



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS**

TEMA:

**“EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL USO DE LA
ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE
PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUFINDI, POZO SHSH-
248H.”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

NINEL BRENDA ARDILA CÁRDENAS

TUTOR:

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE PETRÓLEOS

TEMA:

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL USO
DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE
PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUNDI, POZO
SHSH-248H.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

NINEL BRENDA ARDILA CÁRDENAS

TUTOR:

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



ING. MARLELIS GUTIERREZ, PhD.

DIRECTOR DE CARRERA



ING. ISRAEL YAGUAL, MSc.

DOCENTE TUTOR



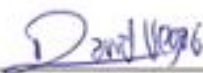
ING. XAVIER VARGAS, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA



ING. CARLOS MALAVÉ, MSc.

DOCENTE GUÍA DE LA UIC



ING. DAVID VEGA

SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El éxito se basa en su disposición a trabajar duro sin importar los obstáculos que se encuentren en su camino. Este logro se lo dedico a **Dios** quien me ha brindado la fortaleza y la guía para no rendirme a pesar de los obstáculos que se han presentado en este largo proceso.


A mi amada madre **Lucy Cárdenas**, la persona que me inspira y me hace querer ser cada día mejor le doy las gracias por todos sus valiosos consejos que me brinda incesantemente, por ser mi guía y apoyo incondicional, por estar presente en mis momentos más vulnerables, no me permitirme rendirme y seguir luchando por mis metas.

A mi querido Padre **Jonathan Ardila**, por todos los sacrificios innumerables que ha tenido que realizar para que pueda seguir creciendo de manera académica, por cuidarme brindarme su amor incondicional, a pesar de que nos encontramos distanciados no existe un solo momento en el que no hallas estado presente en mi vida.

Con mucho cariño, Ninel Ardila

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “**EVALUACIÓN ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUFINDI, POZO SHSH248.**”elaborado por el estudiante **NINEL BRENDA ARDILA CARDENAS**, egresado de la carrera de Ingeniería **PETRÓLEOS**, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 6 % de la valoración permitida.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis-Ninel Ardila

6%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

2% Idiomas no reconocidos

4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis-Ninel Ardila.docx	Depositante: Israel Isidro Yagual Pita	Número de palabras: 3949
ID del documento: 04d3f6a3e8a78922067141fac7dfcdc3646ccae4	Fecha de depósito: 19/6/2025	Número de caracteres: 27.336
Tamaño del documento original: 129,01 kB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 19/6/2025	



firmado electrónicamente por:
**ISRAEL ISIDRO
YAGUAL PITA**

ING. ISRAEL YAGUAL, MSc.

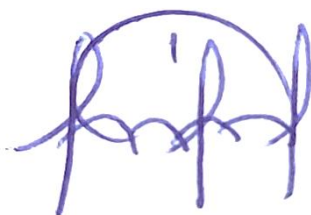
C.I.: 0927362988

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Ninel Brenda Ardila Cárdenas, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUFINDI, POZO SHSH248.”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Petróleos, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



NINEL BRENDA ARDILA CÁRDENAS

Autor de Tesis

C.I. 0850982570

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “ **EVALUACIÓN ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUFINDI, POZO SHSH248.**”previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleos elaborado por el Srta. Ninel Brenda Ardila Cárdenas , egresado de la carrera de Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**ISRAEL ISIDRO
YAGUAL PITA**

ING. ISRAEL YAGUAL, MSc.

TUTOR

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Certificado de gramática

Santa Elena, 18 de junio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magister en Educación Básica, con registro de la SENECYT N° 1023-2024-2904505 por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DEL USO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUFINDI, POZO SHSH-248H”** elaborado por la estudiante **NINEL BRENDA ARDILA CARDENAS** en su opción al título de **INGENIERA EN PETRÓLEOS** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.
C.I: 0605353143
Celular: 0969917044
Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis. Antes que nada, doy gracias a Dios Jehová por brindarme la fortaleza y la oportunidad necesarias para alcanzar esta meta. A mis padres, cuyo amor, sacrificio y confianza en mí han sido el motor que siempre me ha motivado a esforzarme y dar lo mejor de mí.

Agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena los docentes y al personal académico por su continua disposición para apoyar y compartir sus conocimientos y experiencias, enriqueciendo así nuestra formación integral. Profundamente agradecida con a mi tutor de tesis, Ing. Israel Yagual Pita, por su guía, paciencia y valiosos consejos durante todo el proceso. Su apoyo académico y motivación fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo.

También deseo agradecer de manera especial a Francisco Quispe, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante, que me dieron la fuerza para seguir adelante en los momentos difíciles durante todo este largo camino.

A mis familiares, amigos y compañeros de estudio, gracias por su compañía, ánimo y por compartir conmigo tanto los retos como los logros de esta etapa.

A todos ustedes, mi más profundo reconocimiento y gratitud.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA	iv
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	19
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.2 ANTEDECENTES	20
1.3 HIPÓTESIS	21
1.4 OBJETIVOS	22
1.4.1 Objetivo General	22
1.4.2 Objetivos Específicos	22
1.5 ALCANCE	22

1.6	VARIABLES.....	23
1.6.1	Variables Dependientes	23
1.6.2	Variables Independientes	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....		24
2.1	GENERALIDADES DEL CAMPO SHUSHUFINDI.....	24
2.1.1	Historia	24
2.1.2	Ubicación	25
2.1.3	Geología	26
2.1.4	Geofísica.....	27
2.1.5	Estratigrafía	28
2.2	ENERGÍA.....	30
2.2.1	Energía solar	31
2.2.2	Aplicación de la energía solar	31
2.2.3	Energía solar fotovoltaica	32
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	32
2.3.1	Clasificación de los sistemas fotovoltaico.....	34
2.3.2	Componentes de un sistema fotovoltaico	35
2.3.3	Efecto fotovoltaico.....	39
2.3.4	Radiación solar.....	39
2.3.5	Funcionamiento de la célula solar	41
2.4	CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL.....	43
2.4.1	Efecto Invernadero	43

2.4.2	Modelo energético sostenible	44
2.5	PERFORACIÓN	45
2.5.1	Perforación vertical	45
2.5.2	Perforación Horizontal.....	46
2.5.3	Sistema de un equipo de perforación	47
2.5.4	Componentes de un taladro de perforación	48
2.6.1	Utilización de las fuentes de energía.....	49
2.6.2	Energía en la industria petrolera	50
 CAPITULO III: METODOLOGÍA		52
3.1	ENFOQUE METODOLÓGICO	52
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	52
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	53
3.3.1	Población	53
3.3.2	Muestra	54
3.4	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	54
3.4.1	Recolección y validación de datos técnicos del pozo SHSH-248.....	54
3.4.2	Caracterización del recurso solar	55
3.4.3	Cálculo de la demanda energética en perforación	58
3.4.4	Diseño y simulación del sistema fotovoltaico	59
3.4.6	Evaluación ambiental.....	71
 CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		73

4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA Y ENERGÉTICA.....	73
4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA	74
4.3 EVALUACIÓN AMBIENTAL	76
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1 CONCLUSIONES	77
5.2 RECOMENDACIONES	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del campo Shushufindi	25
Figura 2. Sísmica Campo Shushufindi	27
Figura 3. Columna estratigráfica del campo Shushufindi.	28
Figura 4. Energías renovables.....	30
Figura 5. Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas	34
Figura 6. Paneles Solares	35
Figura 7. Baterías para sistema fotovoltaico	36
Figura 8. Controlador de carga solar	37
Figura 9. Inversor Solar	38
Figura 10. Radiación global	40
Figura 11. Característica corriente-tensión de un diodo	42
Figura 12. Proceso de efecto invernadero	44
Figura 13. Perforación Vertical.....	46
Figura 14. Perforación Horizontal.....	47
Figura 15. Componentes de perforación	48
Figura 16. Utilización de la energía.....	49

Figura 17. Coordenadas geográficas del pozo SHSH-248	56
Figura 18. Data del pozo SHSH-248 en el simulador	63
Figura19. Configuración de la orientación del sistema	63
Figura20. Configuración del plano de montaje	64
Figura 21. Definición de batería	65
Figura 22. Configuración del sistema	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas geográficas del campo Shushufindi	26
Tabla 2. Reservorios productores de campo Shushufindi.	29
Tabla 3. Parámetros técnicos del pozo SHSH-248	55
Tabla 4. Irradiancia solar promedio diaria mensual en Shushufindi.....	57
Tabla 5. Parámetros para considerar	58
Tabla 6. Detalle de los componentes de la inversión inicial.....	67
Tabla 7. Características técnicas del sistema fotovoltaico	74
Tabla 8. Comparación de costos energéticos	75
Tabla 9. Análisis de sensibilidad según número de campañas anuales	75
Tabla 10. Emisiones evitadas por campaña de perforación.....	76

“EVALUACIÓN ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EN OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN EL BLOQUE SHUSHUFINDI, POZO SHSH248”

Autor: Ninel Brenda Ardila Cárdenas

Tutor: Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema solar fotovoltaico autónomo con almacenamiento en baterías para abastecer la demanda energética de una campaña de perforación de 32 días, llevada a cabo en el pozo SHSH-248H, ubicado en el campo Shushufindi. Esta propuesta busca reemplazar el uso convencional de generadores diésel, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles en zonas remotas.

Para el desarrollo del estudio se utilizó información climática del software PVGIS y se realizó el modelado energético mediante PVsyst. Se dimensionó un sistema fotovoltaico portátil de 9.11 MWp con baterías LiFePO₄, capaz de generar 736000 kWh durante el período de perforación. Además, se aplicaron herramientas de evaluación financiera como el LCOE, VAN y TIR, y se calculó la reducción de emisiones de CO₂.

Los resultados demuestran que, si bien el sistema presenta una inversión inicial elevada, su reutilización en tres o más campañas anuales permite alcanzar un LCOE competitivo de 0.1685 USD/kWh. Se concluye que el sistema es viable desde una perspectiva técnica y ambiental, y puede llegar a ser económicamente rentable si se optimiza su uso en múltiples operaciones por año.

PALABRAS CLAVE: energía solar, perforación petrolera, fotovoltaico autónomo, viabilidad económica, sostenibilidad.

“ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE USE OF PHOTOVOLTAIC ENERGY IN DRILLING OPERATIONS IN THE SHUSHUFINDI BLOCK, WELL SHSH248”

Autor: Ninel Brenda Ardila Cárdenas

Tutor: Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

ABSTRACT

This research analyzes the technical, economic, and environmental feasibility of implementing an autonomous solar photovoltaic system with battery storage to supply the energy demand of a 32-day drilling campaign at well SHSH-248H, located in the Shushufindi oil field. The proposed system aims to replace conventional diesel generators, minimizing fuel dependency in off-grid oilfield operations.

The study was conducted using solar radiation data obtained from PVGIS and a detailed system simulation carried out in PVsyst. A portable 9.11 MWp photovoltaic system was designed, equipped with LiFePO₄ batteries, capable of generating 736,000 kWh during the drilling period. Financial performance was assessed through Levelized Cost of Energy (LCOE), Net Present Value (NPV), and Internal Rate of Return (IRR), while carbon dioxide emission reductions were also estimated.

Results show that although the system entails a high initial investment, its reuse across three or more annual drilling operations significantly reduces the LCOE to 0.1685 USD/kWh, making it economically competitive. It is concluded that the proposed solar energy system is technically reliable, environmentally favorable, and can become financially viable if strategically deployed in multiple campaigns throughout the year.

KEYWORDS: solar energy, off-grid systems, oil drilling, photovoltaic system, energy transition.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la industria petrolera las operaciones de perforación implican altos costos económicos y significativos impactos ambientales debido al uso intensivo de energía, especialmente de fuentes fósiles. La creciente preocupación por la emisión CO₂ y los efectos adversos de la extracción de recursos no renovables han generado la necesidad de explorar alternativas más sostenibles para estas actividades petrolera.

La energía solar es un recurso natural aprovechable para la generación de electricidad, desde algunos enfoques se consideran estrategias de eficiencia energética y reducción de consumo. En el mundo han incursionado en la implementación de sistemas de energía renovable en las operaciones petroleras aún existen oportunidades para analizar frente a los beneficios técnicos, económicos y ambientales.

El trabajo de investigación abordará un estudio donde se analizará la factibilidad para implementar el uso de la energía fotovoltaica en el pozo SHSH-248H ubicado en el bloque Shushufindi. Tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad económica y ambiental de energía fotovoltaica en las operaciones de perforación, el uso de energía solar busca reducir la dependencia de combustibles fósiles, optimizando los costos operativos y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. La evaluación ambiental medirá los beneficios en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Se estudiará una alternativa para el suministro de energía renovable el cual es de mucha importancia para las operaciones perforación. Dicha alternativa está basada, principalmente, en la utilización de energías renovables, como el recurso solar disponible. Se determinará la radiación solar, se estimarán sus costos y la comparación con distintas variantes.

1.2 ANTEDECENTES

La industria del petróleo y gas es clave para suministrar energía que impulsa diversos procesos a nivel global. No obstante, además de satisfacer la demanda energética, consume grandes cantidades de energía eléctrica y térmica para operar sus equipos en todas las fases de producción.

El aumento en la demanda de energía en un mundo totalmente industrializado ha llevado a un incremento gradual en el consumo de combustibles fósiles y sus derivados. Esta situación resalta la necesidad de recurrir a la ciencia y la creatividad para desarrollar un modelo sostenible y de bajo impacto que pueda satisfacer la conocida demanda de energía mediante el uso de fuentes renovables.

A continuación se muestran algunos estudios demuestran que existen oportunidades de desarrollo de la energía solar como la tecnología fotovoltaica (AlOtaibi et al., 2020; Frischknecht et al., 2015; Raugei et al., 2017) y los colectores solares parabólicos (Absi Halabi et al., 2015b; Behar et al., 2015; Ericson et al., 2019; Hoong, 2013; Rahman AM et al., 2017; Wang et al., 2017) para el suministro energético de forma renovable y no convencional en toda la cadena de suministro de las operaciones petroleras.

El petróleo y el gas natural suministraron casi el 55 % del consumo mundial de energía primaria en 2012. Suministrar petróleo en las cantidades necesarias requiere un gran esfuerzo industrial para producir 90 millones de barriles de hidrocarburos al día y procesarlos para su uso en automóviles, camiones y aviones. Sin embargo, John Wang expone que el petróleo y el gas seguirán desempeñando un papel fundamental para satisfacer la demanda energética mundial durante las próximas dos décadas, representando casi el 60% de la energía primaria total y alcanzando alrededor en 2035. (Wang et al., 2017)

La energía que se obtiene de la naturaleza se denomina energía primaria el petróleo y el carbón son energía primaria no puede utilizarse directamente; para poder utilizarla son necesarias sucesivas operaciones de refinación y transporte, desde el yacimiento a la planta de refinación y luego. La energía utilizada en los puntos de consumo como la electricidad y el Gas Natural consumidos en las viviendas o la gasolina y el gasóleo consumido por los vehículos.(Rufes Martínez, 2010).

La energía fotovoltaica se presenta como una alternativa viable para reducir el consumo de fuentes de energía tradicionales y minimizar el impacto ambiental asociado con las operaciones de perforación.

Merino señala que “Las energías renovables son inagotables. Utilizar la radiación solar para producir calor o electricidad no disminuye en ningún caso la cantidad de energía que el Sol envía a la Tierra. Otro tanto sucede con el viento. Por más aerogeneradores que extrajeran su fuerza y la convirtieran en electricidad nunca trastocarían el equilibrio térmico del planeta.”(Merino, 2012)

Oscar Perpiñán nos indica que un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de los equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado.(Lamigueiro, 2013)

1.3 HIPÓTESIS

La implementación de sistemas de energía fotovoltaica en las operaciones de perforación del pozo SHUSHUFINDI-248H reducirá los costos operativos asociados al consumo de energía convencional y contribuirá significativamente a la mitigación de los impactos ambientales, especialmente en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar la factibilidad económica y ambiental de la integración de tecnología solar fotovoltaica en las operaciones de perforación del pozo SHUSHUFINDI-248H, ubicado en el bloque Shushufindi, con el propósito de promover prácticas más sostenibles en la industria petrolera.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar los costos de inversión, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos aplicados a operaciones de perforación en el pozo SHUSHUFINDI-248H.
- Cuantificar los beneficios ambientales derivados de la adopción de energía fotovoltaica, con un enfoque en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales relevantes.
- Analizar el desempeño energético de los sistemas fotovoltaicos bajo condiciones reales de operación en el pozo SHUSHUFINDI-248H, evaluando su capacidad para satisfacer la demanda energética durante el ciclo completo de perforación.
- Examinar los factores técnicos, normativos y sociales que podrían influir en la implementación de sistemas fotovoltaicos en las operaciones de perforación del pozo SHUSHUFINDI-248H.

