiendo de la fuente de energía y las tarifas aplicadas.

- **Cálculo de Costos:**

Si tomamos un consumo promedio de 0,75 MW por día que necesita la Central de Compresión Gas Shushufindi y un costo de energía de \$0.10 por kW, el cálculo del costo diario de operación sería:

$$\text{Costo diario} = \text{Consumo (kW)} \times \text{Costo por kW}$$

Más allá de los beneficios ambientales, diversificar las fuentes de energía de esta estación fortalece su resiliencia operativa. La continuidad del flujo de gas es vital para la

seguridad del suministro energético, pero depender únicamente del gas transportado las expone a riesgos como fluctuaciones en el suministro o precios. La energía fotovoltaica, al ser una fuente renovable y local, ofrece:

- Reducción de la dependencia de la red externa.
- Mitigación de riesgos asociados a la volatilidad del mercado.
- Mayor estabilidad ante interrupciones.

Desafíos para la Integración de Energía Fotovoltaica

La alta y continua demanda energética de estas estaciones representa un desafío significativo para la integración de energía fotovoltaica, debido a la naturaleza intermitente de la generación solar. Una instalación fotovoltaica por sí sola no sería suficiente para garantizar la continuidad del suministro eléctrico requerido por una operación industrial crítica como la Estación Central Shushufindi (Vericor, 2023). Por lo tanto, cualquier diseño de integración fotovoltaica debe incluir soluciones robustas que aseguren la estabilidad y continuidad de la energía, tales como:

- Sistemas de almacenamiento de energía.
- Hibridación con otras fuentes de energía.

Estas soluciones son esenciales para compensar la variabilidad de la generación solar y mantener la operación ininterrumpida de la estación. Por ello, para satisfacer las demandas energéticas de la Estación Central Shushufindi y para establecer las bases del análisis de factibilidad técnica y económica de la integración fotovoltaica, es necesario tener en cuenta los parámetros que se muestran en la Tabla 3, para poder evaluar el sistema fotovoltaico sin afectar el rendimiento ni la producción diaria.

| Parámetro | |
|---------------------------|--|
| Presión de Entrada Típica | 2.8-3.2 kg/cm ² (40-45 PSI) |
| Presión de Salida Típica | 87.9-91.4 kg/cm ² (1250-1300 PSI) |

| | |
|---|-----------------------------------|
| Potencia Típica de la Unidad Compresora | 0.75 MW - 3.7 MW (1,500-5,000 HP) |
| Horas de Operación Anual | 8760 horas (24/7/365) |
| Distancia entre Estaciones | 64-161 km (40-100 millas) |
| Volumen de Flujo de Gas (Ejemplo) | >45 MMCFD |

Tabla 3. Parámetros Operacionales Típicos de Estaciones de Compresión de Gas (MAY-OSTENDORP & DAYEM, 2018) (Natural Gas, 2025).

Tecnología Fotovoltaica: Características y Potencial de Aplicación

Los sistemas fotovoltaicos (FV) son soluciones energéticas diseñadas para entornos de gran escala, como la planta de compresión de gas en la Estación Central Shushufindi, donde la demanda energética es elevada. Estos sistemas transforman la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, destacándose por su robustez y capacidad para operar en condiciones exigentes, lo que asegura durabilidad y rendimiento sostenido, por lo que, para maximizar la generación por unidad de área es clave (AMBGREENPOWER, 2025)(Rosa, 2025).

Componentes Esenciales

- Células fotovoltaicas: convierten la luz solar en corriente continua (CC).
- Inversores solares: Transforman la CC en corriente alterna (CA).


Tipos de Paneles Solares

Existen varios tipos de paneles solares industriales, cada uno con características y aplicaciones ideales distintas, entre estos encontramos los monocristalina, policristalinos y de película delgada :

- Monocristalinos: Se distinguen por su alta eficiencia y su rendimiento óptimo en espacios limitados.

- **Policristalinos:** Ofrecen un equilibrio favorable entre eficiencia y costo, siendo una opción versátil para diversas aplicaciones industriales.
- **Película Delgada:** Son paneles livianos y versátiles, adecuados para aplicaciones especializadas o superficies irregulares en la industria.

A continuación, en la Tabla 4 podemos observar algunos de estos modelos de paneles solares y sus características, donde la potencia en vatios es la medida de la capacidad energética máxima que un panel solar puede generar bajo condiciones estándar. El voltaje en circuito abierto (V_{oc}) es la tensión máxima producida por el panel cuando no hay carga conectada. El voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}) es el voltaje en el que el panel opera para entregar su potencia máxima. La corriente de cortocircuito (I_{sc}) es la corriente máxima generada cuando el panel está en cortocircuito, sin tensión aplicada. La corriente nominal (I_{mp}) es la corriente a la que el panel funciona en su punto de máxima potencia. El sistema de voltaje máximo es la tensión máxima que el sistema fotovoltaico puede soportar de manera segura. La eficiencia del módulo es el porcentaje de conversión de la irradiación solar en energía eléctrica bajo condiciones estándar (DAMIA SOLAR, 2023b)(Jose, 2010).

| Modelo de Paneles Solares | |
|---|--|
|  | <p align="center">Panel Solar 500W N-Type TOPCon Tensite</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de célula: Silicio Monocristalino N-Type TOPCon. - Cubierta frontal y trasera: Vidrio templado de 3,2mm - Marco: Aleación de aluminio anodizado y color plata - Grado de protección: IP68 - Cables y conectores: 4mm² y 1200mm de longitud - Cantidad de células: 120 - Dimensiones: 1909x1134x35mm - Peso: 23kg. |
| | <p align="center">Panel Solar 340wp Policristalino Peimar Italian</p> |

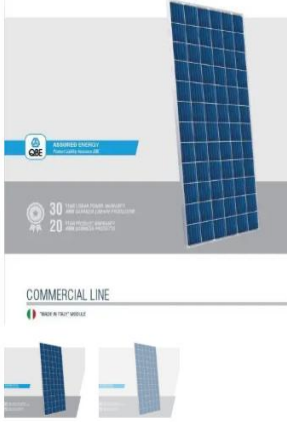
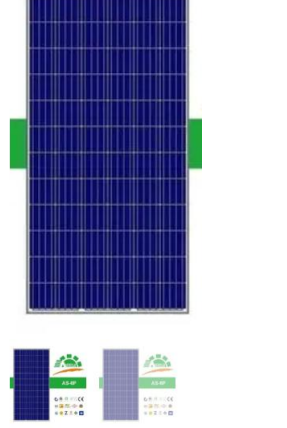
| | |
|---|---|
|  <p>Panel Solar 340W Amerisolar Policristalino. Características: 30 años de garantía, 20 años de garantía de potencia. Comercial Line.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Potencia (en Wattios): 340 W - Voltaje en circuito abierto (Voc): 46,73 V - Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp): 38,3 V - Corriente de cortocircuito (Isc): 9,51 A - Corriente nominal (Imp): 8,88 A - Sistema de voltaje máximo: 1500VDC - Eficiencia del módulo: 17.51% |
|  <p>Panel Solar 285W Amerisolar Policristalino. Características: 30 años de garantía, 20 años de garantía de potencia.</p> | <p style="text-align: center;">Panel Solar 285W Amerisolar Policristalino</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potencia (en Wattios): 285 W - Voltaje en circuito abierto (Voc): 39.0 V - Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp): 31.8 V - Corriente de cortocircuito (Isc): 9,48 A - Corriente nominal (Imp): 8,97 A - Sistema de voltaje máximo: 1500 VDC - Eficiencia del módulo: 17.52% |

Tabla 4. Modelos de paneles solares (Panel Solar Perú, 2025b) (Auto Solar, 2025) (NOVELEC, 2024).

Para efecto de esta investigación se utilizará datos de parámetros cruciales como la potencia máxima y las dimensiones, tanto de largo y de ancho de los paneles solares.

Tipo de Inversores Solares

Existen varios tipos de inversores solares industriales, cada uno con características y aplicaciones ideales distintas, entre los cuales encontramos:

- Inversores de conexión a red (Grid-tied): Estos inversores se conectan directamente a la red eléctrica y permiten que la energía generada se utilice en el hogar o se envíe a la red. No tienen capacidad de almacenamiento.

- Inversores fuera de la red (Off-grid): Diseñados para sistemas que no están conectados a la red eléctrica. Estos inversores suelen trabajar con baterías para almacenar energía y proporcionar electricidad incluso cuando no hay sol.
- Inversores híbridos: Combinan características de los inversores de conexión a red y fuera de la red. Pueden funcionar con baterías y también enviar energía a la red, lo que permite mayor flexibilidad.
- Microinversores: Se instalan en cada panel solar individualmente, lo que permite optimizar el rendimiento de cada panel y facilita el monitoreo. Son ideales para instalaciones donde los paneles pueden estar sombreados.
- Inversores de cadena (String inverters): Conectan varios paneles en serie (cadena). Son los más comunes en instalaciones residenciales y comerciales, pero su rendimiento puede verse afectado si un panel se encuentra en sombra.

A continuación, en la Tabla 5 podemos observar algunos de estos modelos de inversores solares y sus características, donde la capacidad es la potencia máxima continua que un inversor solar puede entregar a la carga bajo condiciones normales, representando su rendimiento estándar de operación. La potencia de sobretensión se refiere a la capacidad temporal del inversor para soportar picos de potencia superiores a la nominal, útil para manejar arranques de motores o cargas inductivas sin fallos. El voltaje de la batería es la tensión nominal del banco de almacenamiento conectado, que define la compatibilidad y el diseño del sistema para una conversión eficiente de CC a CA. La tensión de carga en flotación es el voltaje constante aplicado una vez que la batería está llena, para mantenerla cargada sin sobrecarga ni degradación. La corriente máxima de entrada es el límite superior de corriente que el inversor acepta desde los paneles solares u otras fuentes de CC, protegiendo contra sobrecorrientes y optimizando la seguridad (HelioEsfera, 2022)(Raggie, 2024).

| Modelos de Inversores | |
|---|---|
|  | <p align="center">Inversor Cargador 5500W 48V Suntaic Lite</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 5500W - Potencia de sobretensión: 11000VA - Voltaje de la batería: 48V - Tensión de carga en flotación: 54V - Corriente máxima de entrada: 18A - Dimensiones: 310 x 438 x 150.5 mm Peso: 9 kg |
|  | <p align="center">Inversor Victron MultiPlus-II 48V 5000VA 48V 70+50A</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conmutador de transferencia: 50A - Corriente máxima de entrada CA: 50A - Pico de potencia: 9000W - Eficacia máxima 93 %/94 %/95 % 95 %/96 %/96 % - Dimensiones: 607 x 330 x 149mm - Peso: 30kg |
|  | <p align="center">Inversor Solar 12V 800VA Victron Phoenix</p> <ul style="list-style-type: none"> - Niveles de disparo de la alarma. - Niveles de desconexión y reinicio por tensión baja. - Desconexión dinámica - Tensión de salida 210 - 245V - Frecuencia 50 Hz o 60 Hz - • On/off del modo ECO y sensor de nivel del modo ECO |

Tabla 5. Modelos de Inversores solares (Panel Solar Perú, 2025a)(Techno Sun, 2025)(NOVELEC, 2024).

Para efecto de esta investigación se utilizará datos de parámetros cruciales como la potencia máxima, voltaje y capacidad de los inversores solares.