1.5 ALCANCE

Este proyecto tiene como objetivo principal analizar y evaluar los impactos económicos y ambientales del uso de energía fotovoltaica como alternativa en las operaciones de perforación en dicho bloque, ubicado en la región amazónica de Ecuador. Se enfocará en determinar la viabilidad técnica, económica y ambiental de integrar sistemas fotovoltaicos, dependientes de fuentes de energía convencionales, como el diésel y la electricidad.

Se desarrolla un levantamiento de información sobre la demanda energética máxima, patrones de consumo diarios, cargas eléctricas además se analizará los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. El cálculo de la rentabilidad de la inversión, se comparará los costos operativos de energía fotovoltaica con las fuentes de energía tradicionales utilizadas en las operaciones de perforación con la información se desarrollará un estudio de la posible reducción de costos a largo plazo y la independencia energética que podría ofrecer el uso de energía solar.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables Dependientes

- Eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos durante las operaciones de perforación.
- Reducción de emisiones de gases contaminantes asociados al uso de energía fotovoltaica.

1.6.2 Variables Independientes

- Demanda energética de las operaciones de perforación.
- Disponibilidad de radiación solar en el bloque Shushufindi.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL CAMPO SHUSHUFINDI

Las generalidades del campo Shushufindi describen su historia donde se encuentra ubicado el campo y su geología.

2.1.1 Historia

El campo petrolero Shushufindi-Aguarico, conocido como Shushufindi, fue descubierto en 1969 por la asociación empresarial Texaco-Gulf. Se estimó que poseía alrededor de 3.700 millones de barriles de petróleo en su sitio original. Las reservas originales del campo se calcularon en 1,589.25 millones de barriles de petróleo.

Las pruebas iniciales realizadas en el campo produjeron 2.496 barriles de petróleo al día de un crudo de 26,6 API en el reservorio "U" y 2.621 barriles al día la producción comercial con 19.200 BPPD sin agua, siendo realizada la primera campaña de perforación en los primeros cinco años de producción (1972 1977) con la que se incrementó la producción a 120.000 barriles de petróleo por día. (Baby et al., 2004)

La fase de exploración comenzó con la perforación del primer pozo, Shushufindi-1, el 4 de diciembre de 1968. La etapa de la perforación de los pozos dio inicio en febrero de 1972 y en agosto del mismo año comenzó la producción con 10 pozos, con el paso del tiempo fue incrementando sus pozos productores y la producción logrando en agosto de 1986 una producción promedio de 126,400 barriles por día.(Baby et al., 2004)

2.1.2.1 Coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas del campo Shushufindi se presentan en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas del campo Shushufindi

Coordenadas Geográficas de Campo Shushufindi	
LATITUD	ALTITUD
00° 00' 00" a los 00° 19' 32" S	76 °35' 58" hasta los 76° 42' 26" O

Fuente: (Zaldumbide & Benavides, 2009)

Elaborado: Ninel Ardila.

2.1.3 Geología

El campo Shushufindi-Aguarico exhibe un anticlinal asimétrico fallado de bajo del relieve de 30 km alargado, orientado Norte-Sur, formado por la inversión tectónica del Cretácico Tardío. Consta de tres estructuras principales: dos en el anticlinal Shushufindi y una en Aguarico, dispuesta en echelón con dirección Noroeste-Sureste.

Su flanco está delimitado por un sistema de fallas de transpresión dextral, parte de una estructura en flor, con un desplazamiento de falla de unos 200 pies. La estructura mide aproximadamente 35 km de largo y 6-7 km de ancho, con la caliza A en su base.

Las arenas del reservorio se consideran de grano medio con valores altos de esfericidad y en su mayoría impregnados totalmente de hidrocarburo. La producción de los yacimientos se origina debido al empuje del acuífero periférico y los efectos de expansión de los fluidos y la compresibilidad.

Las principales formaciones productoras son las areniscas U inferior y U superior y T superior y T inferior de la Formación Napo (Cretácico), que han contribuido con más del 90% de la producción total del campo. Estas areniscas son de excelente calidad como reservorios debido a su porosidad y permeabilidad.

Las formaciones U Y T del bloque Shushufindi están separadas por lutitas y calizas impidiendo cualquier tipo de comunicación entre sí, logrando que su comportamiento sea independiente de ambas. Sin embargo, la formación Basal Tena tiene una forma lenticular en determinadas áreas del campo, por eso es considerada un área de menor producción.

El crudo de Shushufindi es de origen marino con aportes terrestres, como lo indica una relación pristina/fitano de 0.94 en análisis petroquímicos. El crudo es mediano, con una gravedad de aproximadamente 29° API.

2.1.4 Geofísica

En la figura 2 se muestra las facies sísmicas de la estructura de Shushufindi – Aguarico, que se realizó una sísmica aproximadamente de 480 km de una sísmica de 2D. Se identificó, principalmente al este de la estructura, una falla inversa que controla la configuración del campo. Además, se dispone de la interpretación sísmica relacionada con los reflectores sísmicos Napo, Caliza A, Caliza B y Caliza C, lo que permitió elaborar los mapas estructurales en tiempo.(Jazmín & Albán, 2019)

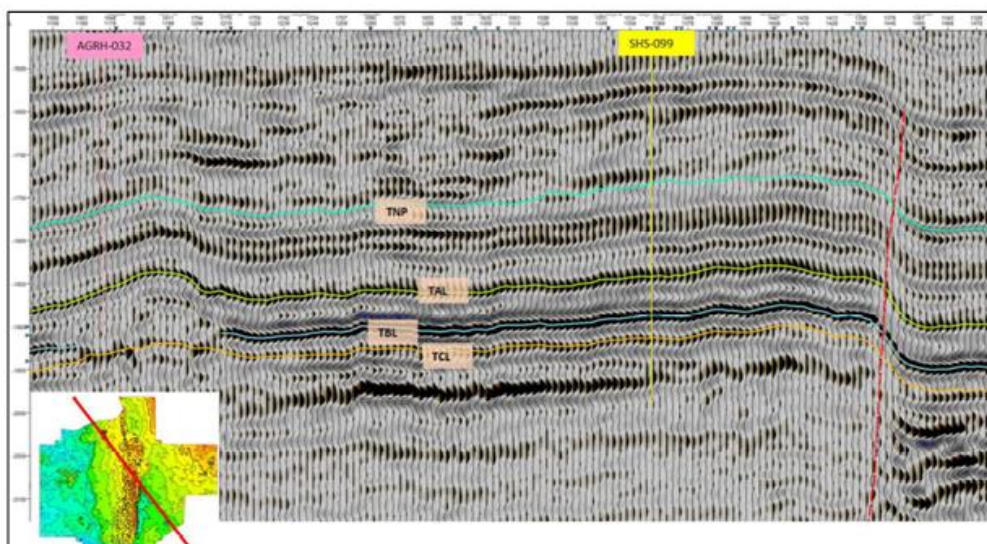


Figura 2. Sísmica Campo Shushufindi

Fuente:(Jazmín & Albán, 2019)

2.1.5 Estratigrafía

La producción de hidrocarburos en la cuenca oriente del Ecuador, en general, está asociada a depósitos Cretácico Inferior a Medio como es el caso de las formaciones de Hollín y Napo (areniscas U, T) y después del Cretácico Superior se encuentra como son las areniscas Basal Tena.

EL reservorio se encuentra en la edad del Cretácico Medio a Cretácico superior, como se muestra en la figura 2.

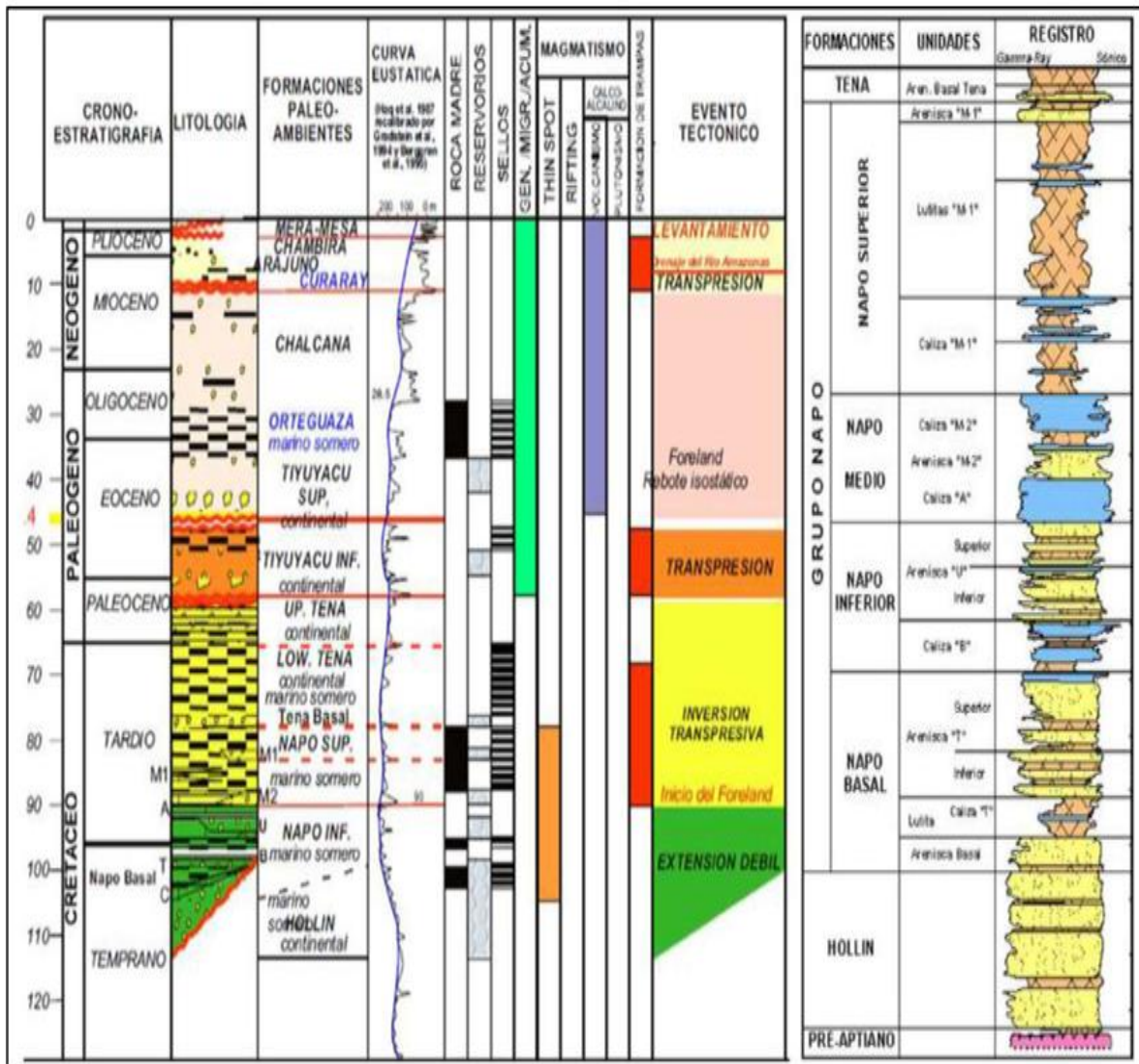


Figura 3. Columna estratigráfica del campo Shushufindi.

Fuente:(Jaillard, 1997)

Tabla 2. Reservorios productores de campo Shushufindi.

Reservorios productores del campo Shushufindi	
Reservorios	Características
Arenisca T	Grano medio a grueso. Minerales semejantes a la arenisca U. Permeabilidad y porosidad superior en la base de la arenisca. Porosidad total intergranular de 17% y 38415 acres. Grados API del crudo varía entre 28 – 32. Saturación de agua inicial +/- 15%. Permeabilidad absoluta entre 300 – 600 mD.
Arenisca U	Arenisca cuarzosa. La arcilla predominante es la caolinita. Presencia de fragmentos líticos. Posee minerales como el circón, muscovita y glauconita. Porosidad total promedio de 19%. Permeabilidad absoluta entre 250 y 400 mD.
Arenisca Basal Tena	Estructura de grano decreciente de menor espesor. Porosidad promedio alrededor del 15%. Espesores entre 1-22 pies.

Fuente: (Baby et al., 2004)

Elaborado: Ninel Ardila

2.2 ENERGÍA

La energía es definida corrientemente en los textos de Física como la capacidad para realizar un trabajo, aunque de forma más general se puede afirmar que es la medida de la capacidad de un sistema para proporcionar trabajo por medios mecánicos o calor por medios no mecánicos.(Jarabo et al., 1998).

La energía es la habilidad de los cuerpos para realizar trabajo, como producir movimiento, emitir luz o generar calor. Se presenta en diversas formas, como gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear o radiante, entre otras. Estas formas pueden transformarse unas en otras, siempre cumpliendo con el principio de conservación de la energía.

También existen energías renovables y no renovables las energías renovables son fuente limpia e inagotable proveniente de la tierra como el mar, los ríos, el viento y el calor estas energías no le hacen daño al medio ambiente. Mientras las energías no renovables pueden ser causantes del mayor daño del medio ambiente y se agotan.

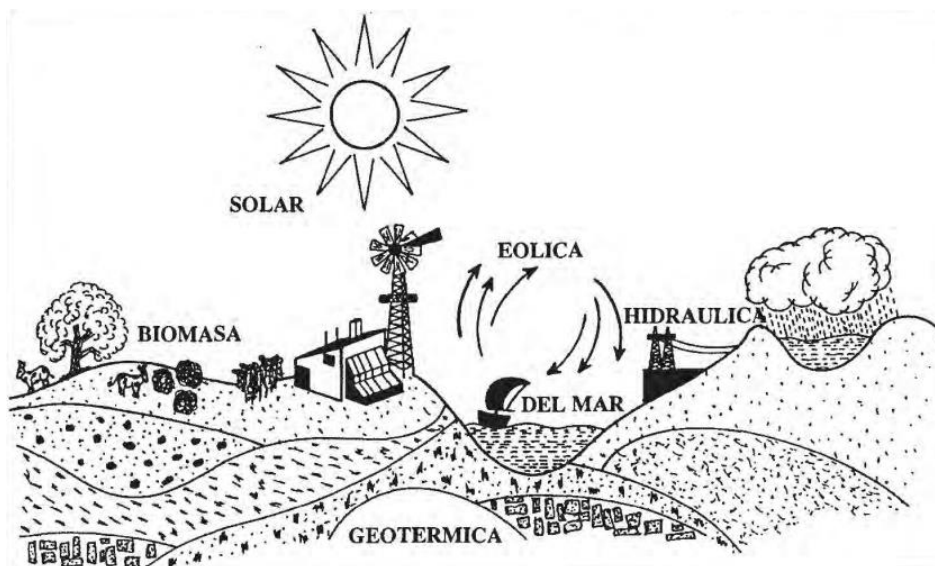


Figura 4. Energías renovables

Fuente: (Jarabo et al., 1998)

Las fuentes de energía renovables son aquéllas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra, y que tiene su origen en el Sol, aunque en ciertos casos existe una cierta contribución de los campos gravitatorios terrestre y lunar. Aunque el 30% de la energía procedente del Sol es reflejada por la atmósfera terrestre, el 70% restante la atraviesa experimentando o no cambios en sus características, lo que da lugar a las distintas fuentes renovables de energía.(Jarabo et al., 1998)

2.2.1 Energía solar

La energía solar es una fuente abundante, limpia y accesible globalmente, que puede captarse y convertirse en energía térmica o eléctrica directamente en el lugar de uso.

Su aprovechamiento puede realizarse convirtiendo la radiación electromagnética proveniente del Sol en calor (conversión fototérmica) o directamente en electricidad utilizando el efecto fotovoltaico. El elemento básico de la generación fotovoltaica es el módulo fotovoltaico, que junto con otros componentes mecánicos (estructuras soporte) y eléctricos (inversores de corriente continua a alterna, baterías, reguladores, etc.) constituyen el sistema fotovoltaico.(Miguel A. Laborde & Roberto J.J. Williams, 2016)

La conversión directa de energía solar en electricidad se obtiene mediante la utilización de dispositivos electrónicos, denominados celdas solares o fotovoltaicas (FV), que hacen uso de un proceso físico denominado efecto fotovoltaico, descubierto por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891) en 1839. El dispositivo fotovoltaico por excelencia es la celda solar de silicio cristalino (material semiconductor), consistente esencialmente en un diodo que transforma la radiación solar en corriente continua. (Miguel A. Laborde & Roberto J.J. Williams, 2016)

2.2.2 Aplicación de la energía solar

La energía solar es aquella que se obtiene de la radiación electromagnética emitida por el Sol, el cual libera una gran cantidad, de energía cada segundo, propagándose por el espacio en forma de ondas.(Pérez, 2024)

El flujo solar se divide en dos tipos: directo y difuso. La radiación directa puede concentrarse mediante espejos o lentes, mientras que la radiación difusa no permite ser enfocada. La energía solar se clasifica en dos grandes grupos la energía solar fotovoltaica y energía solar térmica.

La energía solar fotovoltaica concentra la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico en materiales conductores. Por otro lado, la energía solar térmica enfoca la radiación solar en un punto o línea focal para aprovechar su energía térmica.

2.2.3 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica produce corriente continua mediante semiconductores que, al ser iluminados por fotones, generan electricidad en células solares. La electricidad se produce solo mientras incide la luz, sin necesidad de cargar las células como baterías.(NAP, 2002)

La energía solar fotovoltaica, generada por sistemas fotovoltaicos, convierte la radiación solar en electricidad mediante módulos con células fotovoltaicas. Estas células, al recibir luz solar directa, se ionizan y liberan electrones que producen corriente eléctrica, generando energía solo cuando son iluminadas, sin necesidad de carga como baterías.

En los últimos años, el auge de las comunidades solares y las instalaciones de autoconsumo ha impulsado esta tecnología, promoviendo un significativo ahorro energético.

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de generación de energía eléctrica, que pueden variar en su tamaño y aplicaciones, diseñados para atender pequeñas demandas de energía hasta grandes generadores en parques solares. Como parte de la creciente explotación de energías renovables o limpias, la utilización de herramientas computacionales que faciliten los procesos de diseño es de gran utilidad

Los sistemas fotovoltaicos aprovechan la radiación solar, fuente inextinguible, local, no contaminante y silenciosa para la producción de electricidad. Las aplicaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Instalaciones aisladas de la red eléctrica, dando lugar a los denominados sistemas fotovoltaicos autónomos, para electrificación rural, señalización, comunicaciones, bombeo de agua, etc.
- Instalaciones conectadas a la red eléctrica: centrales fotovoltaicas y edificios conectados a red.

Un sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional.

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo.(Lamigueiro, 2013)

2.3.1 Clasificación de los sistemas fotovoltaico.

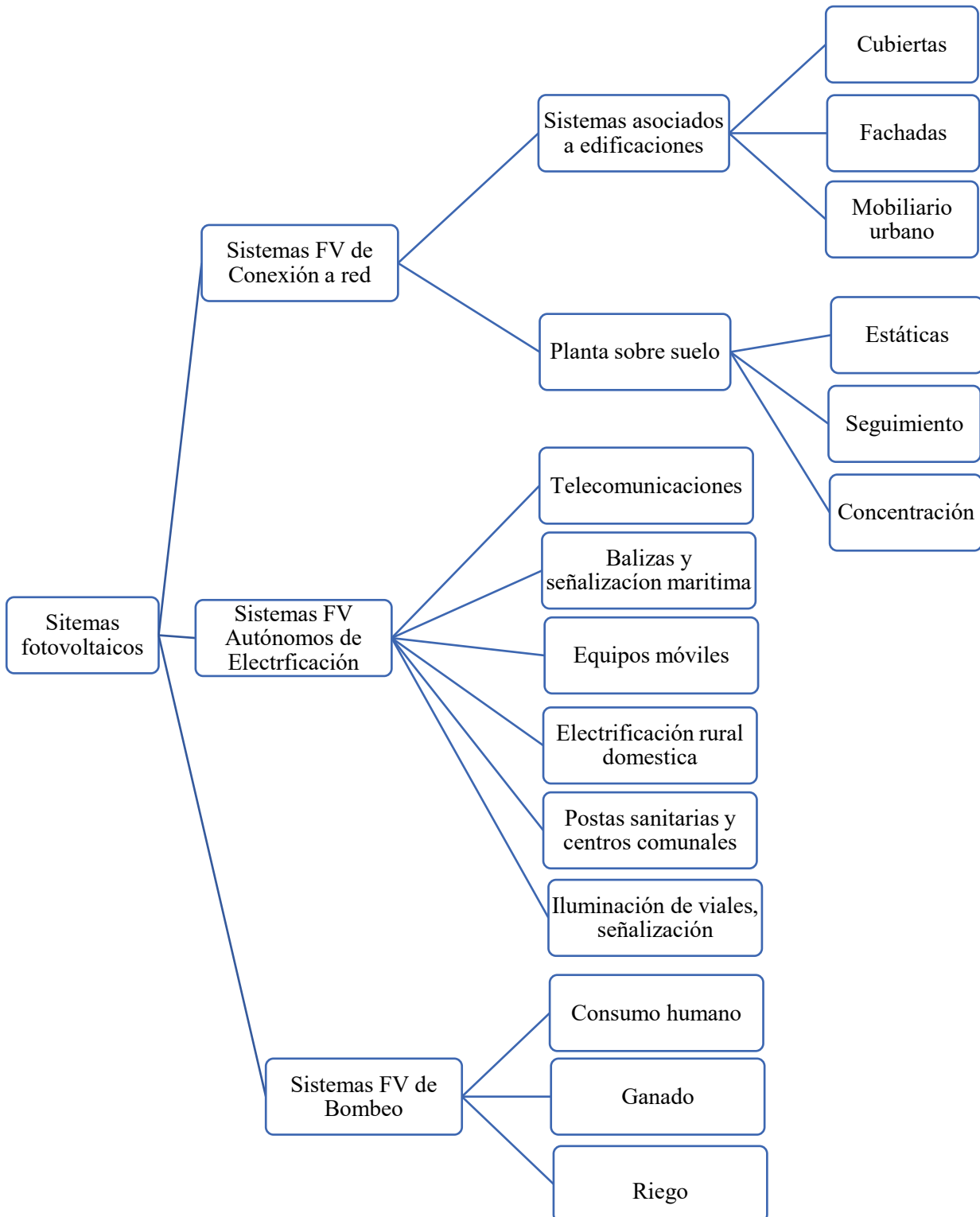


Figura 5. Clasificación de aplicaciones fotovoltaicas

Fuente: (Lamigueiro, 2013)

2.3.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

En un sistema fotovoltaico estará formado por un generador fotovoltaico, por un sistema de baterías, regulador de carga, un inversor y el consumo.

2.3.2.1 Paneles solares

El módulo o panel fotovoltaico es el que genera la energía eléctrica mediante la radiación solar que incide sobre las células solares del que está compuesto. La radiación proveniente del sol incide sobre las células generando energía eléctrica en corriente continua gracias al efecto fotovoltaico que se produce en las mismas. (Naranjo, 2022)

Las células de silicio monocristalino ofrecen una excelente relación rendimiento-coste, lo que las hace muy populares en aplicaciones comerciales. Su estructura, compuesta por silicio monocristalino, proporciona un alto rendimiento gracias a la presencia de un único frente de cristalización, alcanzando una eficiencia aproximada del 20 %.

Según Arteaga (2016), la eficiencia del módulo fotovoltaico de silicio policristalino es menor que la del silicio monocristalino, a pesar de estar fabricado con el mismo material. Esto se debe a que, en lugar de estar formado por un solo cristal, se funde y solidifica, dando lugar a un bloque con gran cantidad de granos o cristales, que concentran un mayor número de defectos.

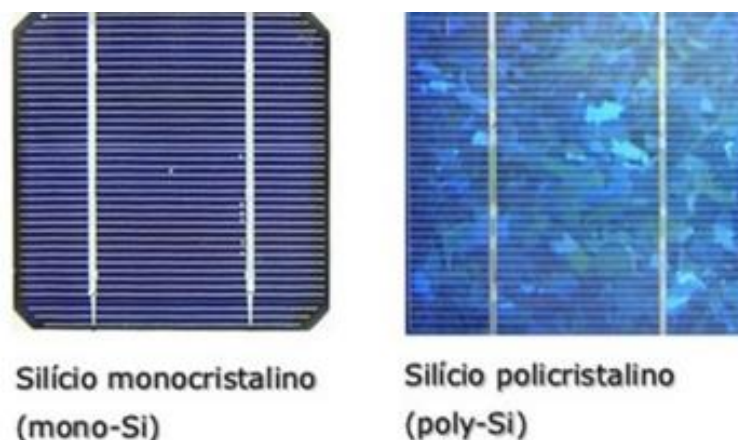


Figura 6. Paneles Solares
Fuente:(Almeida et al., 2016)

2.3.2.2 Generador FV

Convierte la energía solar en energía eléctrica y está compuesto por múltiples módulos fotovoltaicos interconectados en serie o paralelo. Cada módulo, a su vez, se forma por unidades básicas denominadas células fotovoltaicas. Una célula fotovoltaica típica genera una potencia aproximada de 3W, un valor bajo para muchas aplicaciones, por lo que los fabricantes las agrupan en serie o paralelo para crear módulos fotovoltaicos.(Abella, 2005)

2.3.2.3 Sistema de Baterías

La energía producida por el generador FV se acumula, en caso de ser necesario (ya se ha visto que los sistemas conectados a la red no necesitan baterías), en un sistema de baterías. De este modo la energía producida durante las horas de sol se puede utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar la energía necesaria.(Abella, 2005)



Figura 7. Baterías para sistema fotovoltaico

Fuente: (Tumbaco, 2023)

2.3.2.4 Regulador de Carga

El controlador de carga protege la batería de un sistema fotovoltaico contra sobrecargas y descargas excesivas, que podrían dañarla y reducir su vida útil. Su operación es simple: desconecta los paneles solares si la batería está demasiado cargada y corta el suministro a las cargas si la batería está muy descargada. Los paneles fotovoltaicos generan corriente continua (DC), que se almacena directamente en las baterías. Si se necesita alimentar dispositivos que usan corriente alterna (AC), se requiere un inversor para convertir la corriente continua en alterna.



Figura 8. Controlador de carga solar
Fuente: (Tumbaco, 2023)

2.3.2.5 Inversor

Santos describe el inversor es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, normalmente en corriente alterna y el posterior suministro a la red.

Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia.(Santos, 2014)

Aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores:

- Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar
- innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga.

- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticos.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos, que establece el Reglamento de Baja Tensión.
- Baja distorsión armónica.
- Bajo consumo.
- Aislamiento galvánico.
- Sistema de medidas y monitorización.

Los inversores son el tipo más común de los denominados dispositivos de acondicionamiento de potencia, no obstante, existen otras variedades para otro tipo de aplicaciones específicas como son los convertidores DC/DC. Los convertidores DC/DC pueden resultar necesarios cuando se pretenda modificar la relación voltaje/corriente de una fuente DC. Dependiendo del tipo de motor y el tipo de bomba utilizada puede resultar difícil acoplar la salida de un generador FV a la entrada eléctrica requerida por el motor.



Figura 9. Inversor Solar

Fuente: (Tumbaco, 2023)

2.3.2.5 Consumos

Los consumos son un componente clave en un sistema fotovoltaico, ya que determinan su dimensionamiento, es decir, el tamaño del sistema. En algunos casos, como en sistemas de telecomunicaciones, los consumos son conocidos con precisión de antemano. Sin embargo, en otros, como en electrificación rural, es difícil predecir el consumo debido a que depende del tiempo que el usuario utiliza las cargas. Esta incertidumbre surge porque el comportamiento del usuario con la instalación es impredecible.

2.3.3 Efecto fotovoltaico

La generación directa de electricidad a partir de la luz se denomina efecto fotovoltaico. Este fenómeno fue descubierto por el físico Antoine Becquerel en 1839. Para lograrlo, se necesita un material que capture la luz solar y convierta la energía radiante absorbida en energía eléctrica, función que cumplen las células fotovoltaicas.(Jofra, 2007)

Daniel Barberá describe el Efecto Fotovoltaico (FV) como la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV. Pueden ser reflejados o absorbidos, pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad.(Santos, 2014)

2.3.4 Radiación solar

Es la energía emitida por el sol en forma de radiación electromagnética que llega a la atmósfera. Se mide en superficie horizontal, mediante el sensor de radiación o piranómetro, que se sitúa orientado al sur y en un lugar libre de sombras. La unidad de medida es vatios por metro cuadrado (W/m^2). (Fuquen & Rodríguez, 2017)

Santos (2014) define la radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K.

La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra.(Santos, 2014)

- Irradiación normal directa (DNI): es la radiación que atraviesa la atmosfera sin haber interactuado con la misma.
- Irradiación horizontal difusa (DHI): es la radiación redireccionada por efecto de la atmosfera o reflejada por la superficie de la tierra.
- Irradiación global horizontal (GHI): es la suma de la irradiación normal directa y la irradiación horizontal difusa.

Como medidas de la radiación solar se define a la irradiación y a la irradiancia, según se indica a continuación:

- Irradiación: es la energía de la radiación solar medida en $\frac{kWh}{m^2 \text{ día}}$
- Irradiancia: es la potencia de la radiación solar medida en $\frac{kW}{m^2}$

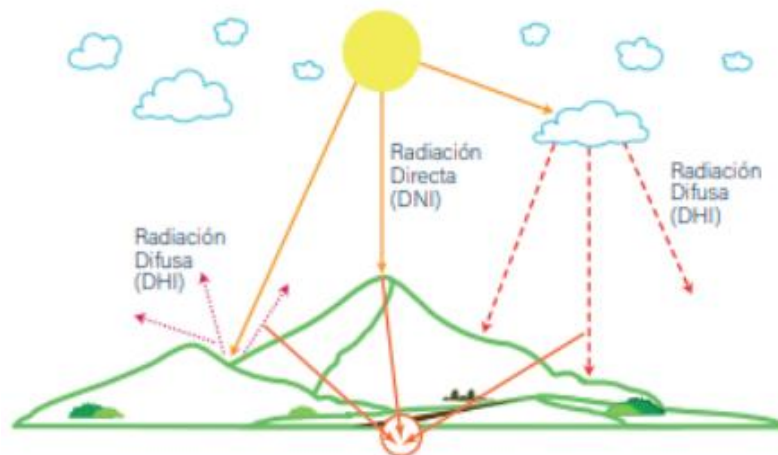


Figura 10. Radiación global

Fuente:(Naranjo, 2022)

2.3.4.1 Radiación horizontal, normal y un plano inclinado.

La radiación normal incidente se refiere a la energía solar recibida por una superficie orientada perpendicularmente a los rayos del sol. Para maximizar esta radiación durante todo el día, la superficie debe moverse de este a oeste, siguiendo la trayectoria solar. Por otro lado, cuando la superficie está dispuesta horizontalmente, es decir, perpendicular al radio terrestre, se habla de radiación horizontal. (Fuquen & Rodríguez, 2017)

En la práctica, suele ser más conveniente recolectar energía solar con una superficie fija. Para optimizar la cantidad de radiación captada a lo largo del día o del año, se ajusta la superficie a un ángulo de inclinación específico, lo que se conoce como radiación incidente en un plano inclinado.

2.3.4.2 Generación de radiación solar

(Santos, 2014) El Sol, la estrella más cercana a la Tierra, es una enana amarilla cuyas regiones internas, donde se alcanzan temperaturas de unos 20 millones de grados para generar reacciones nucleares que producen su energía, son inaccesibles a la observación directa. La fotosfera, su capa externa más visible, con una temperatura de 6000 K y un grosor de 200 a 300 km, emite la mayor parte de la radiación observada. Sobre ella se encuentra la cromosfera, de unos 15,000 km de ancho, y más allá, la corona solar, una región tenue y caliente que se extiende millones de kilómetros y solo es visible durante eclipses totales.

2.3.5 Funcionamiento de la célula solar

(Lamigueiro, 2013) La corriente de una célula solar es un balance entre la fotocorriente y la corriente de oscuridad que, a su vez, depende de la tensión aplicada en los terminales del dispositivo.

$$I = I_L - I_0 * \left[\exp\left(\frac{V}{m * V_T}\right) - 1 \right]$$

En esta ecuación se emplea I_L para designar a la fotocorriente y, dado que el aprovechamiento de la célula solar consiste en extraer esta corriente al exterior, se ha utilizado el signo negativo para el corriente diodo. Cuando la tensión aplicada es nula (la célula está cortocircuited) la corriente se debe exclusivamente a la fotocorriente. El valor de la corriente permanece casi constante hasta las cercanías del valor de tensión en el que el diodo comienza a conducir.

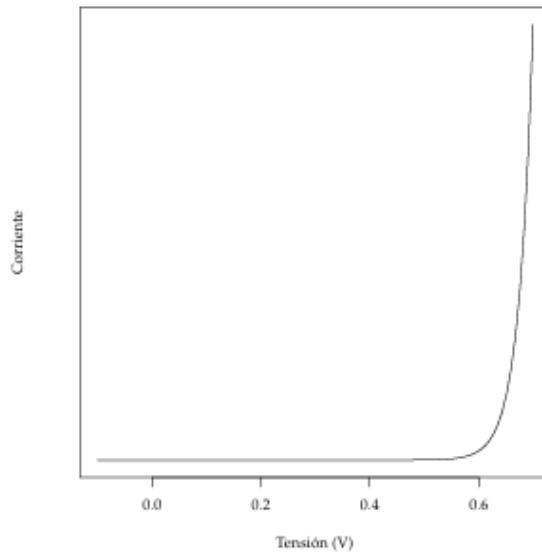


Figura 11. Característica corriente-tensión de un diodo

Fuente: (Lamigueiro, 2013)

A partir de este punto, la corriente disminuye abruptamente hasta alcanzar un valor nulo (célula en circuito abierto) en el punto donde la fotocorriente y la corriente de oscuridad quedan compensadas. Los dos puntos extremos de cortocircuito y circuito abierto quedan definidos con dos parámetros, la corriente de cortocircuito, I_{sc} , y la tensión de circuito abierto, V_{oc} .