Modularidad

La modularidad de los sistemas FV se refiere a la capacidad de estos sistemas para ser construidos y configurados en módulos o unidades independientes que pueden ser ensambladas o desensambladas fácilmente, lo cual permite instalaciones escalables y

personalizadas según las necesidades energéticas, como las de Shushufindi. Esto facilita expansiones futuras sin sobredimensionar el sistema inicialmente, optimizando la inversión y adaptándose a demandas cambiantes. Por ello es necesario conocer todos los parámetros antes de implementar e instalar algún equipo o herramienta, para evitar, gastos innecesarios, poca producción de energía y una mala inversión (FVComponentes, 2025)(Rodriguez, 2014).

La eficiencia de los paneles solares es un indicador que mide la capacidad de un panel solar para convertir la luz solar en electricidad. Se expresa como un porcentaje y se calcula dividiendo la cantidad de energía eléctrica generada por el panel entre la cantidad de energía solar que incide sobre él. Cuanto mayor sea este porcentaje, más eficiente será el panel en su conversión de energía.

Los paneles solares industriales se caracterizan por su alta eficiencia, durabilidad y bajo mantenimiento, siendo ideales para inversiones a largo plazo en entornos industriales.

- **Eficiencia actual:** Los paneles más avanzados superan el 24% de conversión.

Tecnologías Destacadas e innovaciones

Actualmente sean desarrollado nuevas tecnologías destacadas e innovaciones en los sistemas fotovoltaicos son esenciales para optimizar la generación de energía solar, adaptándose a diversas condiciones ambientales y necesidades específicas de cada zona. A continuación, se describen algunas herramientas que mejoran en rendimiento FV (AMB GREENPOWER, 2025)(Lane, 2024).

- **Paneles bifaciales:** Captan luz por ambos lados, incrementando la producción hasta un 30%.
- **Sistemas de seguimiento solar:** Ajustan la orientación de los paneles, elevando la generación entre 20% y 40%.

- **Células de heterounión (HJT):** Mejoran el rendimiento en baja irradiancia y climas extremos.
- **Células de perovskita:** Aumentan la eficiencia y reducen costos de producción.

Estas innovaciones son especialmente valiosas para la Estación Central Shushufindi, donde maximizar la generación en espacios limitados mejora la viabilidad económica, compensando costos iniciales más altos con mayor producción.

Tipos de costes de una planta solar

Los costos del balance del sistema (BoS) se pueden dividir en tres categorías generales: hardware sin módulos ni inversores, costos de instalación y costos indirectos. Estas tres categorías se pueden desglosar en subcategorías más detalladas (Rodríguez, 2021):

Costos de hardware no modular

- **Cableado:** cables de CC, conectores y cajas combinadoras de CC; cables, conectores y cajas combinadoras de CA
- **Montaje y estanterías.** material para el montaje, montaje del inversor y todo tipo de cajas combinadoras.
- **Seguridad y protección:** Vallas - Sistema de cámaras y seguridad - Todo el equipo fijo instalado como protección contra robo y/o incendio.
- **Conexión a la red:** Cuadros de distribución y tableros de control - Transformadores y/o estaciones transformadoras.

- Monitoreo y control: Sistema de monitoreo - Sistema meteorológico (por ejemplo, sensor de irradiación y temperatura).

Costos de instalación

Instalación mecánica (construcción) (Rodríguez, 2021):

- Caminos de acceso e internos
- Instalación de sistema de montaje
- Instalación de módulos solares e inversores
- Instalación de componentes de conexión a la red
- Carga y transporte de componentes/equipos

Instalación eléctrica (Rodríguez, 2021):

- Instalación de CC (interconexión de módulos y cableado de CC)
- Instalación de media tensión CA
- Instalación de sistema de monitoreo y control

Ventajas Operativas

Construidos para resistir condiciones rigurosas, los sistemas FV industriales ofrecen garantías de 20 a 25 años y requieren mantenimiento mínimo, con el inversor como único componente que podría reemplazarse cada 5-10 años. Esto reduce costos operativos y asegura continuidad en instalaciones críticas, como estaciones de compresión, reforzando su valor como solución energética confiable y eficiente (Melo, 2020). En la siguiente tabla 6, se puede diferenciar el tipo de mantenimiento que se le debe realizar a los diversos equipos del sistema fotovoltaico, ya sea este mensual o anual, dependiendo de las condiciones, también se detalla en observación que tipo de implementos se deben usar ya sea; el aerosol dieléctrico que sirve para limpiar los sistemas eléctrico del PVS; o de S/Obs, donde solo se observa los equipos y de estar con impurezas se procede a limpiarlas con una franela húmeda.

| Subsistema | Equipo | Frecuencia | Observación |
|------------------|-------------------------|---|--|
| Eléctrico | Paneles Fotovoltaicos | Mensual - Anual | Franela húmeda – Aerosol Dieléctrico – S/Obs |
| | Inversores | Anual – semanal (inconveniente en los Parámetros) | Aerosol Dieléctrico – S/Obs |
| | Protecciones Eléctricas | Anual | Aerosol Dieléctrico – S/Obs |
| Mecánico | Estructura del sistema | Mensual | S/Obs |
| | Lastres | Anual | S/Obs |

Tabla 6. Plan de Mantenimiento establecido para el PVS (Modificado) (REPSOL, 2023).

Correcciones y Mantenimiento Preventivo

Las correcciones y mantenimiento preventivo se deben realizar una vez que todo el PVS (Sistema Fotovoltaico) que está instalado, se ha puesto en marcha y tiene ya varios días funcionando. Con el paso del tiempo se van presentado algunos desperfectos, los cuales pueden ser prevenidos por medio de alguna de las técnicas de mantenimiento preventivo como son (Rosa, 2025):

- Inspección Visual: Para revisar minuciosamente las conexiones, uniones y estructura del PVS. Esta es una técnica simple y económica que solo requiere de la vista y algo de experiencia en instalaciones PV (Fotovoltaicas).
- Líquidos Penetrantes: se utilizan tres fluidos para encontrar posibles fracturas, rayaduras y desperfectos en las tuberías, cableado y armazón del PVS. Es una técnica no tan costosa y que puede aplicarse casi a cualquier superficie (sobre todo, metales).

- **Cámara Infrarroja:** Se utiliza para detectar puntos calientes y zonas de alta resistencia debido a discontinuidades en el cableado y en la estructura, así como entre los conectores de aluminio de las celdas que conforman el panel. Es una técnica rápida, pero costosa.

Conexión paneles solares en serie y en paralelo

Las placas solares se pueden conectar de tres formas diferentes según las características de la instalación fotovoltaica. La conexión en paralelo, la conexión en serie, y la conexión combinada serie y paralelo.

Conexión en paralelo

La conexión en paralelo se realiza conectando por un lado todos los polos positivos de las placas de la instalación solar, y por el otro, conectando todos los polos negativos. De esta forma, se mantiene el voltaje o tensión (voltios) de las placas solares mientras que se suma la intensidad (amperios). Por ejemplo, si se conectan en paralelo 4 placas solares de 200W 10,60A (amperios) 12V cada una, se obtendrán 800W 42,4A a un voltaje de 12 voltios (DAMIA SOLAR, 2023a).

Conexión en serie

La conexión en serie se realiza en la actualidad en paneles solares con potencias entre los 480W y los 550W. Mediante la conexión en serie se conectan directamente las placas solares entre sí, conectando el polo positivo de un panel con el polo negativo del siguiente panel. A diferencia de la conexión en paralelo, se mantiene la intensidad y se suma el voltaje. Por ejemplo, si se conectan en serie 4 placas de 460W (Vatios) 11A (Amperios) y V_{mp} de 41,80V (Voltaje en el punto de máxima potencia) cada una, se obtendrán 460W 167,2V y 11A (DAMIA SOLAR, 2023a).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Contexto de la investigación

La investigación adoptará un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos con el fin de obtener una visión más completa del impacto que tiene la energía fotovoltaica en la Estación de Compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi.

2.2. Diseño y alcance de la investigación

Se utilizará un diseño descriptivo y correlacional, lo que permitirá analizar cómo la implementación de sistemas fotovoltaicos se relaciona con el desempeño operativo de la estación de compresión de gas.

2.3. Tipo y métodos de investigación

Estudio de Caso: Evaluar la viabilidad de implementar sistemas fotovoltaicos en una o varias estaciones de compresión de gas. Realizar un análisis técnico y económico de la instalación de sistemas fotovoltaicos, incluyendo.

- Dimensionamiento del sistema FV.
- Coste de instalación y mantenimiento.
- Proyección de ahorros en costos operantes.

2.4. Población y muestra

Estación de Compresión de Gas: Estación Central Shushufindi (Consumo Energético).

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Revisión Bibliográfica: Recopilar información sobre energías renovables, energía fotovoltaica y su aplicación en estaciones de compresión de gas.

Análisis de Datos: Evaluar e identificar el consumo energético actual de la Estación de Compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi.

2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.

Metodología para la Evaluación del Impacto de la Energía Fotovoltaica en la Operación de Estaciones de Compresión de Gas: Estación Central Shushufindi, Ecuador.

La metodología propuesta busca evaluar el impacto de la integración de energía fotovoltaica (FV) en la operación de la Estación Central Shushufindi, una de las instalaciones estratégicas para la compresión de gas natural en Ecuador (Figura 7). El esquema metodológico se organiza en cinco componentes principales: tipo y enfoque de investigación, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos, y análisis de datos. Cada una de estas decisiones se respalda en los objetivos de la tesis y en las características particulares del contexto industrial.

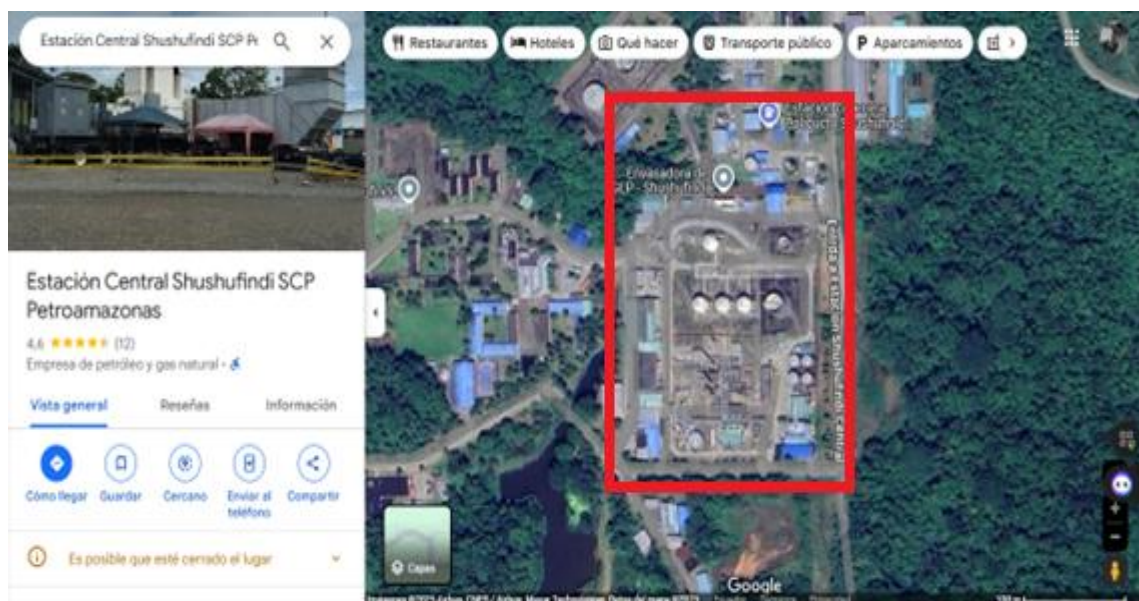


Figura 7. Sección de Compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi, Ecuador (Google, 2025).