2.4 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

2.4.1 Efecto Invernadero

La temperatura de la atmósfera es el resultado de un equilibrio entre diferentes factores, la cantidad de radiación solar que alcanza el planeta, la capacidad de las diferentes superficies de la Tierra, tanto marinas como terrestres e incluso de las nubes, de reflejar esta radiación (el efecto albedo por el que casi el 30% de la radiación entrante se refleja inmediatamente), la cantidad de energía térmica radiada al exterior, la presencia de aerosoles en la atmósfera y la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI)(Habiba et al., 2002)

Los GEI, tales como el vapor de agua y el dióxido de carbono, son transparentes a la radiación de onda corta. La energía térmica sin embargo se encuentra en el rango de longitud larga del espectro, al que los GEI no son transparentes bloqueando parte de estos, con lo que se conserva parte del calor de la atmósfera.(Habiba et al., 2002) El equilibrio energético viene determinado precisamente por este balance entre la energía entrante y la saliente, lo que establece la temperatura de la atmósfera, que hace que como media en la superficie sea 33° C. El problema surge en el último siglo, cuando la concentración de CO₂ y de otros GEI ha ido creciendo constantemente en la atmósfera debido a la actividad humana. La consecuencia del incremento de los GEI en la atmósfera es una mayor capacidad de absorción de radiación por parte de la atmósfera, lo que se traduce en un aumento de su temperatura global.

El nombre efecto invernadero proviene de su similitud con las instalaciones construidas para cultivar plantas en un ambiente más cálido que el exterior; dado que el techo de un invernadero tiene la misma propiedad de dejar entrar la radiación solar y bloquear la terrestre generada en su interior.

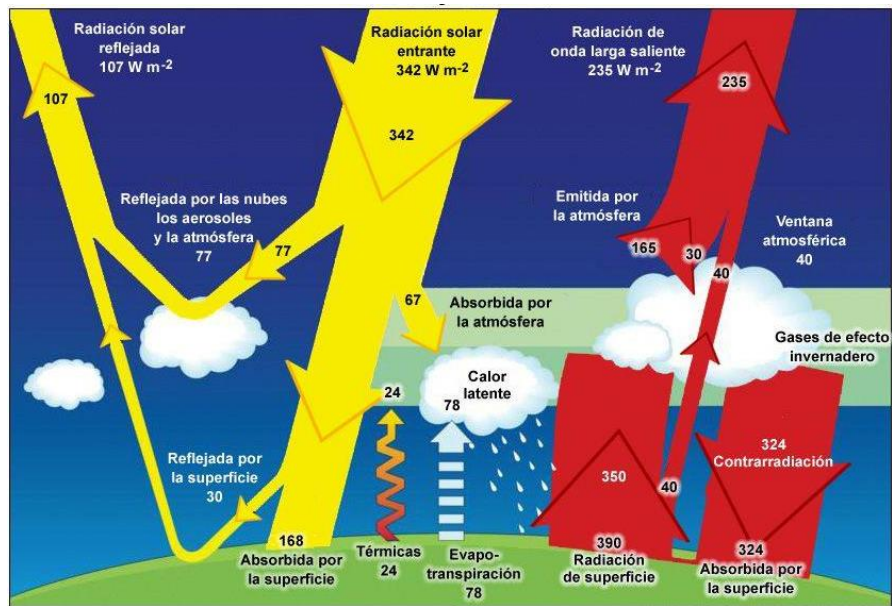


Figura 12. Proceso de efecto invernadero

Fuente: (*Efecto Invernadero* | CIIFEN, 2022)

El funcionamiento del efecto invernadero natural es cuando la radiación solar ingresa a la atmósfera, la Tierra emite radiación de onda larga, los gases de efecto invernadero (GEI) captan parte de esta radiación, y el resto se libera al espacio. La radiación atrapada en la atmósfera genera el efecto invernadero. (Martínez & Fernández, 2004)

2.4.2 Modelo energético sostenible

El desarrollo sostenible es aquel que cubre las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para atender sus propias necesidades.

El concepto de “desarrollo sostenible” se convirtió en una aspiración internacional, a partir de 1987 a través del “Informe Brundtland”. “Nuestro Futuro común; este informe plantea el concepto quizás más difundido y aceptado sobre el desarrollo sostenible, como: “Aquel desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer las opciones de las necesidades futuras”, es decir, no agotar, ni desperdiciar los recursos naturales, y tampoco lesionar el medio ambiente, ni a los seres humanos. (Ruggerio, 2021)

La organización de naciones unidas (ONU) plantea que, durante décadas los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas han sido las principales fuentes de energía eléctrica, pero su quema produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero,

causantes del cambio climático y perjudiciales para el bienestar de las personas y el medioambiente. Dentro de sus objetivos de desarrollo sostenible establece garantizar el acceso a una energía limpia y asequible, clave para el desarrollo de la agricultura, las empresas, las comunicaciones, la educación, la sanidad y el transporte, cumpliendo el séptimo objetivo de un desarrollo sostenible se reduciría la huella de carbono.

Una de las metas que se plantea para el 2030, pueda aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

2.5 PERFORACIÓN

La perforación de pozos petroleros consiste en crear un conducto vertical o desviado a través de las capas de la tierra usando brocas de distintos tamaños. Se realiza de forma controlada, protegiendo el pozo con tuberías de revestimiento y cemento. El objetivo es alcanzar yacimientos de hidrocarburos para su extracción comercial, mientras se obtienen datos geológicos esenciales para mejorar la exploración y producción futura.

La perforación rotatoria se utilizó por primera vez en 1901, método de perforar trajo innovaciones que difieren radicalmente del sistema de perforación a percusión, que por tantos años había servido a la industria. El nuevo equipo de perforación fue recibido con cierto recelo por las viejas cuadrillas de perforación a percusión. Pero a la larga se impuso hasta la actualidad en sus componentes y nuevas técnicas de perforación, el principio básico de su funcionamiento es el mismo.(Barberi, 1998)

2.5.1 Perforación vertical

Se conoce como pozos verticales a aquellos pozos que no tienen como objetivo tener una desviación de dirección, es decir, que, de su ubicación en un plano de superficie, observamos que las coordenadas de superficie y las coordenadas del objetivo son las mismas, lo que significa que el pozo no presenta ninguna inclinación y que por lo tanto las mediciones de TVD y MD son las mismas y por obvias razones el azimuth es= 0 (Vázquez & López, 2010)

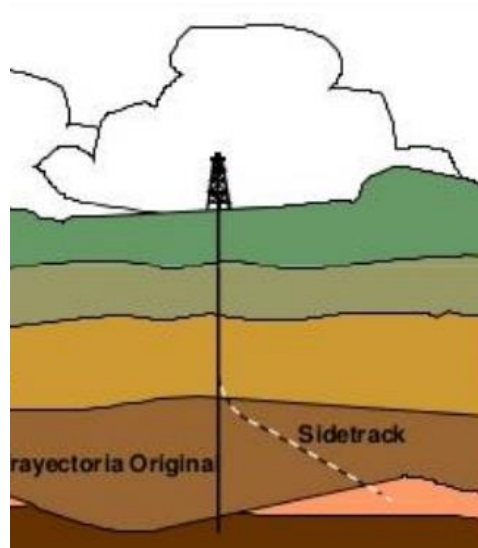


Figura 13. Perforación Vertical

Fuente: (García, 2015)

2.5.2 Perforación Horizontal

Los conceptos y prácticas de hacer hoyos desviados intencionalmente comenzaron a tener aplicaciones técnicas en la década de los años treinta. Nuevos diseños de herramientas desviadoras o guiabarrenas fijos o articulados permitieron obtener con mayor seguridad el ángulo de desviación requerida.

De las experiencias derivadas de la desviación fortuita del hoyo durante la perforación rotatoria normal, nació, progresó y se perfeccionó la tecnología de imprimir controlada e intencionalmente el grado de inclinación, el rumbo y el desplazamiento lateral. Finalmente debe tener el hoyo desviado con respecto a la vertical ideal para llegar al objetivo seleccionado. (Barberi, 1998)

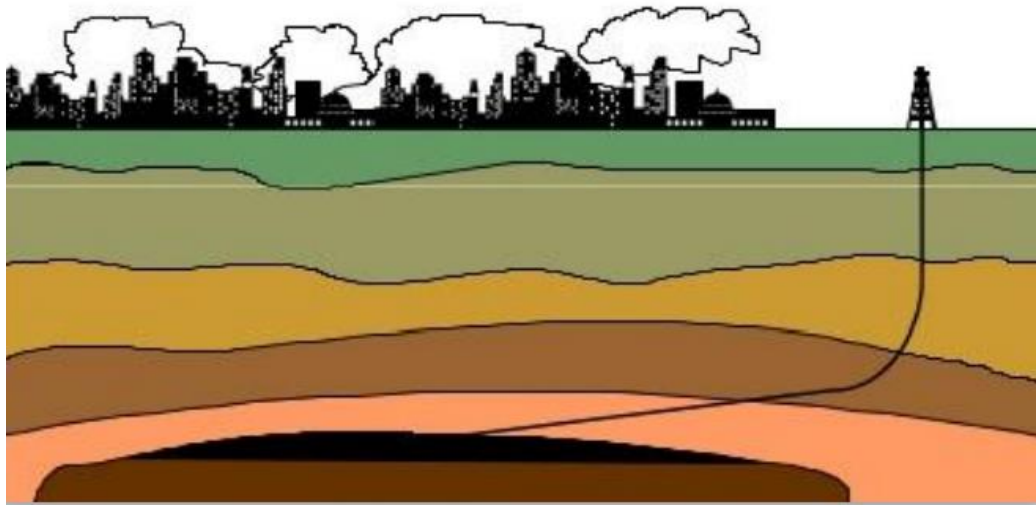


Figura 14. Perforación Horizontal

Fuente: (García, 2015)

2.5.3 Sistema de un equipo de perforación

Un equipo de perforación no puede operar sin una fuente de energía. La función principal del sistema de suministro de energía es proporcionar a todos los sistemas que integran el equipo de perforación la energía para operar correctamente. La función principal del taladro es hacer hoyo, lo más económicamente posible. Hoyo cuya terminación representa un punto de drenaje eficaz del yacimiento. (Barberi, 1998)

Los sistemas se componen de la siguiente manera:

- Sistema de Potencia.
- Sistema de Rotación.
- Sistema de izado
- Sistema de circulación de fluidos
- Sistema de equipos auxiliares

2.5.4 Componentes de un taladro de perforación

1. Cilindros para aire
2. Impidireventones
3. Base para la pata
4. Brida del cabezal
5. Engranajes de transmisión
6. Cruceta de acoplamiento
7. Cornisa (poleas fijas)
8. Cabría o torre
9. Refuerzo diagonal (travesaño)
10. Piso de la torre
11. Pata de la cabria
12. Malacate
13. Motores (diesel, gas, eléctricos)
14. Caballete
15. Travesaño (horizontal)
16. Conexión acodada
17. Guardacadena
18. Guardatransmisión (de la colisa)
19. Guardatransmisión (de las bombas)
20. Freno hidráulico
21. Junta kelly
22. Tubería de colmado (fluido de perforación)
23. Tuberías de descarga (bombas del fluido de perforación)
24. Cable de perforación (enlaza malacate-cornisa-bloque viajero)
25. Hoyo de encaje (para tubos de perforación)
26. Batidores fijos, fluido de perforación
27. Batidor giratorio, fluido de perforación
28. Múltiple de la tubería del fluido de perforación
29. Tolla (para mezclar fluido de perforación)
30. Canal del descarga, fluido de perforación
31. Tubería de descarga, fluido de perforación
32. Conexiones entre tanques del fluido de perforación
33. Piso de la subestructura de motores
34. Hoyo de descanso (kelly)
35. Gancho polea viajera
36. Manguera del fluido de perforación (empalme junta rotatoria-subiente)
37. Cadena de seguridad de la manguera del fluido de perforación
38. Colisa
39. Encuelladero
40. Tanque de asentamiento del fluido de perforación
41. Cernidor vibratorio de ripio y fluido de perforación
42. Bombas del fluido de perforación
43. Subiente (tubería para mandar fluido de perforación al hoyo)
44. Escalera
45. Subestructura de la cabria
46. Subestructura del malacate
47. Subestructura de la rampa
48. Tubería de succión de fluido de perforación
49. Tanque para succionar fluido de perforación
50. Cámara de amortiguación (fluido de perforación)
51. Junta giratoria
52. Asa de la junta giratoria
53. Bloque viajero
54. Tubería para suministro de agua.

Fuente: Galveston - Houston Co., Petroleum Engineer International, march, 1981.

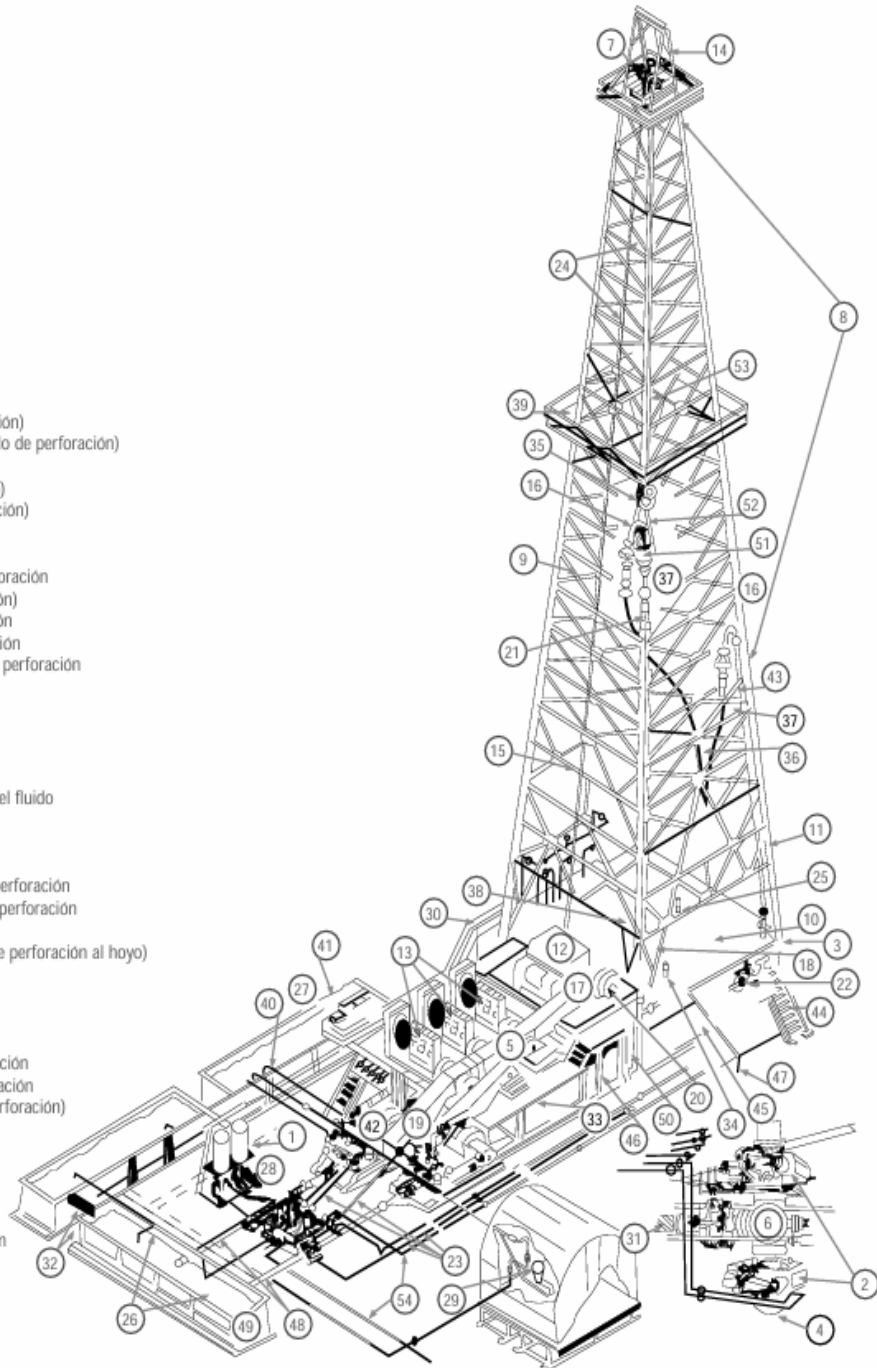


Figura 15. Componentes de perforación
Ffuente: (Barberi, 1998)

2.6 SISTEMA ENERGÉTICO DE LA PERFORACIÓN

2.6.1 Utilización de las fuentes de energía

Las fuentes de energía son elaboraciones naturales más o menos complejas de las que el hombre puede extraer energía para realizar un determinado trabajo u obtener alguna utilidad, y aunque existen innumerables fuentes de energía, en última instancia, toda la energía procede del sol, excepto la energía geotérmica de nuestro planeta Tierra y la energía nuclear de fisión. (Colino Martínez, 2010)

Es necesario distinguir entre aquella que se obtiene directamente de la naturaleza, antes de cualquier transformación por medios técnicos (energía primaria o recursos energéticos) y que, por tanto, corresponde a un tipo de energía almacenada, de aquellas otras que deben sufrir una o varias transformaciones (energía secundaria o energía intermedia), para alcanzar la forma de la energía deseada por el consumidor (energía útil o energía final)(Jarabo et al., 1998)

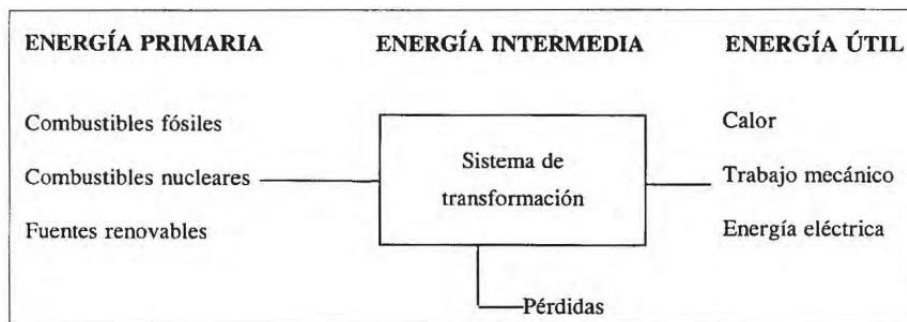


Figura 16. Utilización de la energía
Fuente: (Jarabo et al., 1998)

2.6.2 Energía en la industria petrolera

Los recursos energéticos han sido clave en la historia, definiendo el desarrollo de las sociedades según el tipo de energía y su uso. El carbón, la electricidad y el petróleo transformaron los procesos productivos, estilos de vida y economías en los últimos dos siglos.