Datos y parámetros clave.

En la Tabla 7 se presentan los parámetros fundamentales considerados en la investigación para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico (Autoría Propia). Estos incluyen la latitud (-0,2001340), la longitud (-76,6506643) y el total de horas operativas (8760 h). Dichos datos resultan esenciales, ya que la ubicación geográfica y el tiempo de operación inciden directamente en la generación de energía solar y, por tanto, en el desempeño global del sistema.

| | |
|------------------|--------------|
| Latitud | - 0,2001340 |
| Longitud | - 76,6506643 |
| Horas Operativas | 8760 h |

Tabla 7. Parámetros claves tomados de la investigación para los cálculos de Sistema Fotovoltaico (Autoría Propia)

Desarrollo y análisis matemático del PVS en la Estación de compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi

Contexto y definición de la hora pico

En el diseño de sistemas fotovoltaicos, la hora solar pico (HSP) se define como la franja horaria en la que la radiación solar alcanza su máxima intensidad sobre la superficie, medida en W/m^2 (vatios por metro cuadrado). Este parámetro es determinante para estimar la capacidad de generación del sistema, orientar adecuadamente los paneles y planificar su operación. El análisis debe incluir tanto el promedio anual como las variaciones estacionales, especialmente en regiones como la Amazonía ecuatoriana, cuyo clima tropical húmedo presenta una marcada influencia de las temporadas de lluvia.

Horas solar pico en el área seleccionada

Para determinar la HSP en el área de instalación del parque fotovoltaico en la Estación Central Shushufindi (Ecuador), se utilizó el programa ENERGÍA de la NASA (Proyecto POWER). El análisis técnico se basa en los registros de radiación solar,

entendiendo la HSP como el momento del día con mayor disponibilidad de energía solar. Este parámetro resulta esencial para optimizar la producción fotovoltaica. Con las coordenadas de ubicación (latitud: -0.1994221, longitud: -76.6527156) se realizó un estudio detallado enfocado en el año 2023, evaluando tanto la tendencia anual como la variación mensual, con el fin de obtener un dimensionamiento preciso del sistema y garantizar su funcionamiento confiable.

El programa "ENERGIA DE LA NASA" se refiere al proyecto POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources), una iniciativa de la NASA que proporciona datos solares y meteorológicos globales a través de su Data Access Viewer (DAV). Estos datos son ideales para evaluar el potencial solar en la ubicación donde esté haciendo la evaluación (Estación Central Shushufindi), lo que se puede observar en la figura 8.

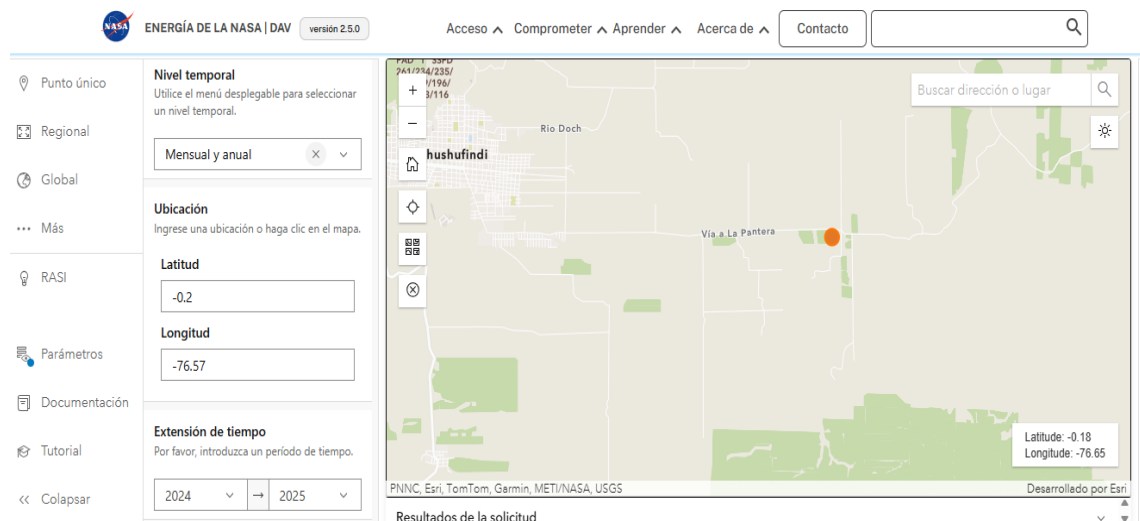


Figura 8. Mapa sobre Energías Renovables (Fotovoltaica) por el Programa de la NASA (NASA, 2025).

Obtención de datos de radiación solar

Para calcular la Hora Solar Pico (HSP) es necesario contar con datos horarios de radiación solar específicos del sitio donde se instalará el parque fotovoltaico (latitud: -0.1994221, longitud: -76.6527156). En este caso, el proyecto POWER de la NASA proporciona el parámetro “All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance”, que

representa la radiación solar global que llega a la superficie terrestre, considerando los efectos de la atmósfera y la presencia de nubes.

Pasos para acceder a los datos:

- Ingrese a la página web: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> .
- Damos clic en “Single Point”, encontrado en la parte izquierda.
- Introducir las coordenadas: latitud -0.1994221, longitud -76.6527156.
- Seleccione el parámetro "Irradiancia descendente de onda corta de toda la superficie del cielo". Puesto que mide la cantidad total de radiación solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo tanto la radiación solar directa como la radiación solar difusa (nublada) proveniente de todo el cielo. Al ser la medida más completa y representativa de la energía solar disponible en un sitio, es fundamental utilizar este valor para realizar un cálculo preciso de las horas solares pico.
- Especificar el rango temporal: datos horarios para un año representativo (por ejemplo, 2022 y 2023, ya que 2024 aún tiene la mitad del año, y 2025 aún no ha sido incluido).
- Luego, selecciones el tipo de formato que desees la información
- Descarga la data haciendo clic en “Submit”, donde se obtienen los valores de las horas solar pico de cada uno de los meses de los 3 años (2022 – 2023 – 2024).

Limitaciones temporales:

Dado que el año 2025 no ha sido incluido, los datos disponibles serán históricos (por ejemplo, de años anteriores como 2022 y 2023) o pronósticos a corto plazo generados

por modelos climáticos. Para este análisis, se asumirá que los patrones históricos son representativos de 2025 para lo cual se hará comparaciones entre el año 2022 hasta los primeros meses del año 2024, ajustados por las condiciones climáticas locales, tomando en cuenta los valores obtenidos por el software mostrado en la tabla 8, donde se describe las HSP (Horas solar pico) de los meses de cada año.

| | 2022 | 2023 | 2024 |
|------------|------|------|------|
| Enero | 4.73 | 4.35 | 4.99 |
| Febrero | 3.80 | 4.17 | 4.42 |
| Marzo | 3.75 | 4.00 | 4.00 |
| Abril | 4.11 | 4.02 | 4.29 |
| Mayo | 3.61 | 3.99 | 3.85 |
| Junio | 3.96 | 4.03 | - |
| Julio | 3.90 | 4.14 | - |
| Agosto | 4.50 | 5.06 | - |
| Septiembre | 5.44 | 5.43 | - |
| Octubre | 4.90 | 5.07 | - |
| Noviembre | 4.95 | 4.40 | - |
| Diciembre | 5.46 | 3.73 | - |

Tabla 8. Horas pico mensual de cada del año 2022, 2023 y parte del 2024, generada por POWER (Anexo1) y modifica en Excel.

Análisis del histórico de las horas pico en la sección de compresión de la Estación Central Shushufindi.

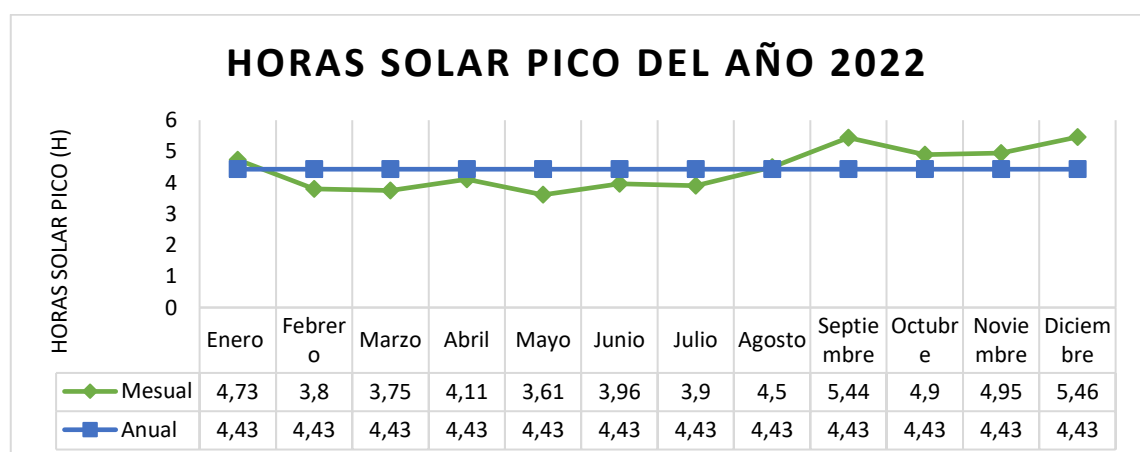


Figura 9. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del 2022. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia).

La gráfica “Horas Pico del Año 2022” (Figura 9) muestra una tendencia general de aumento en las HSP a lo largo del año. El valor inicial fue de 4,73 horas en enero, seguido de una ligera caída en febrero (3,8) y marzo (3,75). A partir de abril (4,11) comienza una recuperación que se mantiene hasta septiembre, mes en el que se alcanza un máximo de 5,44 horas. Durante el último trimestre, los valores permanecen altos, cerrando en diciembre con 5,46 horas. Esto refleja que la segunda mitad del año presentó una disponibilidad solar mucho mayor en comparación con el primer trimestre, que registró los niveles más bajos.

El promedio anual de HSP en 2022 fue de 4,43 horas, mientras que el valor más bajo se registró en mayo con 3,61 horas, considerado el punto crítico del año.

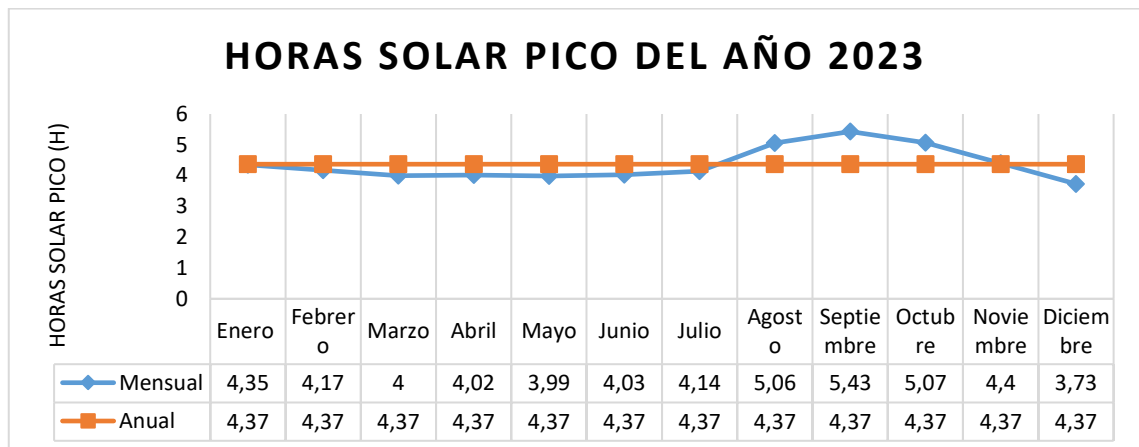


Figura 10. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del 2023. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia).

Por su parte, la gráfica “Horas Pico del Año 2023” (Figura 10) muestra un comportamiento más estable en los primeros meses, con valores cercanos a las 4 horas. El año inicia con 4,35 en enero, desciende a 4,00 en marzo y 3,99 en mayo, reflejando una tendencia constante. A partir de junio, los valores aumentan progresivamente hasta alcanzar un máximo de 5,43 en septiembre. Hacia el cierre del año se observa una disminución, con 4,40 horas en noviembre y 3,73 en diciembre, el valor más bajo del periodo.

El promedio anual fue de 4,37 horas, con valores críticos en mayo (3,99) y diciembre (3,73). Estos meses representan la menor disponibilidad de radiación solar, posiblemente influenciada por condiciones climáticas y estacionales.

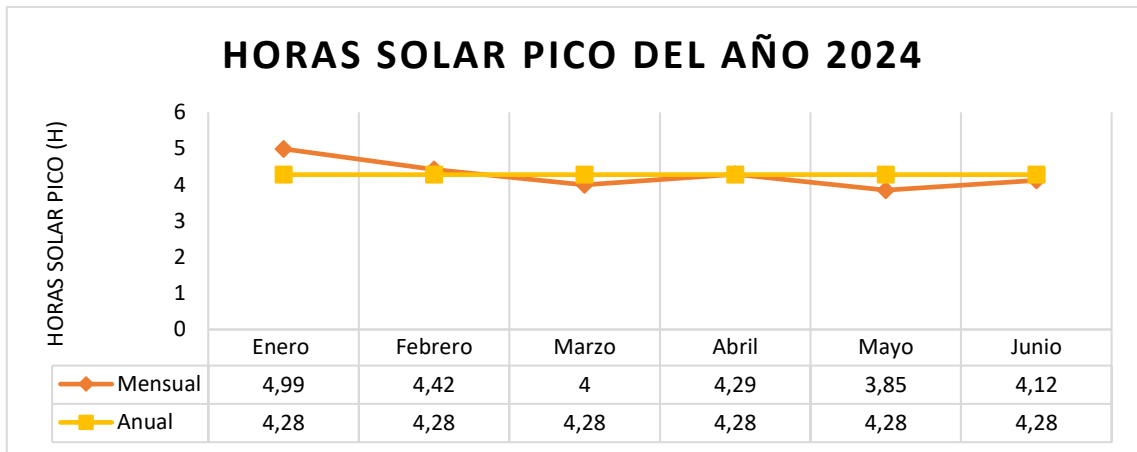


Figura 11. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del 2024. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia).

En cuanto a los datos del primer semestre de 2024 (Figura 11), las HSP comienzan altas en enero con 4,99 horas, pero descienden de forma progresiva hasta marzo, donde alcanzan 4,00 horas. Luego se recuperan en abril con 4,29; aunque mayo presenta nuevamente un retroceso a 3,85 horas, el más bajo del semestre. Finalmente, en junio se registra una ligera mejora con 4,12 horas.

El promedio semestral se sitúa en 4,28 horas, con mayo como el mes crítico. Este comportamiento sugiere que las variaciones responden a cambios estacionales en la radiación solar.

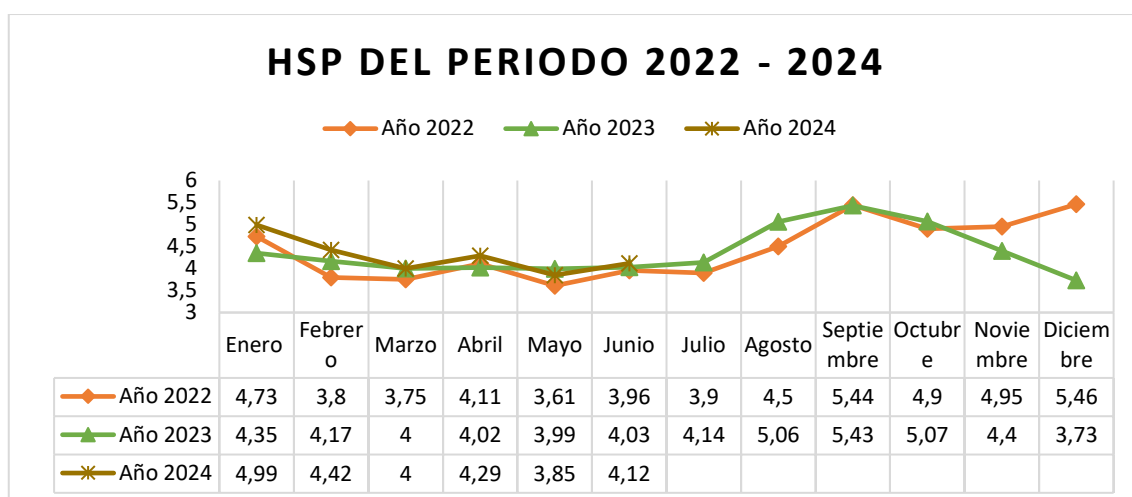


Figura 12. Gráfica Evolutiva de las HSP a lo largo del Periodo 2022 - 2024. Datos seleccionados del Programa POWER, NASA (Autoría propia).

En conjunto, los datos de 2022 a 2024 muestran que los valores más altos de HSP suelen registrarse entre julio y noviembre, mientras que los más bajos se concentran entre diciembre y junio. Esta tendencia confirma la marcada influencia estacional sobre la disponibilidad de radiación solar en el área de estudio.

Esto se debe principalmente a la inclinación del eje de la Tierra. Durante el verano, el sol se encuentra más alto en el cielo, lo que permite una mayor captación de energía solar. Por el contrario, en invierno, el sol está más bajo en el horizonte, reduciendo la intensidad y duración de la radiación solar que llega a la superficie. Esto también puede verse afectado por factores como la nubosidad, la contaminación y la latitud geográfica, que también influyen en estas variaciones estacionales de las HSP, puesto que el mes de diciembre del año 2023 deberíamos tener un HSP bajo, pero nos refleja alto, lo que indica que durante el mes no tuvimos presencia de días nublados.

Análisis y selección de la HSP para el estudio.

Al diseñar un sistema fotovoltaico autónomo o con respaldo de baterías, resulta fundamental tomar como referencia el mes con la menor Hora Solar Pico (HSP). Esta decisión garantiza la continuidad del suministro eléctrico incluso bajo las condiciones más desfavorables. Sí, en cambio, el sistema se dimensionará en función de los meses con

mayor radiación solar, no podría cubrir la demanda en los periodos de baja HSP, generando déficits de energía e interrupciones en el servicio, salvo que se disponga de un banco de baterías sobredimensionado o de una conexión a la red.

De igual manera, considerar la menor HSP es clave para dimensionar correctamente las baterías. Estas cumplen el rol esencial de almacenar la energía excedente y entregarla cuando la producción solar es baja o nula. Al diseñarlas con base en el mes más crítico, se asegura de que tengan la capacidad suficiente para responder en esos momentos de baja irradiación. Ignorar este criterio podría resultar en baterías insuficientes y, por tanto, en un sistema poco confiable.

En definitiva, esta metodología se centra en el peor escenario y minimiza el riesgo de subdimensionamiento. Aunque puede implicar una inversión inicial ligeramente superior al prever reservas adicionales, esa decisión se traduce en un sistema más estable, confiable y capaz de mantener el suministro energético de manera constante a lo largo del año.

En base a lo anterior la HSP para el estudio de la “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA OPERACIÓN DE ESTACIONES DE COMPRESIÓN DE GAS”, saldría del promedio de las HSP crítica del histórico de Solar entre el año 2022 y 2024 (3,61 – 3,73 – 3,85 (hrs)), respectivamente, los cual nos da una HSP de 3,73 hrs que podrías generar la energía suficiente para la sección de compresión de gas.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El presente análisis explica el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico (FV) diseñado para cubrir la demanda diaria de energía en la Sección de Compresión de Gas, que requiere un consumo de 0,75 MW. Para ello, se realizaron cálculos basados en principios de ingeniería fotovoltaica, tomando en cuenta aspectos clave como la eficiencia del sistema, la potencia de los paneles y la cantidad de unidades necesarias para garantizar el suministro energético.

Contexto y aparentes operativos

Como se puede consultar en (Miguel & Steven, 2024), la sección de compresión de gas en cuestión demanda un consumo diario de 0,75 MW, equivalente a 750 kW. Para cubrir esta necesidad energética mediante un sistema FV, se ha determinado una disponibilidad de 3,73 horas pico solar (HSP) en la ubicación específica. Las HSP representan el tiempo equivalente durante el cual los paneles pueden operar a su capacidad nominal bajo condiciones ideales de irradiancia. Un aspecto clave que se tuvo en cuenta en este dimensionamiento es la eficiencia general del sistema fotovoltaico, que se estima en un 75%. Esta cifra engloba las pérdidas inherentes a la conversión energética, incluyendo la eficiencia intrínseca de los paneles solares (que típicamente oscila entre el 15% y el 22%), la eficiencia del inversor (aproximadamente 90%), y pérdidas adicionales asociadas a la cablearía, la acumulación de polvo, las sombras y las variaciones de temperatura, entre otros. Esta estimación del 75% se alinea con las prácticas comunes de la industria y las condiciones operativas reales, respaldadas por estudios recientes en el campo de la energía solar fotovoltaica.

Metodología de cálculo

Cálculo de la energía real requerida por el PVS considerando la eficiencia

En primer lugar, el consumo diario de 750 kW se ajustó para compensar la eficiencia general del 75%. Esto significa que los paneles deben generar una cantidad de energía bruta (energía total generada por los paneles solares, antes de cualquier pérdida) superior a la demanda neta (energía que queda disponible para su uso) para cubrir las pérdidas del sistema. Así, la energía requerida a ser generada por los paneles se calculó como:

$$E_{requerida} = \frac{\text{Consumo } D}{\text{Eficiencia}} = \frac{750 \text{ kW}}{0,75} = 1000 \text{ kW/día}$$

Este valor representa la producción diaria mínima que el sistema fotovoltaico debe alcanzar por día.