En los campos del país, se ha establecido que los principales energéticos utilizados son el diésel (14%) y el gas (10%), con un aporte significativo de energía hidroeléctrica (76%). Además, en ciertos campos se utiliza energía generada a partir de crudo. Según el diagrama de procesos, la gran mayoría de la energía empleada en la producción, más del 95%, corresponde a energía eléctrica.(Rubio, 2022)

2.6.2.1 Red eléctrica

La demanda promedio de potencia que utilizan los campos petroleros, ubicados en la Amazonía ecuatoriana, es de 343 MW (megavatios). De este total, el 30.8% (105,7 MW) corresponde a generación termoeléctrica que utiliza petróleo como combustible, el 34.4% (118,1 MW) pertenece a generación con combustible Diésel cuyas unidades son utilizadas de forma prioritaria en aquellos lugares que no están conectados con el SEIP (Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero) (MIEM, 2023)

2.6.2.2. Generación de motores

Los generadores utilizados en la industria petrolera suelen ser de gran capacidad y están diseñados para soportar condiciones extremas. Los tipos más comunes son:

Generadores Diésel: Predominan por su eficiencia y capacidad para generar grandes cantidades de energía. Son conocidos por su durabilidad y facilidad de mantenimiento.

Generadores de Gas Natural: Utilizados en áreas donde el gas natural es abundante y barato. Estos generadores emiten menos contaminantes y son vistos como una opción más limpia.

2.6.2.3 Gas

Desde el comienzo de las operaciones de la industria petrolera en Ecuador, los esfuerzos de exploración se han centrado principalmente en la búsqueda y extracción de petróleo. No obstante, la mayoría de los yacimientos identificados a lo largo del tiempo son de gas disuelto, lo que requiere la producción simultánea de petróleo y el gas contenido en estos depósitos.

El gas natural puede ser utilizado de diversas maneras, tanto en los campos petroleros para actividades operativas como en la industria para producir derivados. Actualmente, tiene múltiples usos, entre ellos: como combustible, para operar equipos fijos (como compresores y generadores), producir electricidad mediante turbinas de gas, y como materia prima en la industria petroquímica para fabricar una amplia gama de productos.

El gas natural compite con todas las demás formas de energía, a las que puede reemplazar el uso. Sus excelentes cualidades lo han categorizado como el mejor de los combustibles por las siguientes razones: Su combustión es completamente limpia y no deteriora el ambiente; a diferencia de los combustibles sólidos y líquidos, el gas natural permite obtener altas eficiencias de combustión; no contiene azufre, situación que es conveniente ya que no causa problemas de corrosión (Torres & Gallegos, 2002)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo aplicativo, evaluativo y cuantitativo. Se orienta a desarrollar una solución técnica sustentable para el suministro energético del pozo SHSH-248, mediante el dimensionamiento y simulación de un sistema solar fotovoltaico que reemplace la actual fuente basada en combustibles fósiles.

El carácter cuantitativo del estudio se refleja en el tratamiento numérico de variables como irradiancia solar, consumo energético diario, potencia requerida, número de módulos fotovoltaicos, costos y emisiones de CO₂ evitadas. Asimismo, el enfoque evaluativo permite analizar y comparar alternativas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Para sustentar técnicamente la propuesta, se aplicarán herramientas computacionales especializadas, como el Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) para la caracterización solar del sitio, y el software PVsyst para el dimensionamiento, modelado energético y simulación del sistema fotovoltaico, considerando criterios reales de operación y eficiencia.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Según Sousa et al. (2007), el diseño de investigación constituye la guía fundamental para estructurar una investigación científica, permitiendo dar respuesta a diversas interrogantes a través de metodologías coherentes. En este estudio se ha adoptado un diseño no experimental, de tipo transversal y descriptivo, sustentado en un enfoque cuantitativo.

- **Diseño no experimental:** No se manipulan intencionalmente las variables independientes, sino que se observan tal como ocurren en el contexto natural. En

este caso, se analizan los consumos energéticos reales de los pozos y las condiciones solares del sitio para evaluar las alternativas de suministro energético.

- **Diseño Transversal:** Conoce la influencia de las variables independientes (como la radiación solar, demanda energética o tipo de sistema de generación) sobre la variable dependiente, respecto a un tiempo en específico.
- **Diseño descriptivo:** Este diseño permite detallar las características del fenómeno estudiado, fundamentando el análisis técnico, económico y ambiental del sistema fotovoltaico propuesto, en comparación con los métodos convencionales de generación eléctrica en la industria petrolera.

Dado el carácter técnico del trabajo, se utilizarán herramientas computacionales como PVGIS (para la caracterización solar del sitio) y PVSyst (para el modelado, simulación y dimensionamiento del sistema fotovoltaico), asegurando una base metodológica robusta y replicable.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

La población es el conjunto completo de elementos, personas u objetos con características comunes, del cual se pueden extraer muestras para su análisis. Se trata de un universo definido que contiene todas las observaciones relevantes al fenómeno en estudio (Bhayyalal & Kothari, 2022).

En este estudio, la población corresponde al campo Shushufindi en donde se realiza varios procesos de la industria petrolera. En particular, se enfoca en el proceso de perforación de pozos petroleros, actividad que demanda altos consumos energéticos, tradicionalmente cubiertos por fuentes fósiles. Esta investigación considera la posibilidad de incorporar energía solar fotovoltaica como alternativa renovable para cubrir dicha demanda

3.3.2 Muestra

De acuerdo con López Pedro (2004), una muestra representa un subconjunto o parte representativa del universo, seleccionada con base en criterios técnicos o metodológicos para facilitar el análisis detallado del fenómeno estudiado.

La muestra de nuestro estudio será el pozo SHSH-248, perteneciente al campo Shushufindi, el cual fue seleccionado por contar con información técnica suficiente, representatividad operativa y condiciones típicas de consumo energético durante las fases de perforación. Este pozo permitirá desarrollar un análisis técnico, económico y ambiental sobre la viabilidad de integrar un sistema fotovoltaico autónomo en este tipo de operaciones.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El desarrollo de esta investigación se estructuró en cinco fases metodológicas que permitieron la evaluación técnica, económica y ambiental de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en las operaciones de perforación del pozo SHSH-248, ubicado en el campo Shushufindi. Las fases se ejecutaron con base en criterios normativos, simulaciones energéticas y análisis comparativos, utilizando herramientas reconocidas como PVGIS y PVsyst.

3.4.1 Recolección y validación de datos técnicos del pozo SHSH-248

Para llevar a cabo el análisis técnico de viabilidad del sistema fotovoltaico en operaciones de perforación, se consideró el pozo SHSH-248 como caso representativo del campo Shushufindi. La elección se basa en criterios de accesibilidad de datos operativos, características geológicas promedio y su representatividad como pozo de desarrollo.

Los datos técnicos fueron obtenidos y adaptados de fuentes académicas y técnicas, principalmente de documentos internos de Petroamazonas EP disponibles en repositorios institucionales (EPN, 2022). Estos parámetros se resume en la tabla 3, lo que permiten construir un escenario realista para modelar el consumo energético asociado al proceso de perforación y proponer un sistema de abastecimiento con energía renovable.

Esta información servirá como base para las fases siguientes, especialmente el cálculo de la demanda energética, caracterización del recurso solar y simulación del sistema mediante el software PVsyst.

Tabla 3. Parámetros técnicos del pozo SHSH-248

Campo	Shushufindi
Nombre del pozo	SHSH-248
Tipo de pozo	Direccional
Coordenadas de superficie	Norte, Y (m): 9982293.102 Este, X (m): 316582.583
Zona de interes	Tena-U
Profundidad total perforada	9500 ft
Equipo de perforación	Schramm T130XD
Fluido de perforación	Base agua / inhibido con KCl
Tasa de penetración promedio (ROP)	15 ft/h
Potencia estimada del sistema	1000 kW
Horas de perforacion al día	20 horas (promedio, incluyendo conexión, tripping, circulación y perforación continua)
Generador actual utilizado	Diésel 350 kVA / 440 V

Fuente: EPN (2021), Petroamazonas EP.

Elaborado: Ninel Ardila

3.4.2 Caracterización del recurso solar

Es de mucha relevancia conocer el comportamiento solar de la zona geográfica donde se ubica el pozo SHSH-248, a fin de dimensionar con precisión el sistema fotovoltaico. La caracterización se realizó mediante la plataforma Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), que permite obtener datos climáticos y solares históricos validados científicamente.

3.4.2.1 Coordenadas geográficas del pozo

El sitio de estudio, localizado en el campo Shushufindi según información técnica de Petroamazonas EP, presenta las siguientes coordenadas geográficas de superficie:

Coordenadas UTM (PSAD56 Zona 18):

- Norte (Y): 9,982,293.102 m
- Este (X): 316,582.583 m

Coordenadas para el ingreso en la plataforma PVGIS:

- Latitud: -0.3824°
- Longitud: -76.6227°

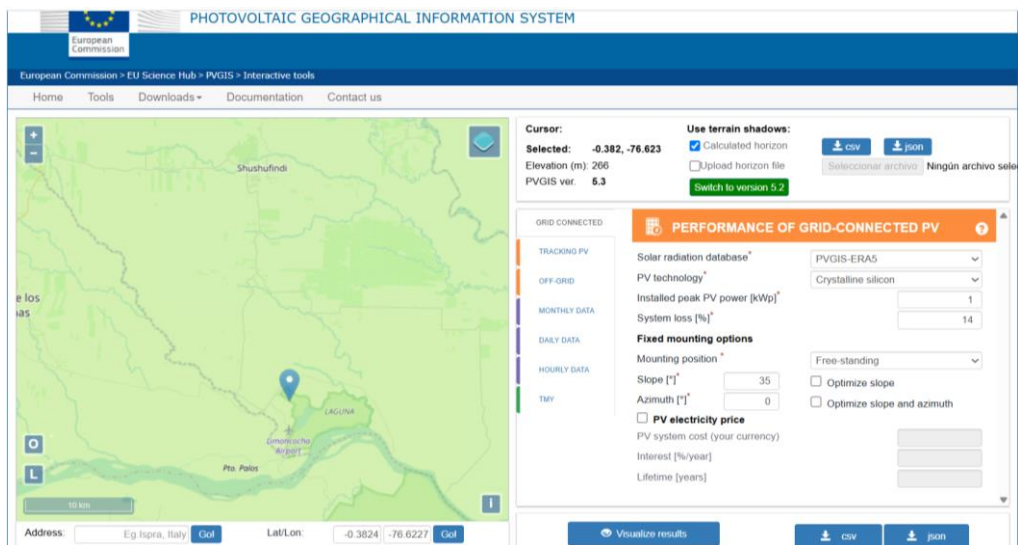


Figura 17. Coordenadas geográficas del pozo SHSH-248
Fuente: (PVGIS, 2025)

3.4.2.2 Irradiación global

Se extrajo del PVGIS la información mensual de irradiancia global horizontal promedio diaria, expresada en kWh/m²/día, lo cual permite estimar la generación solar mensual potencial, tal como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Irradiancia solar promedio diaria mensual en Shushufindi

Mes	Irradiancia (kWh/m²/día)
Enero	5.12
Febrero	4.72
Marzo	3.92
Abril	3.34
Mayo	2.71
Junio	2.37
Julio	2.56
Agosto	3.36
Septiembre	4.31
Octubre	4.80
Noviembre	4.94
Diciembre	5.20
Promedio anual	3.96

Fuente: (PVGIS, 2025)

Esta irradiancia promedio de 3.96 kWh/m²/día será empleada posteriormente para estimar la capacidad instalada del sistema fotovoltaico en función del consumo energético diario del proceso de perforación del pozo.

3.4.2.3 Pérdidas estimadas del sistema

Todo sistema fotovoltaico presenta inevitablemente pérdidas de energía que deben ser consideradas en el dimensionamiento real de la planta. Estas pérdidas provienen de distintos factores asociados tanto al entorno climático como al funcionamiento interno del sistema.

En este estudio se adopta un valor de 14% de pérdidas globales, el cual es ampliamente utilizado como referencia en simulaciones realizadas mediante la plataforma PVGIS, y está respaldado por literatura técnica y recomendaciones de organismos como la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2021).

Este porcentaje contempla pérdidas causadas por:

- Temperatura de operación de los módulos, que reduce su eficiencia conforme aumenta la radiación y el calor ambiente.
- Suciedad, polvo y humedad en la superficie de los paneles, especialmente relevante en ambientes con alta humedad como la región amazónica.
- Pérdidas eléctricas por resistencias en cableado, conexiones, y transformadores.
- Ineficiencias en el inversor y desajustes por desbalance entre strings o sombras parciales ocasionales.
- Pérdidas por desajustes o degradación de los módulos con el paso del tiempo.

3.4.3 Cálculo de la demanda energética en perforación

El proceso de perforación de pozos petroleros implica una significativa demanda energética diaria, derivada de la operación continua de sistemas como bombas de lodo, equipos de rotación, sistemas hidráulicos, tableros de control, sensores, y dispositivos auxiliares. En el caso del pozo SHSH-248, se ha estimado una potencia promedio requerida de 1000 kW, considerando un tiempo operativo de aproximadamente 20 horas al día, lo cual refleja una jornada intensiva típica en este tipo de operaciones, tal como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros para considerar

Parámetros	Descripción
Potencia promedio requerida	1000 kW
Tiempo operativo al día	20 h/día
Tiempo de perforación	32 días
Factor de pérdidas de superficie	15% adicional por componentes eléctricos de superficie

Elaborado: Ninel Ardila

Demanda base diaria:

$$***Demanda energética*** = 1000 kW * 20 h operacionales/día = 20000 kWh/día$$

Sin embargo, esta estimación representa únicamente el consumo directo de los equipos principales. En aplicaciones reales, existen pérdidas inevitables asociadas al cableado, transformadores, variadores de frecuencia, sensores, y otros elementos del sistema eléctrico de superficie. Estas pérdidas se acentúan en entornos industriales con condiciones ambientales adversas, como humedad elevada y temperaturas variables.

Por esta razón, se incorpora un factor correctivo del 15%, valor técnicamente referenciado en literatura especializada para proyectos energéticos en zonas aisladas (IEEE Std 3001.2, IRENA 2022), que permite ajustar el consumo real incluyendo todas las pérdidas mencionadas.