Posteriormente, utilizando las 3,73 HSP, se determinó la potencia pico necesaria del sistema. Esta se calculó dividiendo la energía requerida diaria por las horas pico solar:

$$P_{HSP} = \frac{E_{requerida}}{HSP} = \frac{1000 \text{ kW}}{3,73} = 268,09 \text{ kW}$$

Por lo tanto, el sistema fotovoltaico debe tener una potencia nominal (potencia máxima que un panel solar o sistema FV puede generar en condiciones de prueba estándar) instalada de aproximadamente 268,09 kW. Por ello, se seleccionó paneles monocristalinos del modelo SLL700-720M12-132D5, ilustrado en la Tabla 9, ya que, la potencia que genera cada uno de estos paneles es de 720 W, los cuales puedes llegar a la potencial nominal, siempre y cuando sean instaladas en un circuito paralelo, puesto que, sumando tres veces la potencia del panel (720 W) podemos llegar a los 268,09 kW, lo que no pasa si se las colocar en un circuito en serie ya que se mantendría la potencia del mismo panel (720 W).

Modelo de panel solar seleccionado


| | |
|---|--|
| Modelo N.º: | SLL700-720M12-132D5 |
|  | <ul style="list-style-type: none"> - SLL&ENERGY: Potencia Max.: 720 w - Tipo de celda: HJT - Peso: 24,2 kg - Embalaje de transporte: Palé de madera y embalaje de cartón - Especificaciones: 2384 mm x 1303 mm x 35 mm - Marca registrada: SLL&ENERGY solar - Origen: China |

Tabla 9. Modelo de panel SLL700-720M12-132D5 seleccionado para estes estudio (SLL&ENERGY, 2025)(Anexo 2).

Cálculo del número de paneles necesario para el PVS

Para establecer el número de paneles, se asumió el uso de paneles solares con una potencia de 720 W (0,72 kW), los cuales están disponibles en el mercado actual.

Luego, dividimos la potencia pico requerida por la potencia individual de cada panel:

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{P_{HSP}}{P_{panel}} = \frac{268,09 \text{ kW}}{0,72 \text{ kW}} = 372,34 = 373 \text{ Paneles}$$

Se concluyó que se requieren aproximadamente 373 paneles para satisfacer la demanda energética de 1000 kW en las 3,73 HSP.

Dimensionamiento del Área Del Sistema Fotovoltaico

El espacio físico requerido para la instalación de los 373 paneles es considerable, ya que cada panel de 720 W ocupa aproximadamente 3,106 metros cuadrados, ya que consta de estas dimensiones (2384 mm x 1303 mm x 35 mm) (alto – ancho – espesor), respectivamente, resultando en un área total estimada de 1158,538 metros cuadrados.

Cálculos de dimensionamiento

El número total de paneles es el producto de los paneles a lo largo (L) y a lo ancho (A):

$$L \times A = 373 \text{ Paneles}$$

Para poder agilizar los cálculos se tomará 2 paneles más eventualmente, los cuales serán restados previamente, lo cual no va a incidir en los resultados, basando en esto tendríamos un total de 375 paneles, es decir, se buscaría valores divisibles para 5. Posteriormente, necesitamos encontrar dos números: L y A, cuya multiplicación sea 375.

Los factores de 375 son:

$$375 = (1 \times 375), (3 \times 125), (5 \times 75), (15 \times 25), \text{ y } \textit{viceversa}$$

Cualquier par de factores es válido, pero la elección depende de la forma del terreno o la disponibilidad de este. Por lo que, la mejor opción podría ser 15×25 , ya que es más equilibrada y la más óptimo en ampliación, pues así nos quedaría: 15 paneles a lo largo y 25 paneles a lo ancho.

Cálculos de las dimensiones totales en metros cuadrados

Cada panel mide 2.384 metros de largo y 1.303 metros de ancho. Para calcular el área total que cubrirán, multiplicamos la cantidad de paneles en cada dirección por las dimensiones de cada panel. Esto nos permite obtener las dimensiones totales del terreno disponible, lo cual es útil para asegurarnos de que la configuración se ajuste adecuadamente.

- **Largo total** (15 paneles a lo largo):

$$15 \times 2,384 = 35,76 \text{ m}$$

- **Ancho total** (25 paneles a lo ancho):

$$25 \times 1,303 = 32,575 \text{ m}$$

El área total es el producto del largo total por el ancho total:

$$\textit{Área total} = 35,76 \times 32,575 = 1164,834 \text{ m}^2$$

Finalmente, tenemos que el área del terreno a ocupar es de 1164,834 metros cuadrados utilizando los 375 paneles, pero si tenemos en cuenta los dos paneles que

agregamos al inicio, cuya área de individual es de 3,106 m cuadrados, que en dos sería un área de 6,2127 metros cuadrados que deberíamos restarle al área obtenida por los cálculos, nos resultaría un área total de 1158.538 metros cuadrados por los 373 paneles solares estipulados al inicio del cálculo del dimensionamiento del área.

Consideraciones esenciales para el diseño de PVS

Más allá de los cálculos fundamentales, el diseño de un sistema fotovoltaico óptimo exige la consideración de diversos factores adicionales. La eficiencia del 75% es una estimación que puede variar en función de las condiciones específicas del sitio y el declive de sus componentes, ya que, esto depende de dónde se instale el sistema.

Cálculo del Inversor Solar para la demanda energética

Es necesario seleccionar inversores adecuados que soporten la potencia total de 268,09 kW, teniendo en cuenta que los inversores modernos suelen alcanzar eficiencias de conversión de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) en torno al 90%. Teniendo en cuenta la situación se seleccionó el modelo de inversor solar SMA SC100 mostrada en la Tabla 10 posteriormente, pues, este diseño tiene una potencia máxima de 110 kW y al ser colocado dos o más de estos en un circuito en paralelo podemos lograr que los inversores soporten la potencia entregada por los paneles solares, lo que no pasa si los colocamos en un circuito en serie, ya que, solo tendríamos una potencia de inversor solar de 110 kW, puesto que estos trabajarían de forma independiente; en cambio la corriente nominal (se refiere a la máxima corriente que un panel solar puede producir en condiciones estándar) en serie se mantiene igual a un inversor (144A).


| | |
|---|---|
| Modelo N.º: | SMA SC100 |
|  | <ul style="list-style-type: none"> - Voltaje inversor: 450 V – 800 V - Max. potencia FV recomend. (PFV): 110 kW - Rendimiento máx.: 95 % - Corriente nominal CA (ICA, nom): 144 A - Potencia nominal CA (PCA, nom): 100 kW |

Tabla 10. Modelo de Inversor SMA SC100 seleccionado para este estudio (SMA, 2025).

Cálculo del número de inversores

Se necesita una potencia de 268,09 kW en total. Como cada inversor nos da 110 kW, para saber cuántos necesitamos, dividimos la potencia total entre lo que nos ofrece cada uno:

$$N_{inversores} = \frac{P_{total}}{P_{inversor}} = \frac{268,09 \text{ kW}}{110 \text{ kW}} = 2,43$$

Como no podemos instalar partes de inversores, tenemos que redondear hacia arriba. Así que, aunque el cálculo dé un número con decimales, la realidad es que necesitaremos 3 inversores de 110 kW cada uno para alcanzar esos 268,09 kW que requerimos.

Verificación de la Capacidad Total de los Inversores

Con 3 inversores de 110 kW, la capacidad total es:

$$P_{total \ inversores} = 3 \times 110 = 330 \text{ kW}$$

Esta capacidad supera los 268,09 kW requeridos, ofreciendo un margen de seguridad calculado que resulta esencial para absorber picos de demanda o compensar la degradación progresiva del sistema. No obstante, una optimización precisa de costos, se evalúan alternativas con inversores de menor potencia o combinaciones de capacidades diferenciadas; pero con base en la información disponible, la configuración de 3 inversores representa la solución más directa y eficiente.

Cálculo del Almacenamiento de la Energía Fotovoltaica (Baterías)

La sección de compresión de gas de la estación central Shushufindi también realiza sus operaciones fuera de las horas de luz solar, ya sea en la noche o en días

nublados, se haría indispensable la implementación de un sistema de almacenamiento de energía (baterías), para lo cual, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Consumo Diario: 750 kWh
- Voltaje inversor: 450 V – 800 V
- Profundidad de descarga
- Eficiencia de la batería

Para el cálculo y poder obtener los dos últimos parámetros es necesario seleccionar un modelo de batería que cumpla con las características y condiciones del sistema fotovoltaico. Para ello se seleccionó el modelo PK-ESS-L, de la tabla 11. Puesto que, si varias de estas baterías son colocadas en un circuito paralelo podemos obtener la capacidad adecuada para nuestro PVS :

| Nombre del producto | PK-ESS-L |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación: Sistemas de baterías industriales de reserva, Sistema de almacenamiento de energía solar , BESS - Tipo de batería: Pila Lifepo4 - Tensión: 768V - Capacidad: 280Ah - Tipo de controlador: MPPT - Refrigeración: Refrigeración por aire - Dimensión: 1800*1200*2300mm - Tipo de célula: Célula de batería Lifepo4 de 3,2v 280ah |

Tabla 11. Modelo de Batería PK-ESS-L seleccionada para este estudio (PKENERGY, 2025)(Anexo 3).

Dimensionamiento de la Batería para el PVS

La batería debe almacenar suficiente energía para cubrir el consumo diario (750 kWh) durante la noche o en días con poca radiación. Tomamos los datos de la batería seleccionada:

- Baterías de litio (LiFePO4) con:
 - Profundidad de descarga de la batería: 80% (0,8)
 - Eficiencia de la batería: 90% (0,9) o 95% (0,95)
- Días de autonomía: 1 día
- Voltaje de almacenamiento de la batería: Para este caso el voltaje del inversor tiene un rango de 450 V y 800 V, por lo que, sí es factible utilizar el voltaje de la batería que es de 768 V.

Capacidad de la Batería

Es la cantidad de energía eléctrica que se puede almacenar en estas, medida en amperio-horas (Ah) o kilovatio-horas (kWh), esencial para garantizar el suministro durante periodos sin sol, como noches o días nublados.

La capacidad requerida en kWh es:

$$Capac. (kWh) = \frac{\text{consumo diario}}{Prof.\text{descarga} \times Efic.\text{batería}} = \frac{750 \text{ kWh}}{0.8 \times 0.9} = 1041,67 \text{ kWh}$$

Se obtiene que la capacidad requerida en kWh es de 1041,67 kWh, teniendo en cuenta en consumo diario 750 kWh y una descarga de la batería del 80 %.

La capacidad requerida en Ah es:

Para un banco de baterías a 768 V (voltaje típico para inversores de este tamaño), es necesario estimar la capacidad de la batería en Ah con respecto al voltaje de esta:

$$Capac. (Ah) = \frac{Capac. (kWh) \times 1000}{Voltaje} = \frac{1041,67 kWh \times 1000}{768} = 1356,34 Ah$$

Logrando así obtener que la capacidad máxima de la batería para todo el sistema fotovoltaico debe de ser de 1356.34 Ah

Cálculo de numero de Baterías Necesarias

Si se conoce que la capacidad total de la batería tendría que ser de 1356,43 Ah y la capacidad de una batería es de 280 Ah, se debe hacer un arreglo de forma paralela para llegar a los (Ah) necesarios ya que en este tipo de arreglo el voltaje de la batería se mantiene el 768, así sean más de dos, y la capacidad de suma dependiendo del mismo número de batería que utilicemos, para ello es esencial calcular cuantas baterías necesitamos en este arreglo:

$$N^{\circ} baterías = \frac{Capac. Max.}{Capac. de la batería} = \frac{1356,43 Ah}{280 Ah} = 4,84 Baterías$$

Dado que no se pueden usar fracciones de baterías, redondeamos al entero superior. Por lo tanto, se necesitan **5 baterías** de 280 Ah cada una para cubrir los 1356,43 Ah requeridos.