Demanda energética ajustada:

$$***Demanda energética ajustada*** = 20000 kWh/día * 1.15 = 23000 kWh/día$$

Este valor final corresponde a la energía total diaria que deberá ser cubierta por el sistema fotovoltaico propuesto. A partir de esta cifra se dimensionará la capacidad instalada del sistema, incluyendo los componentes de respaldo que aseguren una operación continua durante todo el ciclo de perforación, sin recurrir a fuentes de energía fósil.

Consumo energético total del tiempo de perforación:

$$**23000 kWh/día * 32 días = 736000 kWh**$$

El consumo energético total estimado para los 32 días de perforación es aproximadamente **736000 kWh**, valor que representa la demanda energética que se desea cubrir mediante la integración del sistema fotovoltaico.

3.4.4 Diseño y simulación del sistema fotovoltaico

Dado que la operación de perforación del pozo SHSH-248 tiene una duración programada de 32 días, se torna inviable desde el punto de vista económico y logístico la instalación de una planta fotovoltaica fija con cimentación permanente. En este contexto, se considera técnicamente más adecuada la implementación de un sistema fotovoltaico

móvil o modular, especialmente diseñado para aplicaciones temporales en entornos industriales como los de la industria petrolera.

Estos sistemas están compuestos por paneles solares montados en estructuras portátiles (como contenedores, plataformas sobre ruedas o bastidores plegables), lo que permite su transporte, instalación rápida y reutilización en futuras campañas de perforación. Además, suelen integrar de forma compacta los componentes eléctricos necesarios (inversores, controladores, almacenamiento en baterías), reduciendo tiempos de montaje y costos operativos.

Esta solución ofrece múltiples ventajas:

- Reducción del CAPEX por reutilización del sistema en otros pozos.
- Minimización del impacto ambiental, al no requerir obras civiles permanentes.
- Adaptabilidad logística a entornos remotos o de difícil acceso.
- Viabilidad económica, al distribuir el costo de inversión en varios ciclos operativos.

Según IRENA (2022) y la práctica operacional en campos petroleros remotos, los sistemas solares móviles son una alternativa viable para reemplazar generadores diésel en sitios de perforación temporales, mejorando el desempeño ambiental y reduciendo la huella de carbono.

En este estudio, si bien el diseño energético se realizó como un sistema autónomo convencional para garantizar el cumplimiento de la demanda de 736.000 kWh durante los 32 días de operación, la aplicación práctica contempla su implementación mediante una solución fotovoltaica móvil, cuya capacidad instalada será estimada con base en la irradiancia solar local, los requerimientos diarios, y el respaldo necesario en almacenamiento.

3.4.4.1 Cálculo de la energía solar requerida neta

Considerando los 14% de pérdida del software debido a factores como la temperatura, suciedad, cableado y componentes, según parámetros por PVGIS. Adicionalmente, dado que el sistema fotovoltaico operará de forma autónoma, es necesario incorporar almacenamiento en baterías para garantizar continuidad energética durante períodos sin

irradiancia (noche o días nublados). Para ello, se asume un respaldo equivalente al 40% del consumo diario, lo cual equivale a:

$$\begin{aligned} \textit{energía solar requerida} &= \frac{736000 \textit{ kWh}}{0.86} + (0.40 * 736000 \textit{ kWh}) \\ \textit{energía solar requerida} &= 1150214 \textit{ kWh} \end{aligned}$$

Este valor representa la energía que deberá ser suministrada por el sistema fotovoltaico, considerando tanto las pérdidas del sistema como el respaldo energético necesario para asegurar una operación continua durante toda la campaña de perforación.

3.4.4.2 Cálculo de la energía solar requerida neta

Para determinar la potencia del sistema fotovoltaico que permita cubrir la totalidad de la demanda energética del pozo SHSH-248 durante el periodo de perforación, es necesario relacionar la energía total a generar con las condiciones promedio de radiación solar del sitio.

Como se indicó en el apartado anterior, la energía requerida total asciende a 1150214 kWh, considerando tanto el consumo estimado como las pérdidas del sistema y el respaldo por almacenamiento. Esta energía debe generarse en un intervalo operativo de 32 días, por lo que la potencia instalada se estima a partir del rendimiento diario del sistema, el cual está condicionado por la irradiancia media del lugar 3.96 kWh/m²/día, equivalente a cuántas horas diarias de irradiación (Horas Pico Solar, HPS), en promedio, para el diseño del sistema.

El cálculo de la potencia instalada necesaria se realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \textit{Potencia necesaria} &= \frac{\textit{energía solar requerida}}{\textit{HPS} * 365} \\ \textit{Potencia necesaria} &= \frac{1150214 \textit{ kWh}}{3.96 \textit{ kWh/m}^2/\textit{día} * 32} = 9113.76 \textit{ kWp} \end{aligned}$$

Este resultado indica que se requiere una planta solar con una potencia nominal instalada de aproximadamente 9.11 MWp, capaz de generar la energía suficiente para abastecer todas las necesidades eléctricas del proceso de perforación, incluyendo el respaldo nocturno mediante almacenamiento en baterías.

Este diseño contempla un enfoque autónomo, sin dependencia de redes externas, por lo que la capacidad instalada debe garantizar la generación suficiente incluso en condiciones

de radiación subóptima. Además, el sistema podrá ser trasladado a futuras operaciones, aumentando así la eficiencia económica de la inversión inicial.

3.4.4.3 Dimensionamiento del sistema

A partir de la potencia instalada estimada en 9113.76 kWp , se procedió al dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico mediante la plataforma PVsyst versión 8.0. Se seleccionó la configuración de sistema autónomo con almacenamiento en baterías (off-grid), debido a que la operación no contará con conexión a red ni fuentes fósiles de respaldo durante la campaña de perforación.

No obstante, dada la naturaleza temporal del proyecto, cuyo horizonte operativo es de 32 días, el sistema deberá estar compuesto por unidades modulares y móviles, capaces de ser desmontadas y trasladadas una vez finalizado el periodo de perforación. Esta condición implica una selección técnica de componentes con características específicas: facilidad de transporte, instalación rápida, bajo mantenimiento y compatibilidad con infraestructuras temporales.

Durante la simulación, se ingresaron los parámetros solares obtenidos del sitio del pozo SHSH-248, incluyendo la irradiancia promedio diaria de 3.96 kWh/m^2 , un valor de pérdidas del 14%, y una autonomía de respaldo de 5 a 10 horas mediante banco de baterías.

La Figura 18 muestra la ubicación geográfica del pozo SHSH-248 en PVsyst, situado en el campo Shushufindi, en la región amazónica del Ecuador. Las coordenadas utilizadas para el estudio son latitud -0.3824° y longitud -76.6227° , las cuales sirvieron como referencia para la obtención de datos solares en la plataforma PVGIS.

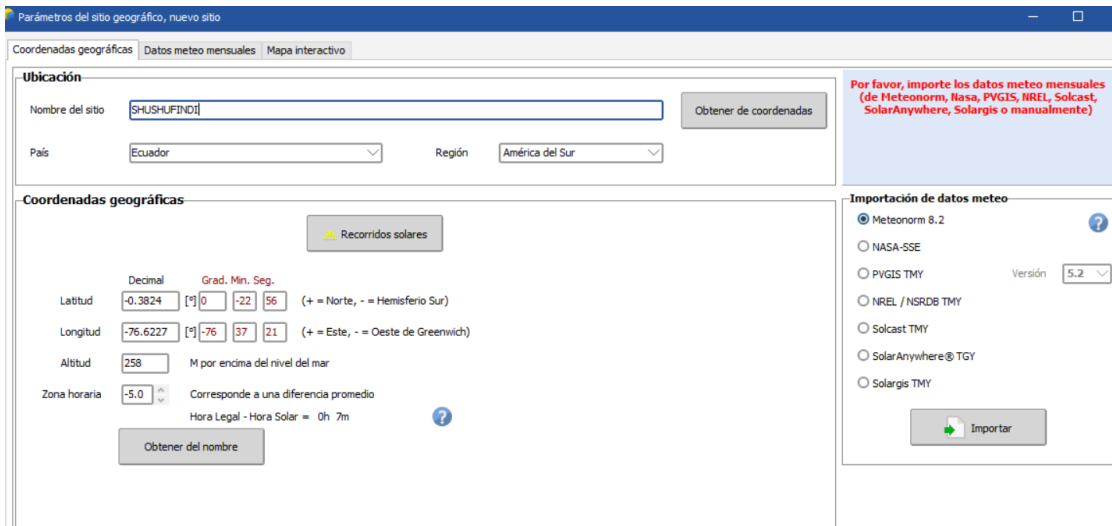


Figura 18. Data del pozo SHSH-248 en el simulador
Fuente: PVsyst, 2025

Tras importar los datos climáticos al simulador, se configuró el sistema con una estructura fija metálica liviana, elegida por su fácil montaje y traslado, ideal para una operación temporal de 32 días. La inclinación de los paneles se fijó en 12° para favorecer el drenaje de lluvia y minimizar suciedad, mientras que el azimut de 0° (orientación norte) permite una óptima captación solar en zonas ecuatoriales.

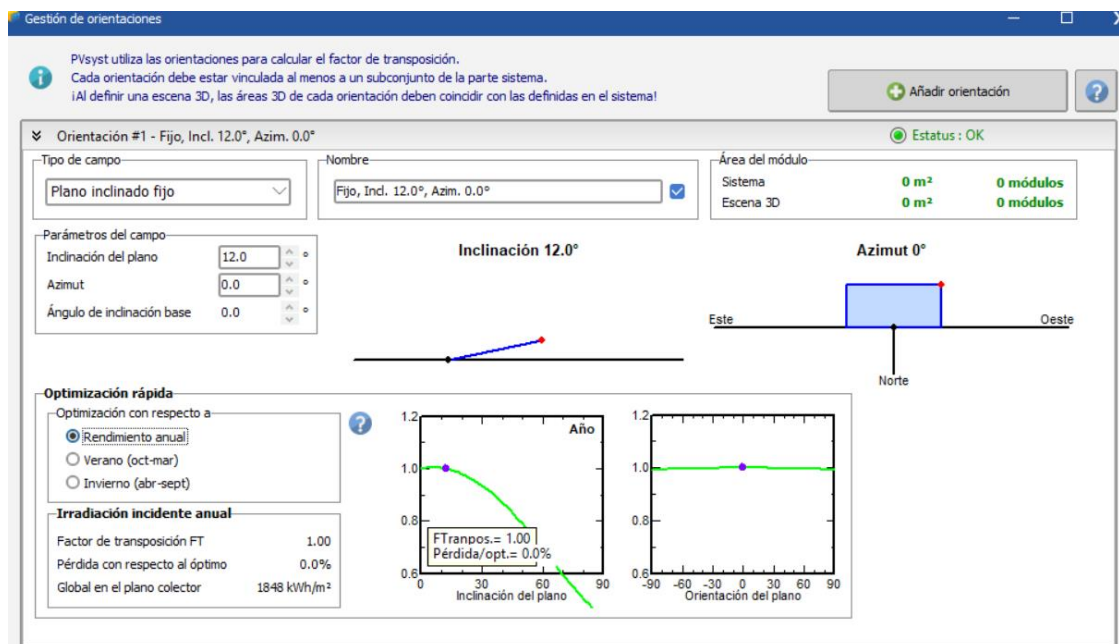


Figura19. Configuración de la orientación del sistema
Fuente: PVsyst, 2025

En este paso, se ingresó la demanda diaria estimada de 23000 kWh, correspondiente al consumo energético del sistema de perforación durante el período de operación. Esta carga se distribuyó de forma constante a lo largo de 20 horas por día, reflejando el régimen

típico de trabajo continuo del equipo en campo. La Figura 20 muestra esta carga como un perfil estable, representativo del requerimiento diario durante los 32 días de actividad.

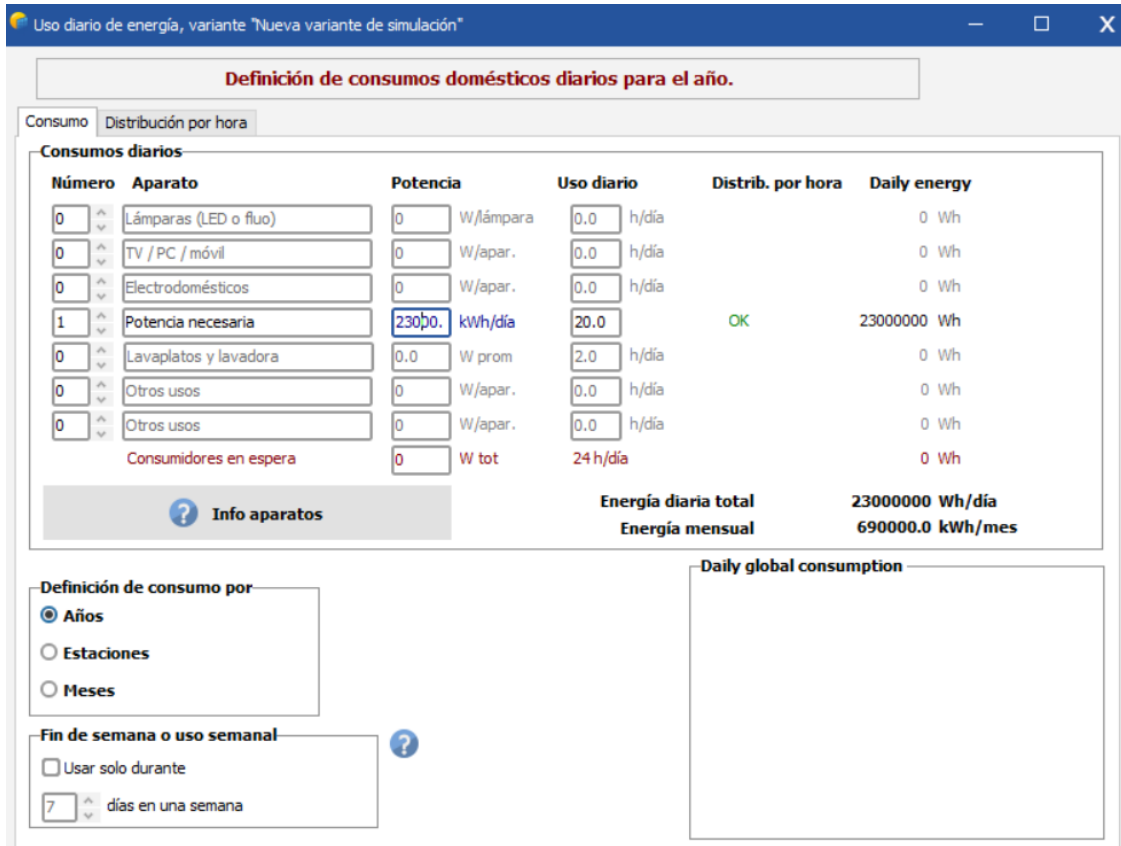


Figura20. Configuración del plano de montaje
Fuente: PVsyst, 2025

Para asegurar el suministro eléctrico durante las noches o en jornadas con baja radiación solar, se incorporó un sistema de almacenamiento basado en baterías de litio (LiFePO₄), específicamente el modelo Magna-UTL-373DC, seleccionado por su eficiencia energética, alta profundidad de descarga, vida útil prolongada (10 a 12 años) y escasos requerimientos de mantenimiento.

Siguiendo los criterios de diseño del software PVsyst, se consideró una autonomía de respaldo de 10 horas (equivalente a 0.42 días), suficiente para cubrir el consumo durante las horas sin generación solar directa. En función de la demanda energética diaria de 23000 kWh, se configuró una capacidad útil de almacenamiento de aproximadamente 13.8 MWh, mediante baterías con tensión operativa de 1331 V y una corriente de 290 Ah por unidad.

La simulación arrojó un total de 270 estantes de almacenamiento, como se ilustra en la Figura 21, lo cual garantiza la operación continua del sistema durante todo el ciclo de

perforación, sin necesidad de recurrir a fuentes fósiles y asegurando una operación limpia y autónoma.