Verificación de la Capacidad total de las baterías

Con 5 baterías de 280 Ah, la capacidad total es:

$$C_{total\ baterías} = 5 \times 280 = 1400 Ah$$

Esta capacidad supera los 1.356,43 Ah requeridos, ofreciendo un margen de seguridad calculado que resulta invaluable para absorber picos de demanda o compensar

la degradación progresiva del sistema. No obstante, una optimización precisa de costos, se podrían considerar alternativas con baterías de menor capacidad; con base en la información disponible, la configuración de 5 baterías representa la solución más directa y eficiente.

Accesorios necesarios para el PVS

Los accesorios de un sistema fotovoltaico comprenden una variedad de componentes esenciales que complementan a los paneles solares, inversores y baterías, facilitando la operatividad, seguridad y eficiencia del sistema. Estos incluyen cables solares fotovoltaicos, que conectan los paneles con los reguladores e inversores, optimizando la transmisión de energía y minimizando pérdidas. También se utilizan conectores, que aseguran uniones estancas y seguras entre los paneles y el resto del sistema. Los sistemas de montaje, como estructuras de aluminio o acero, fijan los paneles a la superficie de instalación. Para la protección, se emplean fusibles, interruptores de circuito y dispositivos de protección contra sobretensiones, salvaguardando los equipos de posibles fallas eléctricas. Además, se utilizan cajas combinadas que agrupan y protegen las conexiones de varias cadenas de paneles. Finalmente, los sistemas de monitoreo permiten monitorear el rendimiento del sistema en tiempo real, identificando problemas y optimizando la producción de energía (Suministro del Sol, 2025)(WCC SOLAR S.L, 2024).

Licitaciones del Cálculo y Recomendaciones

Es fundamental subrayar que este dimensionamiento representa una aproximación preliminar y no integra variables específicas tales como la degradación progresiva de los paneles a lo largo del tiempo, condiciones climáticas extremas o el impacto detallado de sombras dinámicas, elementos que requieren un análisis refinado para una proyección más precisa.

En síntesis, el sistema fotovoltaico propuesto alcanzaría una potencia instalada de 1000 kW, utilizando aproximadamente 373 paneles de 720 W cada uno, con una

eficiencia general estimada en el 75%. Este diseño está calibrado para cubrir el consumo diario de 750 kWh, aunque es imperativo incorporar los factores adicionales citados mediante evaluaciones cuantitativas para asegurar un rendimiento óptimo y una operación eficiente y sostenible a largo plazo.

Angulo de paneles

Es importante considerar el sombreado entre filas en instalaciones fotovoltaicas a gran escala, ya que la inclinación de los paneles puede aumentar el riesgo de que una fila sombree a la siguiente, lo que reduce la producción de energía, incluso si solo una celda se ve afectada. Para mitigar este problema, se suele aumentar el espacio entre filas, aunque esto eleva los costos de terreno. En el Ecuador, donde los ángulos de incidencia son más bajos, los cuales oscilan ángulos menores a 5° hasta 0°, el sombreado es menor, lo que permite diseños más compactos y eficientes. Los paneles deben estar orientados hacia el ecuador (sur en el hemisferio norte y norte en el hemisferio sur) para maximizar la exposición solar diaria (Landau, 2017). Pero en el caso de esta investigación no es necesario inclinar los paneles solares, puesto que con las coordenadas obtenidas el PVS, tiene la capacidad de producir la cantidad de energía que este necesita teniendo un ángulo de 0° de inclinación.

Calculo económico la de Sección de compresión de gas con respecto al a utilidad de gas y PVS

Calculo económico con la utilidad del gas

Si tomamos el consumo promedio de 0,75 MW que necesita la Sección de Compresión Gas y un costo de energía de \$0,10 por kW, el cálculo del costo diario de operación sería:

$$\text{Costo diario} = \text{Consumo (kW)} \times \text{Costo por kW}$$

$$\text{Costo diario} = 750 \text{ kW} \times 0,10 \text{ kW}$$

$$\text{Costo diario} = \$ 75$$

Teniendo en cuenta los parámetros propuestos, obtenemos que la Sección de Compresión de Ga tiene un consumo diario de \$ 75, sabiendo que producir un kW cuesta \$ 0,10. Por otra parte es esencial evaluar cual es consumo anual, por ello, es necesario tener presente los 365 días del año.

$$\text{Costo anual} = \text{Costo Diario} \times 365 \text{ días}$$

$$\text{Costo anual} = 75 \times 365 \text{ días}$$

$$\text{Costo Anual} = \$ 27\ 375$$

Luego de realizar el procedimiento correspondiente, se obtuvo que la Sección de Compresión de Gas de la Estación Central Shushufindi consume anualmente en energía por gas \$27 375.

Calculo económico de la utilidad del PVS

Para poder realizar un análisis económico con respecto a la utilidad de Sistema Fotovoltaico es necesario tabular las herramienta y equipo que lleva el PVS, donde se describa la cantidad de estos a utilizar y el precio correspondiente de cada uno, los cuales son un aproximado teniendo en cuenta los precios que actualmente se encuentran en el mercado, tomando como referencia los de (Auto Solar, 2025) (Panel Solar Perú, 2025b), de tal manera que se tengo un estimado tentativo para esta investigación.

| Costos Operativos | | | |
|-----------------------|----------|----------|-----------------|
| Implementos | Unidades | P/Unidad | P/Total |
| Panel Solar | 373 | 61,2 | 22827,6 |
| Inversor Solar | 3 | 20500 | 61500 |
| Batería | 5 | 15500 | 77500 |
| Cables (por m) | 1500 | 6,76 | 10140 |
| Montaje / Soportes | 125 | 150 | 18750 |
| Fusibles | 400 | 4,69 | 1876 |
| Otros Implementos | - | | 40000 |
| Costos Totales | | | 232593,6 |

Tabla 12. Costos operativos para la implementación de un PVS en la Sección de Compresión de Gas en la Estación central Shushufindi (Anexo 2)(SLL&ENERGY, 2025)(Auto Solar, 2025)(Panel Solar Perú, 2025b)

Según el coste para un PVS, incluyendo la parte de implementos (equipos y herramientas), servicio de instalación, costos no modulares, descrita en la tabla 12, el total para poder generar energía solar esta compresora de gas es de 232593,6 dólares, lo cual, nos asegura que todo el sistema funcionara de la manera más optima, sin comprometer la operatividad de esta.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El dimensionamiento técnico del sistema fotovoltaico (PVS) requiere 373 paneles solares de 720 W cada uno, lo que proporciona una potencia pico de 268,09 kW, ajustada por una Hora Solar Pico (HSP) crítica de 3,73 horas y una eficiencia del 75%. Además, el sistema necesita 3 inversores SMA SC100 de 110 kW cada uno, sumando un total de 330 kW, y 5 baterías PK-ESS-L de 280 Ah cada una, con una capacidad total de 1400 Ah a 768 V. El área total requerida para la instalación es de 1158.538 m², con una inclinación mínima de 0-5 grados debido a que está ubicada muy cerca de la línea ecuatorial, lo que minimiza el sombreado

Análisis de costos entre la energía actual y energía generada por PVS

Para realizar el análisis de costos operativos entre las dos energías es necesario realizar una proyección aproximada de 10 años para poder ver y estimar los resultados, en cuanto a la variabilidad en el factor económico. Para ello se detalla las proyecciones en la tabla 13, donde se ha establecido un valor de mantenimiento de \$ 2000 anuales como se sugiere en (REPSOL, 2023), los cuales incluyen los costos operacionales.

| Consumo Anual (dólares) | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Años | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Utilizando Gas | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 | 27375 |
| Utilizando PVS | 232593,6 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Ahorros | -205218,6 | -179843,6 | -154468,6 | -129093,6 | -103718,6 | -78343,6 | -52968,6 | -27593,6 | -2218,6 | 23156,4 |

Tabla 13. Proyecto de Proyecto a 4 años (Autoría Propia)

El análisis económico del proyecto revela que el costo inicial de implementar el sistema fotovoltaico (PVS) es de \$232593,6, incluyendo los equipos como: paneles solares, inversores, baterías y accesorios e instalación. En comparación, la operación con gas natural tiene un costo diario de \$75, lo que equivale a \$27,375 anuales. La proyección a 10 años muestra ahorros acumulativos a partir del Décimo año, con un saldo negativo de \$-205218,6 en el primer año debido que se debe de tener en cuenta la inversión inicial del PVS, cuyo valor es el restante de lo que se hubiese consumido en ese año con Gas menos la inversión inicial de PVS, luego, para el segundo año, aún se tiene un saldo negativo de \$-179843,6, puesto que es el resultado de restar el valor consumo con gas en ese año menos los costos operativos (restante de la inversión inicial del año anterior, más el valores de mantenimiento anual) y así sucesivamente para los próximos 7 años, ya que aún se mantienen los valores negativos como se muestra en la tabla 13, finalmente para el séptimo año se aprecia un saldo negativo considerable de \$-2218,6, el cual se obtiene de la resta del valor consumo con gas en ese año menos el costo operativo (restante de la inversión inicial del año anterior más el valores de mantenimiento anual), y para el décimo año del análisis económico se tiene un ahorro de \$23156,4, ya que, se obtiene de la diferencia entre lo consumido en este año por gas y el costo de mantenimiento. Esto indica que la inversión se recupera aproximadamente en 10 años y a partir de este se observa que el PVS es económicamente rentable.

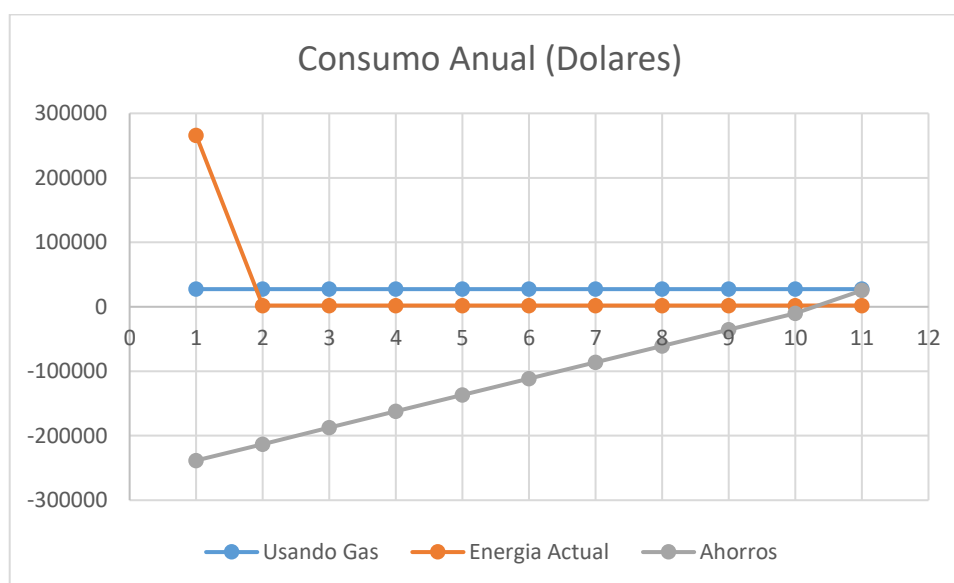


Figura 13. Proyecto de Proyecto a 4 años en forma de grafico (Autoría Propia)

Para expresar de una mejor manera se tiene la figura 13, como representación de la tabla 13, donde se observa el declive del costo operativo de la compresora de gas en el décimo año desde que es puesto en operación con el sistema fotovoltaico, en el cual, se detona un ahorro de 23156,4 dólares en este año, ya recuperando a inversión inicial de 232593,6 dólares; mientras que para el onceavo años ya se aprecia un cambio muy significativo en estos costes, pues el ahorro en este año y para los siguientes es de 25375 dólares, no se logra reducir en su totalidad, puesto que es necesario tener en cuenta los gasto por personal de mantenimiento y control de los equipos.

Para equiparar los costos del Sistemas Fotovoltaico de esta investigación se realizó una comparación con otro proyecto fotovoltaico titulado “Análisis de factibilidad técnica y económica de una sistema fotovoltaico conectado a la red, estudio de caso grandes superficies comerciales”(Iván & Lucas, 2020), donde se proyecta los costó de implementación del mismo, donde para generar 208 kW diarios se realizado una inversión inicial de \$69 352,8, mientras que para esta investigación se necesita \$232 593,6 para poder generar 750 kW diarios. Al analizar estas cifras podemos observar que si se triplica el valor del capital y la energía que se genera en la propuesta a comparar, obtenemos un aproximado referencial al de nuestro estudio.

La implementación del sistema fotovoltaico (PVS) reducirá significativamente las emisiones de CO₂ al reemplazar el uso de gas natural. Esta medida de descarbonización está alineada con los objetivos de reducción de emisiones de EP Petroecuador y tiene un potencial histórico de reducción de CO₂. También se prevén beneficios adicionales, como la disminución de la quema de gas y una menor huella operativa de la estación.

La eficiencia general del sistema fotovoltaico (PVS) se estima en 75%, considerando las pérdidas por conversión, acumulación de polvo y efectos de la temperatura. La viabilidad del proyecto es alta en Ecuador por la constante radiación solar crítica, con un promedio de 3,73 horas de Hora Solar Pico (HSP). Los desafíos de la intermitencia de la energía solar se mitigan con un sistema de almacenamiento con baterías, lo que permite una operación estable y confiable.

CONCLUSIONES

La integración de energía fotovoltaica en la Estación Central Shushufindi emerge como una oportunidad estratégica y factible para diversificar la matriz energética de Ecuador, minimizando de manera precisa la dependencia de combustibles fósiles y elevando la sostenibilidad operativa de la infraestructura.

Los cálculos técnicos demuestran que un sistema fotovoltaico (PVS) de 1000 kW de potencia es capaz de cubrir el consumo diario de 750 kWh, con una eficiencia del 75%, utilizando 373 paneles solares, 3 inversores y 5 baterías, todo ello en un área compacta gracias a la ubicación ecuatorial de la estación.

Desde el punto de vista económico, aunque la inversión inicial resulta sustancial (\$232 593,6), el proyecto comienza a generar ahorros netos a partir del decimoprimer año operativo, con proyecciones precisas de \$25,375, casi superando los costos anuales del gas natural (\$27,375) y asegurando un retorno cuantificable.

En el ámbito ambiental, la implementación de este sistema fotovoltaico acelera la descarbonización de las operaciones, alineándose con exactitud con las políticas nacionales y regionales que impulsan las energías renovables. Sin embargo, la intermitencia inherente de la fuente solar demanda un sistema de almacenamiento de alta robustez para mantener la continuidad operativa sin interrupciones.

En síntesis, este proyecto piloto se posiciona como un modelo escalable y replicable para infraestructuras industriales en Ecuador, fomentando la resiliencia energética y la reducción verificable de emisiones de gases de efecto invernadero, con la salvedad de que elementos como el mantenimiento programado y las variaciones climáticas exijan un monitoreo riguroso para maximizar el rendimiento a largo plazo.

RECOMENDACIONES

Para maximizar el rendimiento técnico en la implementación del sistema fotovoltaico (PVS), es imperativo llevar a cabo un análisis exhaustivo y preciso del sitio de instalación. Esto permitirá calibrar con exactitud la Hora Solar Pico (HSP) y neutralizar los impactos del sombreado mediante estrategias mitigadoras probadas. Adicionalmente, evaluemos la integración de paneles bifaciales, tecnologías que han demostrado incrementar la eficiencia operativa en más del 30%, optimizando así el retorno sobre la inversión (AMB GREENPOWER, 2025)(Lane, 2024).

Desde el ángulo ambiental y de sostenibilidad, deben establecerse protocolos rigurosos para monitorear las emisiones de CO2 antes y después de la implementación del PVS, cuantificando reducciones precisas y asegurando su alineación con los objetivos estratégicos de EP Petroecuador, incluyendo metas de descarbonización.

Se recomienda que EP Petroecuador escale este modelo de integración fotovoltaica a otras estaciones, integrando programas de capacitación especializados para el personal en tecnologías fotovoltaicas. Asimismo, impulsemos colaboraciones para actualizar las regulaciones nacionales, fomentando incentivos precisos que aceleren la adopción de sistemas fotovoltaicos en contextos industriales.

Por último, se debe realizar una evaluación prospectiva del impacto a largo plazo mediante simulaciones avanzadas y cuantitativas, incorporando un análisis de sensibilidad frente a variaciones climáticas específicas, tales como los eventos de El Niño, para anticipar escenarios y garantizar la robustez del sistema.

REFERENCIAS

- Accionistas. (2022). ¿Cuántos paneles solares y baterías son necesarios para generar energía en una casa? *BBVA*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cuantos-paneles-solares-y-baterias-son-necesarios-para-generar-energia-en-una-casa/>
- Adán, B., & Juan, Z. (2009). Optimización de las Facilidades de Producción de la Estación Shushufindi Central para las Actuales Condiciones de Operación del Campo. *Escuela Politécnica Nacional*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1719/1/CD-2328.pdf>
- Alusin Solar. (2022). ¿Cuáles son los componentes de un sistema solar fotovoltaico? *Alusin Solar*. <https://alusinsolar.com/cuales-son-los-componentes-de-un-sistema-solar-fotovoltaico/>
- AMB GREENPOWER. (2025). Innovaciones en Paneles Solares y su Aplicación Industrial. *AMB GREENPOWER*. <https://www.ambgreenpower.com/innovaciones-en-paneles-solares-y-su-aplicacion-industrial/>
- AMBGREENPOWER. (2025). Desafíos y soluciones para la implementación de energía solar en espacios industriales limitados. *AMBGREENPOWER*. <https://www.ambgreenpower.com/desafios-y-soluciones-para-la-implementacion-de-energia-solar-en-espacios-industriales-limitados/>
- Andrés, C., Marcelo, M., Esteban, U., & Renato, H. (2024). Indicadores de rendimiento energético y ambiental en instalaciones petroleras de producción en Ecuador. *ResearchGate*, 13 (2). https://www.researchgate.net/publication/385583107_Indicadores_de_rendimiento_energetico_y_ambiental_en_instalaciones_petroteras_de_produccion_en_Ecuador_Energy_and_environmental_performance_indicators_at_upstream_oil_facilities_in_Ecuador
- Atersa Shop. (2021). Cómo se almacena la energía solar fotovoltaica. *Atersa Shop*. <https://atersa.shop/como-se-almacena-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- Auto Solar. (2023). ENERGIA SOLAR. *Auto Solar*. <https://autosolar.es/energia-solar>
- Auto Solar. (2025). Paneles Solares. *Auto Solar*. <https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-monocristalino-605w-trina-solar>
- Caballero, A. (2023). Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas.

- Climate Consulting Selectra*. <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar>
- Carlos, Q., & Douglas, T. (2023). Evaluación del Factor de Recobro en la Fase de Desplazamiento y Almacenamiento de CO₂ en un Yacimiento del Campo Shushufindi - Bloque 57. *UPSE*. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstreams/4676bd58-060d-4461-8a72-66460f948e5e/download>
- CELEC, E. (2024a). ESTUDIO DE POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO DEL ECUADOR. *El Nuevo Ecuador*, 1, 20. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Folleto-PROYECTOS-FOTOVOLTAICOS-ECU-2024-2-26-FEB.pdf>
- CELEC, E. (2024b). Nuevos Proyectos Fotovoltaicos en Ecuador. *Nuevo Ecuador*. <https://www.celec.gob.ec/noticias/celec-ep-identifica-7-proyectos-de-generacion-fotovoltaica-de-mas-de-1-580-megavatios-pico/>
- Costa, D. (2014). Políticas Energéticas en Ecuador. *Ministerio Coordinador de Sectores Energéticos*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.nist.gov/system/files/documents/iaao/3-Presentacion_Politica_Energia__v2-pptx_DARWIN_COSTA.pdf
- DAMIA SOLAR. (2023a). Conexión paneles solares en serie y en paralelo. *DAMIA SOLAR*. <https://www.damiasolar.com/blog/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo/>
- DAMIA SOLAR. (2023b). Importancia y significado de los valores V_{mp}, V_{oc}, I_{sc} e I_{mp} de un panel solar. *DAMIA SOLAR*. <https://www.damiasolar.com/blog/significado-valores-isc-imp-voc-vmp-instalacion/>
- Editorial Etecé. (2023). Energía solar. *Concepto*. <https://concepto.de/energia-solar/>
- ENEL GREEN POWER. (2024a). Cómo se construye y cómo funciona un sistema fotovoltaico. *ENEL GREEN POWER*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/construccion-funcionamiento-parque-fotovoltaico>
- ENEL GREEN POWER. (2024b). La energía solar. *ENEL GREEN POWER*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia->

solar

- EP Petroecuador. (2024). *EP Petroamazonas y la energía sostenible: Un compromiso con el medio ambiente*. El Nuevo Ecuador. <https://www.eppetroecuador.ec/?p=21757>
- EP Petroecuador. (2025). National oil company profile: Petroamazonas. *Natural Resource Governance Institute*. <https://resourcegovernance.org/publications/national-oil-company-profile-petroecuador>
- FVComponentes. (2025). Accesorios para placas solares. *FV Componentes*. <https://fvcomponentes.com/categoria-producto/placas-solares/accesorios-placas-solares/>
- Gem.wiki. (2025). *Campo de petróleo y gas Shushufindi (Ecuador)*. [https://www.gem.wiki/Shushufindi_Oil_and_Gas_Field_\(Ecuador\)](https://www.gem.wiki/Shushufindi_Oil_and_Gas_Field_(Ecuador))
- Google. (2025). *Google Map*. https://www.google.com/maps/place/0°12'00.5%22S+76°39'02.4%22W/@-0.2001286,-76.6532392,724m/data=!3m2!1e3!4b1!4m4!3m3!8m2!3d-0.200134!4d-76.6506643?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDgyNS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Gray, A. (2025). *Energías renovables vs. combustibles fósiles*. Smart Energy. <https://www.smartenergy.com/energyguides/energias-renovables-vs-combustibles-fosiles/?lang=es>
- HelioEsfera. (2022). Comprobación de los parámetros eléctricos del inversor. *HelioEsfera*. <https://www.helioesfera.com/comprobacion-de-los-parametros-electricos-del-inversor/>
- Iván, B., & Lucas, M. (2020). Análisis de factibilidad técnica y económica de una sistema fotovoltaico conectado a la red, estudio de caso grandes superficies comerciales. *Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca*. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20023/1/UPS-CT009009.pdf>
- Jose, A. (2010). Parámetros de paneles solares fotovoltaicos. *SunFields*. <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/parametros/>
- José, F. (2020). *Compresión Del Gas Natural*. *SCRIBD*.