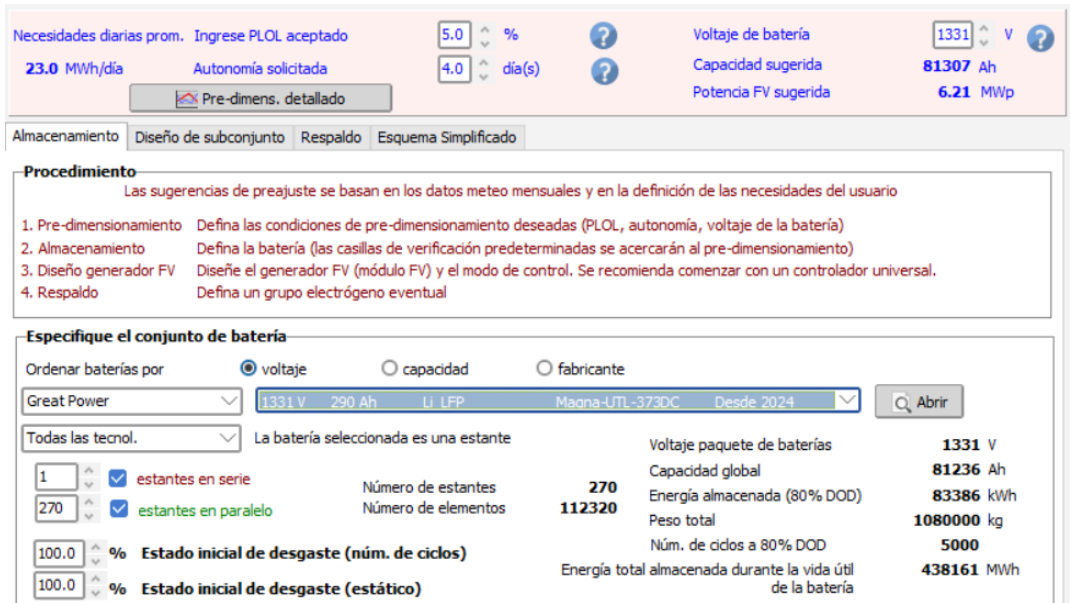


Figura 21. Definición de batería
Fuente: PVsyst, 2025

Para alcanzar una potencia total de 9113.76 kWp, se optó por emplear módulos solares Jinksolar JKM-400M-72H de 400 Wp, tecnología monocristalina, reconocidos por su alta eficiencia y fiabilidad en instalaciones de escala industrial. Estos módulos superan el 20 % de eficiencia y se adaptan bien a condiciones de alta humedad como las del oriente ecuatoriano.

La configuración del sistema incluye 22795 paneles solares, distribuidos en strings de 47 unidades en serie, dando como resultado un total de 485 strings en paralelo (figura 22). Este arreglo fue sugerido por el simulador PVsyst, asegurando una compatibilidad adecuada entre potencia instalada y control del flujo energético.

Para el manejo del sistema, se incluyeron controladores MPPT universales, diseñados para operar con tensiones de entrada cercanas a 1331 V, garantizando una regulación eficiente entre los módulos y el banco de baterías. Esta configuración permite estabilidad operativa durante todo el ciclo de perforación, sin requerir ajustes adicionales.

Cálculo del número de string:

$$\frac{91137600W}{400W * 18serie} = 485 \text{ string}$$

El sistema incorporará 30 controladores MPPT universales, recomendados por PVsyst, con una potencia nominal de 1000 W y tensión de entrada de hasta 1331 V, compatibles con la configuración del banco de baterías y los módulos solares seleccionados.

The screenshot displays the PVsyst software interface for system configuration. Key sections include:

- Needs and Autonomy:** Daily needs of 23.0 MWh/day, autonomy of 4.0 days, and a battery voltage of 1200 V.
- Submodule Design:** Name 'Generador FV', orientation 'Fijo, Incl. 12.0°, Azim. 0.0°', and a planned power of 9113.8 kWp.
- PV Module Selection:** Jinkosolar 400 Wp 35V Si-mono JKM-400M-72H modules, with approximately 22784 modules needed.
- Control and Controller Selection:** Universal controller, MPPT mode, and a 1000 W controller.
- System Design:** 47 modules in series, 485 strings, total of 22795 modules, and a total area of 45864 m².
- Operating Conditions:** Maximum power of 8.3 MW and nominal power of 9.1 MWp.

Figura 22. Configuración del sistema
Fuente: PVsyst, 2025

3.4.5 Evaluación económica

3.4.5.1 Inversión inicial

La inversión inicial representa el capital requerido para implementar un sistema solar fotovoltaico autónomo, diseñado específicamente para cubrir la demanda energética del proceso de perforación del pozo SHSH-248H durante 32 días continuos. Dado el carácter temporal de la operación, todos los elementos seleccionados son portátiles, modulares y reutilizables en futuras campañas. Se han estimado los costos en base a cotizaciones de mercado, fichas técnicas oficiales y proyectos similares (ver anexo A-F).

A continuación, se detalla cada uno de los componentes considerados en el análisis económico:

Tabla 6. Detalle de los componentes de la inversión inicial

Componente	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Módulos FV JinkoSolar JKM-400M-72H (400 Wp)	22795	120	2735400
Baterías LiFePO₄ (Magna UTL-373DC)	270	3400	918000
Controladores MPPT industriales	30	2800	84000
Cableado e interconexión portátil	1 lote	130000	130000
Estructuras metálicas móviles	5699	85	484415
Mano de obra y logística	Global	250000	250000
Total estimado de inversión inicial	—	—	4601815

Elaborado: Ninel Ardila

Esta inversión se considera justificada no solo por la eliminación del consumo de diésel durante la perforación, sino también por la posibilidad de reutilizar el sistema en futuras locaciones, reduciendo significativamente los costos operativos en siguientes campañas y aportando a las metas de sostenibilidad ambiental de la industria.

3.4.5.2 Comparación de costos: generación convencional vs. sistema fotovoltaico móvil

Las operaciones de perforación en áreas sin acceso a la red eléctrica, como el pozo SHSH-248H en Shushufindi, dependen generalmente de generadores diésel. Aunque funcionales, estos sistemas implican altos costos por consumo de combustible, logística y mantenimiento.

Para este análisis económico comparativo, se evaluó el consumo de diésel bajo una eficiencia promedio de 0.27 litros/kWh, valor referencial utilizado en aplicaciones industriales con grupos electrógenos en condiciones reales de operación (ver Anexo F). Asimismo, se adoptó un precio de USD 1.10 por litro, correspondiente al suministro no

subsidiado en zonas operativas remotas, según registros oficiales de ARCERNNR y EP Petroecuador (ver Anexo F).

Generación eléctrica con diésel:

- Consumo específico: 0.27 litros de diésel por kWh generado.
- Precio estimado del diésel: USD 1.10 por litro.
- Costo de mantenimiento: 10% sobre el gasto de combustible (valor conservador respaldado por IRENA).

Cálculos:

Consumo de diésel estimado:

$$\text{Consumo diesel} = 760000 \text{ kWh} * 0.27 \text{ litro/kWh}$$

$$\text{Consumo total de diesel} = 198720 \text{ litros}$$

Costos en combustible:

$$\text{combustible} = 198720 \text{ litros} * 0.27 \text{ litro/kWh}$$

$$\text{combustible} = \text{USD } 218592$$

Costos de mantenimiento:

$$\text{mantenimiento} = \text{USD } 218592 * 0.10$$

$$\text{mantenimiento} = \text{USD } 21859$$

Costo total del sistema diésel:

$$\text{Costo total} = \text{USD } 240451$$

Costo unitario por energía generada con diésel:

$$\text{Costo por kWh} = \text{USD } 240451 / 760000 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo por kWh} = \mathbf{0.3267 \text{ USD/kWh}}$$

Generación eléctrica con Sistema fotovoltaico móvil con baterías

Datos del sistema solar propuesto:

- Inversión inicial (CAPEX): 4601815 USD
- Energía suministrada durante 32 días: 736000 kWh
- Vida útil del sistema: 20 años (considerando reubicaciones)
- Reemplazo de baterías en año 10: 918000 USD
- Reemplazo de controladores en año 10: 84000 USD

- Mantenimiento anual promedio: 2% del CAPEX = 92036 USD/año
- Reutilización del sistema en múltiples proyectos perforadores al año.

Análisis del costo nivelado de energía (LCOE):

$$LCOE = \frac{Inversión\ inicial + \sum_{t=1}^n Costo\ O\&M_t}{\sum_{t=1}^n Energía\ generada_t}$$

LCOE

$$= \frac{Inversión\ inicial + O\&M + (Reemplazo\ por\ 10\ años\ baterías/controladores)}{\sum_{t=1}^n Energía\ generada_t}$$

$$LCOE = \frac{4601815\ USD + (92036\ USD/año * 20\ años) + 1002000}{736000\ kWh * 20\ años}$$

$$LCOE = 0.5057\ USD/kWh$$

Para el caso base, se considera que el sistema fotovoltaico cubrirá únicamente una campaña de 32 días, con una demanda energética total de 736000 kWh. Con base en esta cifra y los costos asociados (CAPEX, reemplazo de baterías y O&M), se obtiene un LCOE estimado de 0.500 USD/kWh.

No obstante, debido a la naturaleza móvil del sistema, es factible su uso en más de un pozo por año. Si se proyecta su reutilización en tres campañas anuales, la energía acumulada en 20 años sería de 44.16 GWh (736,000 kWh × 3 campañas × 20 años). Esto permitiría reducir el LCOE a aproximadamente 0.167 USD/kWh, mejorando de forma significativa la competitividad frente a la generación convencional.

LCOE

$$= \frac{Inversión\ inicial + O\&M + (Reemplazo\ por\ 10\ años\ baterías/controladores)}{\sum_{t=1}^n Energía\ generada_t}$$

$$LCOE = \frac{4601815\ USD + (92036\ USD/año * 20\ años) + 1002000}{736000\ kWh * 3 * 20\ años}$$

$$LCOE = 0.1685\ USD/kWh$$

Esta estimación permite realizar un análisis comparativo más realista de los costos anuales y el ahorro potencial.

3.4.5.3 Ahorro económico

La integración de un sistema fotovoltaico autónomo con almacenamiento en operaciones de perforación representa una oportunidad para reducir significativamente los costos energéticos frente al esquema convencional basado en grupos electrógenos diésel. Aunque la demanda del pozo SHSH-248H corresponde a un consumo puntual de 736000

kWh en 32 días, se ha considerado que este mismo sistema puede ser reutilizado hasta tres veces por año en distintos pozos, lo que permite optimizar la inversión inicial. Comparando este valor con el costo actual de generación diésel (aproximadamente 0.326 USD/kWh), se evidencia un ahorro económico por cada kilovatio-hora generado:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= 736000 \text{ kWh} * (0.3267 \text{ USD/kWh} - 0.1685 \text{ USD/kWh}) * 3 \text{ veces} \\ \text{Ahorro} &= 349305 \text{ USD/año} \end{aligned}$$

Este valor confirma que, bajo un esquema de utilización múltiple, el sistema solar no solo representa una solución técnica sostenible, sino también una alternativa económicamente ventajosa para operaciones de perforación en zonas aisladas como el campo Shushufindi.

3.4.5.4 Evaluación de valor actual neto (VAN)

El valor actual neto permite determinar si los ahorros económicos generados por el sistema fotovoltaico justifican la inversión inicial, descontando dichos beneficios a una tasa representativa del costo del capital en el tiempo. En este análisis se ha considerado:

- Inversión inicial (I) (CAPEX): USD 4601815
- Reemplazo de baterías a los 10 años: USD 918000
- Costo de operación y mantenimiento anual (O&M): USD 92036
- Ahorro económico anual: USD 349305
- Periodo de evaluación (n): 20 años
- Tasa de descuento (r): 5.25%, conforme al promedio referencial del Banco Central del Ecuador para proyectos de mediano y largo plazo.

Se estima el flujo de caja neto anual como la diferencia entre el ahorro por reemplazo del diésel y los costos de operación del sistema fotovoltaico:

$$\begin{aligned} \text{flujo neto anual } (V_t) &= 349305 \text{ USD} - 92036 \text{ USD} \\ V_t &= 257269 \text{ USD/año} \end{aligned}$$

Con estos datos, la ecuación del VAN es:

$$\begin{aligned} \text{VAN} &= -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} \\ \text{VAN} &= -4601815 + \sum_{t=1}^{20} \frac{257269}{(1+0.0525)^t} \\ \text{VAN} &= -1449567 \text{ USD} \end{aligned}$$

3.4.5.5 Evaluación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Esto permite conocer la rentabilidad potencial del proyecto, expresada como la tasa de descuento que iguala el Valor Actual Neto (VAN) a cero. En otras palabras, indica el rendimiento esperado de la inversión considerando los flujos netos de ahorro generados a lo largo del periodo de vida útil del sistema.

La ecuación general del TIR es:

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t}$$

Entonces:

$$0 = -4601815 + \sum_{t=1}^{20} \frac{257269}{(1 + TIR)^t}$$
$$\mathbf{TIR = 1.1\%}$$

3.4.6 Evaluación ambiental

La implementación de un sistema fotovoltaico autónomo con almacenamiento para cubrir la demanda energética del pozo SHSH-248H durante los 32 días de perforación contribuye directamente a la reducción de impactos ambientales asociados al uso de combustibles fósiles, especialmente en zonas sensibles como la región amazónica.

La generación convencional con diésel produce emisiones significativas de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado y ruido, lo cual afecta tanto al ambiente natural como a las condiciones de trabajo del personal operativo. Al reemplazar esta fuente con energía solar, se evita la quema de combustible fósil y, con ello, se reducen sustancialmente los contaminantes atmosféricos y las externalidades ambientales asociadas.

3.4.6.1 Reducción de emisiones de CO₂

Se estima que la generación eléctrica mediante diésel emite en promedio 2.68 kg de CO₂ por litro de combustible quemado, de acuerdo con datos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2022). Tomando como referencia que la demanda energética total del pozo durante su operación es de 736000 kWh, y considerando un consumo específico de 0.27 litros de diésel por kWh, se calcula lo siguiente:

Consumo total de diésel evitado:

$$\text{Consumo total} = 736000 \text{ kWh} * 0.27 \text{ litro/kWh} = 198720 \text{ litros}$$

Emisiones de CO₂ evitadas:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 198720 \text{ litros} * 2.68 \text{ kg de CO}_2/\text{litro}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 533 \text{ ton de CO}_2$$

Este valor representa la cantidad de emisiones que no serán liberadas a la atmósfera gracias al uso del sistema fotovoltaico móvil, lo que constituye un aporte significativo en términos de mitigación del cambio climático y mejora de la huella ambiental del proyecto.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo presenta el análisis integral de los resultados obtenidos tras la simulación, el diseño y la evaluación del sistema fotovoltaico autónomo propuesto para abastecer energéticamente las operaciones de perforación del pozo SHSH-248H, ubicado en el campo Shushufindi. Mediante el uso de herramientas especializadas como PVGIS y PVSyst, se abordaron aspectos técnicos, económicos y ambientales, permitiendo una comparación directa con el escenario convencional basado en generación térmica mediante diésel.

4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA Y ENERGÉTICA

Según los registros de irradiancia solar proporcionados por PVGIS, el sitio presenta una media anual diaria de 3.96 kWh/m²/día, lo que sirvió como base para modelar el sistema fotovoltaico en PVSyst. El sistema fue dimensionado con una capacidad instalada de 9.11 MWp, diseñada para suplir un requerimiento energético de 736,000 kWh durante un periodo operativo de 32 días.

Se optó por una configuración off-grid con almacenamiento en baterías LiFePO₄, capaces de suministrar hasta 10 horas de energía continua, equivalentes a 13.8 MWh útiles. El diseño contempla 22795 módulos Jinko Solar de 400 Wp, organizados en 47 módulos por string y 485 strings en paralelo, integrados con 30 controladores MPPT y 386 estantes de baterías.

Tabla 7. Características técnicas del sistema fotovoltaico

Parámetro	Descripción
Tipo de sistema	Off-grid con almacenamiento
Potencia total instalada	9.11 MWp
Número de módulos	22795 unidades de 400 Wp
Configuración eléctrica	47 en serie, 485 strings en paralelo
Tipo de batería	386 estantes LiFePO ₄
Controladores	30 unidades MPPT universales
Autonomía energética	10 horas (13.8 MWh)
Irradiancia promedio diaria	3.96 kWh/m ² /día
Área estimada requerida	45864 m ²

Elaborado: Ninel Ardila

4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El cálculo del costo nivelado de energía (LCOE) para el sistema diseñado arrojó un valor de 0.500 USD/kWh, considerando la inversión inicial, reposición de baterías y O&M durante un horizonte de 20 años. En contraste, el costo por kWh generado con diésel se estimó en 0.3267 USD/kWh, según un consumo específico de 0.27 litros/kWh y un precio medio de 1.10 USD/litro. Aunque el LCOE solar es inicialmente mayor por tratarse de una sola campaña, este valor se reduce a 0.167 USD/kWh si el sistema se utiliza en tres pozos distintos en el año.

El ahorro por pozo se estimó en 349,305 USD considerando la diferencia de costos energéticos entre ambos sistemas multiplicado por tres campañas anuales.

Tabla 8. Comparación de costos energéticos

Indicador	Diésel	Sistema Solar (1 pozo/año)	Sistema Solar (3 pozo/año)
Energía generada	736000 kWh	736000 kWh	736000 kWh
Costo unitario por kWh	0.3267 USD/kWh	0.5 USD/kWh	0.1685 USD/kWh
Gasto estimado	240451 USD	368000 USD	124016 USD

Elaborado: Ninel Ardila

Con base en el escenario de uso del sistema solar en tres pozos por año, se estimó un Valor Actual Neto (VAN) de -1449567 USD y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 1.1%. Aunque estos indicadores reflejan un bajo retorno económico directo bajo las condiciones actuales, es importante destacar que el sistema representa un paso estratégico hacia la independencia energética y la sostenibilidad operativa.