- <https://es.scribd.com/doc/269722707/Compresion-Del-Gas-Natural>
- Landau, C. R. (2017). Inclinación óptima de los paneles solares. *Solar Panel*.
<https://www.solarpaneltilt.com/>
- Lane, C. (2024). La eficiencia de los paneles solares explicada: los paneles solares más eficientes en 2024. *Solar Reviewws*. <https://www.solarreviews.com/es/blog/cuales-son-los-paneles-solares-mas-eficientes>
- Mancheno, C., & Alfredo, F. (2015). Impacto estructural y ambiental de compuestos de azufre del GPL de la planta de gas del complejo industrial Shushufindi, provincia de Sucumbíos cantón Shushufindi. Propuesta de mitigación con métodos de endulzamiento. *Universidad Técnica de Cotopaxi*.
<https://repositorio.utc.edu.ec/items/7be303a9-6bd2-4fe8-ab5f-2548ec880798>
- Marcellus, M. (2020). Estaciones Compresoras. *LibreTexts*.
https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Geología/Involucrar_a_los_adultos_en_la_ciencia/06%3A_Entendiendo_la_Regulación_de_Tuberías%2C_Construcción_e_Impactos/6.01%3A_Conceptos_básicos_de_tuberías/6.1.03%3A_Estaciones_Compresoras
- MAY-OSTENDORP, P., & DAYEM, K. (2018). Electrifying Natural Gas. *TechSurveillance*.
[chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcgclclefindmkaj/https://www.cooperative.com/programs-services/bts/documents/techsurveillance/ts-beneficial-electrification-natural-gas-pipeline-compressors-may-2018.pdf](https://www.cooperative.com/programs-services/bts/documents/techsurveillance/ts-beneficial-electrification-natural-gas-pipeline-compressors-may-2018.pdf)
- Melo, S. (2020). Cómo la energía solar está transformando la industria: cuáles son los beneficios y las mejores prácticas. *Data Scope*.
<https://datascope.io/es/blog/beneficios-del-uso-de-energia-solar-en-el-sector-industrial/>
- Miguel, R., & Steven, Z. (2024). ANÁLISIS DE RENDIMIENTO Y ESTRATEGIAS DE MEJORA PARA Miguel, R., & Steven, Z. (2024). ANÁLISIS DE RENDIMIENTO Y ESTRATEGIAS DE MEJORA PARA UN PLANTA FOTOVOLTAICA DE 90 KW. Universidad Politécnica Salesiana. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcgclclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/)

123456789/27319/1/UPS-GT004963.pdf

- NASA. (2025). *NASA Langley Research Center*. Power Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Natural Gas. (2025). The Transportation of Natural Gas. *Natural Gas*. <https://web.archive.org/web/20110101062510/http://naturalgas.org/naturalgas/transport.asp>
- NOVELEC. (2024). Solar Fotovoltaica Catálogo 2024. *NOVELEC*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.gruponovelec.com/medias/Catalogo-Novelec-SolarFV-2024.pdf?context=bWFzdGVyfGltYWdlc3w3MDQwMDg2fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxpbWFnZXMvaDQzL2g2Yi84ODUzMjMzMdc0MjA2LnBkZnxjOWFkNmQyYWFiYzJkMzM5ODA3MmM0Y>
- Panel Solar Perú. (2025a). Inversores Solares. *Panel Solar Perú*. <https://panelsolarperu.com/20-inversores-de-corriente/>
- Panel Solar Perú. (2025b). *Paneles Solares*. Panel Solar Perú. <https://panelsolarperu.com/296-panel-solar-340wp-policristalino-peimar-italian/>
- PKENERGY. (2025). *Batería solar comercial de 200 kWh*. Power PK Energy. <https://pkenergypower.com/es/products/bateria-solar-comercial-de-200kwh/#tab-id-1>
- Raggie. (2024). Parámetros de rendimiento de los inversores solares. *Raggie*. <https://www.raggieenergy.com/es/news/performance-parameters-of-solar-inverters/>
- REPSOL. (2023). Mantenimiento de placas solares. *Repsol*. <https://www.repsol.com/es/energia-avanzar/innovacion/mantenimiento-de-placas-solares/index.cshtml>
- REPSOL. (2024). Cómo optimizar tu consumo y elegir la mejor opción para tu hogar. *REPSOL*. <https://www.repsol.com/es/energia-avanzar/energia/que-es-la-potencia-electrica/index.cshtml>
- REPSOL. (2025). ¿Qué es la energía solar y qué beneficios tiene? *REPSOL Global*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml>
- Reve. (2020). ¿Cómo se construye una central fotovoltaica? *Reve*. <https://www.evwind.com/2020/10/31/como-se-construye-una-central-fotovoltaica/>

- Roca, J. (2024). El avance de la energía limpia en América Latina alcanzará su máximo potencial en 2024. *El Periódico de La Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-avance-de-la-energia-limpia-en-america-latina-alcanzara-su-maximo-potencial-en-2024/>
- Rodriguez, J. (2014). Energía Fotovoltaica Aplicada al Bombeo de Agua para Abrevar Ganado. *Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro."* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1854/T20223 Rodriguez Arroyo%2C José Mario Alfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, L. (2021). Desglose de los costos de un parque solar: Plantilla gratuita incluida. *Rated Power*. <https://ratedpower.com/blog/solar-farm-costs/>
- Rosa, S. (2025). Paneles Solares Industriales. *SOLAR SG*. <https://solarsg.es/todo-sobre-paneles-solares-industriales/>
- SLL&ENERGY. (2025). *SLL700-720M12-132D5*. Product Item 109. <https://www.sllsco.com/product-item-109.html>
- SMA. (2025). *SC100 OUT*. Proinso. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.proinso.net/pub/doc/File/SC100_OUT.pdf
- Suministro del Sol. (2025). Componentes para instalaciones Fotovoltaicas. *Suministro Del Sol*. <https://suministrodelsol.com/es/3-componentes-para-instalaciones-fotovoltaicas>
- SunEarthTools. (2025). *SunEarthTools*. https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es
- Techno Sun. (2025). *Inversores Solares*. Techno Sun. <https://b2b.technosun.com/shop/category/inversores-1770>
- Trainings & Demos. (2025). Descripción General del Equipo de una Estación de Compresión de Gas Natural. *KIMRAY ING*. <https://kimray.com/training/descripcion-general-del-equipo-de-una-estacion-de-compresion-de-gas-natural>
- Vericor. (2023). Compresión Móvil: La turbina de gas es eficaz para evacuar gas natural del gasoducto. *Vericor*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.vericor.com/wp-

content/uploads/2023/12/06-Portable-Compressor-Canada-1970-Sp.pdf

WCC SOLAR S.L. (2024). Accesorios para instalaciones Solares. *WCC SOLAR S.L.*

<https://www.wccsolar.net/accesorios-solares/>

ANEXOS

Anexo 1:

```

Readme.txt | POWER_Point_Month | POWER_Point_Month | POWER_Point_Month | POWER_Point_Month | POWER_Point | X | +
Archivo  Editar  Ver

|-BEGIN HEADER-
NASA/POWER Source Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2022 through 12/31/2025 in LST
Location: Latitude -0.1999 Longitude -76.5687
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 330.71 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)
-END HEADER-
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC
ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2022 4.73 3.80 3.75 4.11 3.61 3.96 3.90 4.50 5.44 4.90 4.95 5.46
4.43
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2023 4.35 4.17 4.00 4.02 3.99 4.03 4.14 5.06 5.43 5.07 4.40 3.73
4.37
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2024 4.99 4.42 4.00 4.29 3.85
4.12 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00
ALLSKY_SFC_SW_DWN
2025 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00 -999.00

```

Figura 14. Horas pico mensual ya anual del año 2022, 2023 y parte del 2024, generada por POWER (NASA, 2025).

Anexo 2:

| SLL SOLAR | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|--|
| Electrical Characteristics (STC/BSTC) | | | | | | | | | | | |
| Module Type | SKT700M12-132D5 | | SKT705M12-132D5 | | SKT710M12-132D5 | | SKT715M12-132D5 | | SKT720M12-132D5 | | |
| Test Conditions | STC | BSTC | STC | BSTC | STC | BSTC | STC | BSTC | STC | BSTC | |
| Maximum Power- Pmax(W) | 700 | 770 | 705 | 775 | 710 | 780 | 715 | 785 | 720 | 790 | |
| Open Circuit Voltage - Voc(V) | 50.13 | 50.13 | 50.29 | 50.29 | 50.44 | 50.44 | 50.59 | 50.59 | 50.74 | 50.74 | |
| Short-Circuit Current - Isc(A) | 17.43 | 19.17 | 17.49 | 19.22 | 17.55 | 19.28 | 17.61 | 19.33 | 17.67 | 19.39 | |
| Voltage at Pmax -Vmp(V) | 42.10 | 42.10 | 42.25 | 42.25 | 42.39 | 42.39 | 42.54 | 42.54 | 42.68 | 42.68 | |
| Current at Pmax - Imp(A) | 16.63 | 18.29 | 16.69 | 18.35 | 16.75 | 18.41 | 16.81 | 18.46 | 16.87 | 18.51 | |
| Module Efficiency - η_m (%) | 22.53 | / | 22.70 | / | 22.86 | / | 23.02 | / | 23.18 | / | |
| Power Tolerance(W) | (0, +4.99W) | | | | | | | | | | |
| Maximum System Voltage(V) | 1500Vdc (IEC / UL) | | | | | | | | | | |
| Maximum Series Fuse Rating (A) | 35A | | | | | | | | | | |

Figura 15. Característica del Panel solar modelo de la empresa SLL Energy.

Anexo 3:

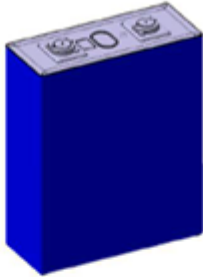
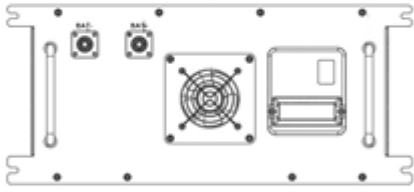
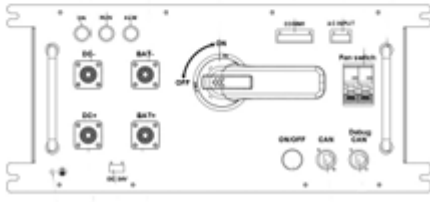
| | | |
|-------------------------|----------|--|
| Cell Basic Parameters | |  |
| Type | LFP | |
| Rated Capacity [Ah] | 280 | |
| Rated Voltage [V] | 3.2 | |
| Voltage Range [V] | 2.8~3.55 | |
| Charge current [A] | 140 | |
| Discharge current [A] | 140 | |
| Module Basic Parameters | |  |
| Configuration | 1P20S | |
| Rated Capacity [Ah] | 280 | |
| Rated Voltage [V] | 64 | |
| Rated Energy [KWh] | 17.82 | |
| Main control box | |  |

Figura 16. Característica de la batería solar comercial de 215 kWh modelo PK-ESS-L con la empresa SLL Energy.