Análisis de sensibilidad económica

Para explorar la viabilidad del sistema bajo diferentes niveles de uso anual, se realizó un análisis de sensibilidad económica que evalúa cómo varían el VAN y la TIR según la cantidad de campañas de perforación al año en las que se reutiliza el sistema solar:

Tabla 9. Análisis de sensibilidad según número de campañas anuales

Campañas anuales	LCOE (USD/kWh)	VAN (USD)	TIR (%)
1	0.500	-3,754,324	Negativa
2	0.250	-2,101,812	0.6%
3	0.1685	-1,449,567	1.1%
4	0.125	207,128	5.8%
5	0.100	1,643,226	9.7%

Elaborado: Ninel Ardila

Como se observa en la tabla 9, el sistema se vuelve rentable (VAN positivo y TIR mayor al 5.25%) a partir de su uso en al menos cuatro campañas de perforación al año. Este resultado evidencia la importancia de maximizar el uso anual del sistema para mejorar su retorno financiero y justificar la inversión.

Además, el período de recuperación de la inversión (payback simple) se proyecta alrededor del año 18 para el caso de tres pozos anuales, y disminuye a aproximadamente el año 10 cuando se incrementa el uso a cinco campañas por año.

Este análisis permite defender la tesis desde dos ángulos complementarios: técnico y financiero. Por un lado, el sistema solar es viable desde el punto de vista operativo en múltiples campañas; por otro, su uso intensivo permite amortizar la inversión y convertirlo en una solución rentable y sostenible frente a la alternativa basada en combustibles fósiles.

4.3 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Desde el punto de vista ambiental, la implementación del sistema fotovoltaico evita la emisión de aproximadamente 515.2 toneladas de CO₂ durante los 32 días de perforación, al sustituir completamente la generación diésel (tabla 10). Este cálculo se basa en un factor de emisión promedio de 2.68 kg de CO₂/litro, valor comúnmente aceptado por organismos internacionales.

Tabla 10. Emisiones evitadas por campaña de perforación

Indicador	Diésel	Sistema Solar
Emisiones de CO₂ (32 días)	533 toneladas	0 toneladas

Elaborado: Ninel Ardila

Los resultados evidencian que, aunque la inversión inicial para este tipo de sistema puede ser alta, su uso reiterado durante varias campañas anuales incrementa significativamente su rentabilidad y reduce su huella ambiental, posicionándolo como una alternativa viable y sostenible para operaciones de perforación en zonas remotas.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El estudio demostró que es técnica y operativamente factible implementar un sistema fotovoltaico autónomo con baterías para abastecer la demanda energética de una campaña de perforación de 32 días, como la realizada en el pozo SHSH-248H. La configuración propuesta (9.11 MWp, baterías LiFePO₄, 22795 módulos) garantiza el suministro de 736000 kWh de energía, con 10 horas de autonomía diaria.

Bajo un escenario de uso único anual, el sistema presenta un LCOE de 0.500 USD/kWh, superior al costo por generación diésel (0.3267 USD/kWh), lo que genera un VAN negativo. No obstante, al reutilizar el sistema en tres pozos por año, el LCOE se reduce a 0.1685 USD/kWh y se alcanza un ahorro anual de 349305 USD, aunque el VAN (-1449567 USD) y la TIR (1.1%) indican que el proyecto aún no es rentable. La rentabilidad se logra a partir del uso en al menos cuatro campañas anuales.

La sustitución del sistema diésel por energía solar elimina completamente las emisiones asociadas a la generación eléctrica en la perforación. Se evitaría la emisión de 533 toneladas de CO₂ por campaña, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo relativo al cambio climático y la transición energética.

El sistema solar propuesto es modular y transportable, lo cual permite su adaptación a distintas campañas de perforación en zonas remotas. Esto lo convierte en una alternativa replicable para la industria petrolera, especialmente en contextos donde el acceso a la red es limitado o inexistente.

5.2 RECOMENDACIONES

Para asegurar la rentabilidad económica del proyecto, se recomienda planificar logísticamente su utilización en al menos cuatro campañas de perforación por año. Esto optimiza el LCOE y permite alcanzar VAN positivo y TIR superiores al costo de oportunidad del capital.

La eficiencia operativa del sistema dependerá de su capacidad de movilización entre pozos. Se sugiere desarrollar procedimientos estandarizados para el desmontaje, transporte, instalación y puesta en marcha del sistema en nuevos emplazamientos.

Dado que la inversión inicial es elevada, se recomienda explorar mecanismos de financiamiento público-privado o acuerdos con proveedores de servicios energéticos que asuman el CAPEX y compartan los beneficios del ahorro energético.

Para garantizar la eficiencia del sistema y validar las proyecciones económicas y ambientales, se debe establecer un plan de seguimiento de indicadores clave como la generación real, la vida útil de baterías y los costos de mantenimiento.

Esta experiencia debe ser aprovechada como un piloto que permita impulsar normativas, políticas energéticas y estrategias de descarbonización del sector hidrocarburífero, alineadas con los compromisos climáticos nacionales e internacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella. (2005). *Sistemas fotovoltaicos*.
- Almeida, E., Clara ROSA, A., Cristina Lima Sales DIAS, F., Thais Mariotto BRAZ, K., Teixeira Costa LANA, L., Castro do Espírito SANTO, O., & Cristina Bajur SACRAMENTO, T. (2016). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA*.
- Baby, Patrice, ed, Rivadeneira, & Barragan. (2004). *La cuenca oriente : geología y petróleo*.
- Barberi. (1998). *EL POZO ILUSTRADO*.
- Bhayyalal, & Kothari. (2022). *Research Methodology Techniques and Trends*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=C0dpEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=4zMfRi57Sq&sig=rD2JxoKYKWL42GSblOuv3Vo3qEg#v=onepage&q&f=false>
- Colino Martínez. (2010). *FUENTES ENERGÉTICAS*.
- Efecto Invernadero | CIIFEN*. (2022). <https://ciifen.org/effecto-invernadero/>
- Fuquen, & Rodríguez. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-FINANCIERA DEL USO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLE EN LA GENERACIÓN DE VAPOR*.
- García. (2015). *PERFORACIÓN DIRECCIONAL PARA POZOS DE HIDROCARBUROS*.
- González, & Gutiérrez. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN DE LOS CAMPO AUCA,SACHA Y SHUSHUFINDI DEL CENTRO ORIENTE ECUATORIANO PARA DEFINIR LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DEL PROCESO DE PERFORACIÓN*.
- Habiba, Dokken, Suárez, & Watson. (2002). *IPCC CAMBIO CLIMATICO Y BIODIVERSIDAD*.

- Jaillard. (1997). *síntesis estratigráfica y sedimentológica del cretáceo y Paleógeno de la cuenca oriental del Ecuador.*
- Jarabo, F., Celestino, F., Domínguez, P., Elortegui, N., José, E., González, F., Juan, J., Hernández, M., Domínguez, M. P., Sanz, M., De, M., Peña, L. A., Toche, A. A., Francisco, P., & Friedrich, J. (1998). *EL LIBRO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.*
- Jazmín, C., & Albán, M. (2019). *DESARROLLO DEL MAPA DE PRESIONES DE LA ARENA "T" DEL CAMPO SHUSHUFINDI MEDIANTE EL ANÁLISI DE PRUEBAS DE PRESIÓN.*
- Jofra. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN.*
- Lamigueiro, O. P. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica.*
<https://www.researchgate.net/publication/249012821>
- Martínez, & Fernández. (2004). *Cambio climático: una visión desde México.*
- Merino, L. (2012). *Las energías renovables.*
- MIEM. (2023). *Energía eléctrica para su operación en la Amazonía con equipos propios – EP PETROECUADOR.* <https://www.eppetroecuador.ec/?p=17468>
- Miguel A. Laborde, & Roberto J.J. Williams. (2016). *Energía Solar.*
www.ancefn.org.ar
- NAP. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica.* www.coit.es
- Naranjo. (2022). *GUIA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA EL AUTOABASTECIMIENTO DE UNIDADES HABITACIONALES.*
- PVGIS. (2025). *PVGIS.* https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- Rubio. (2022). *ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA CAMPOS PETROLEROS EN EL ECUADOR BASADA EN LA ISO 50001.*

- Rufes Martínez. (2010). *Energía solar térmica : técnicas para su aprovechamiento*.
https://books.google.com/books/about/Energia_Solar_T%C3%A9rmica.html?hl=es&id=fllc3xuVIUYC
- Ruggerio, C. A. (2021). Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. *Science of The Total Environment*, 786, 147481.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.147481>
- Santos, D. B. (2014). *Introducción a la Energía Fotovoltaica*.
- Torres, & Gallegos. (2002). *CAPTACION DEL GAS NATURAL PRODUCIDO EN UN CAMPO PETROLERO DEL ORIENTE ECUATORIANO PARA SU UTILIZACION COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA*.
- Tumbaco. (2023). *GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID EN LA ZONA RURAL DE GUAYAQUIL*.
- Vázquez, & López. (2010). *ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE POZOS MULTILATERALES VS POZOS CONVENCIONALES*.
- Wang, J., O'Donnell, J., & Brandt, A. R. (2017). Potential solar energy use in the global petroleum sector. *Energy*, 118, 884–892.
<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.10.107>
- Zaldumbide, & Benavides. (2009). *OPTIMIZACIÓN DE LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE LA ESTACIÓN SHUSHUFINDI CENTRAL PARA LAS ACTUALES CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL CAMPO*.

ANEXOS

ANEXO A. Ficha técnica del panel solar.

www.jinkosolar.com



Cheetah 72M

380-400 Watt

MONO PERC MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:20015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory

IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product

PERC

KEY FEATURES



- 5 Busbar Solar Cell**
 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Efficiency**
 Higher module conversion efficiency (up to 20.17%) benefit from Passivated Emitter Rear Contact (PERC) technology.
- PID Resistance**
 Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.
- Low-light Performance:**
 Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environment.
- Severe Weather Resilience**
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- Durability Against Extreme Environmental Conditions**
 High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

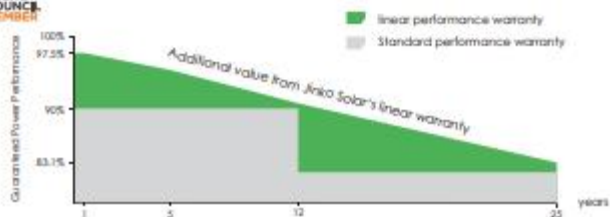
LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty

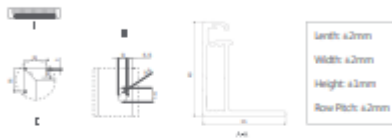
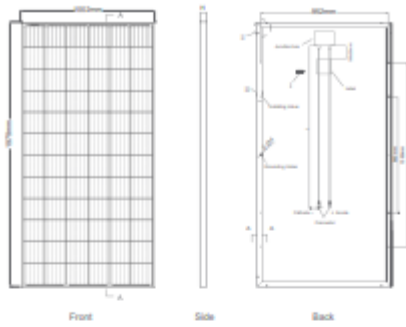


Nomenclature: JKMxxxM-60/72H-V

Code	Cell	Code	Certification
null	Full	null	1000V
H	Half	V	1500V



Engineering Drawings

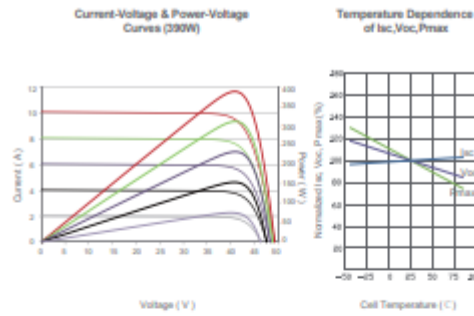


Packaging Configuration

(Two pallets=One stack)

27pcs/pallet, 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC	158.75×158.75mm
No. of cells	72	(6×12)
Dimensions	1979×1002×40mm	(77.91×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg	(49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	
Frame	Anodized Aluminium Alloy	
Junction Box	IP67 Rated	
Output Cables	TÜV 1×4.0mm ² , Length 900/1200mm or Customized Length	

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM380M-72		JKM385M-72		JKM390M-72		JKM395M-72		JKM400M-72	
	JKM380M-72-V	JKM385M-72-V	JKM385M-72-V	JKM385M-72-V	JKM390M-72-V	JKM390M-72-V	JKM395M-72-V	JKM395M-72-V	JKM400M-72-V	JKM400M-72-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	380Wp	288Wp	385Wp	290Wp	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.5V	38.8V	40.8V	38.8V	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.8V
Maximum Power Current (Imp)	9.39A	7.42A	9.44A	7.48A	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A
Open-circuit Voltage (Voc)	48.9V	47.5V	49.1V	47.7V	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V
Short-circuit Current (Isc)	9.75A	7.88A	9.92A	7.95A	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A
Module Efficiency STC (%)	19.16%		19.42%		19.67%		19.92%		20.17%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.37%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📏 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📏 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

Anexo B.- Ficha técnica de baterías

GREAT POWER



Magna-UTL-373DC

- DC outdoor liquid-cooled battery system
- Suitable for both of Utility and C&I applications
- High safety: one rack with one control, no circulating current, capable of preventing DC short circuit current
- Long cycle life: inhomogeneity<1.6°, allowing cells cycle life to increase by 30%
- Non-uniformity 95% standardized
- Modular design for easy combination, installation and maintenance
- Easy to parallel allowing flexible site layout

Outside Battery System

Product Type	Magna-UTL-373
Product Category	DC Outdoor Liquid-cooled Battery System
Rated Energy	372.7KWh@0.5C
Rated Power	180 KW
Rated Output Voltage	900-1500 Vd.c.
Cell Capacity	280 Ah
Cell Type	LFP
Configuration	1P 416S
Maximum Discharge Current	173 A
Maximum Charging Current	173 A
Charging Temperature	0-45°C
Discharging Temperature	-20-50°C
Communication Port	CAN, 485
Cooling Method	Liquid Cooling
Protection Level	IP55
Functional Safety	Class B
Product Weight	≈4000 Kg
Dimensions	W1300*D1300*H2355 mm
Applications	UTILITY, C&I
Testing&Certification	

Anexo C.- Ficha técnica de controlador.

BlueSolar Charge Controllers MPPT 100/30 & 100/50

www.victronenergy.com



BlueSolar Charge Controller
MPPT 100/50

Ultrafast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30% compared to PWM charge controllers and by up to 10% compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP. The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 98%.
The full output current up to 40°C (104°F).

Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm (see the software page on our website), and eight pre-programmed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

Extensive electronic protection

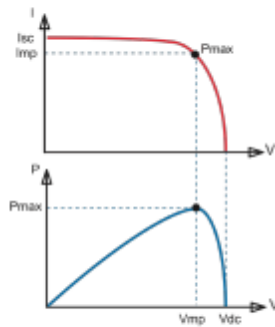
Over-temperature protection and power derating when temperature is high.
PV short circuit and PV reverse polarity protection.
PV reverse current protection.

Internal temperature sensor

Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

Real-time data display options

- ColorControl GX or other GX devices: see the **Venus** documents on our website.
- A smartphone or other Bluetooth-enabled device: VE.Direct Bluetooth Smart dongle needed.



Maximum Power Point Tracking

Upper curve:

Output current (I) of a solar panel as function of output voltage (V).
The Maximum Power Point (MPP) is the point Pmax along the curve where the product I x V reaches its peak.

Lower curve:

Output power $P = I \times V$ as function of output voltage.

When using a PWM (not MPPT) controller the output voltage of the solar panel will be nearly equal to the voltage of the battery, and will be lower than Vmp.

BlueSolar Charge Controller	MPPT 100/30	MPPT 100/50
Battery voltage	12/24V Auto Select	
Rated charge current	30A	50A
Nominal PV power, 12V 1a,b)	440W	700W
Nominal PV power, 24V 1a,b)	880W	1400W
Maximum PV open circuit voltage	100V	100V
Max. PV short circuit current 2)	35A	65A
Maximum efficiency	98%	98%
Self-consumption	12V: 30 mA 24V: 20 mA	
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4V / 28,8V (adjustable)	
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8V / 27,6V (adjustable)	
Charge algorithm	multi-stage adaptive	
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C	
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)	
Humidity	95%, non-condensing	
Data communication port	VE.Direct See the data communication white paper on our website	
ENCLOSURE		
Colour	Blue (RAL 5012)	
Power terminals	16 mm ² / AWG6	
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)	
Weight	1,3 kg	1,3 kg
Dimensions (h x w x d)	130 x 186 x 70 mm	130 x 186 x 70 mm
STANDARDS		
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2	
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power.		
1b) PV voltage must exceed Vbat + 5V for the controller to start. Thereafter minimum PV voltage is Vbat + 1V.		
2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.		

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com

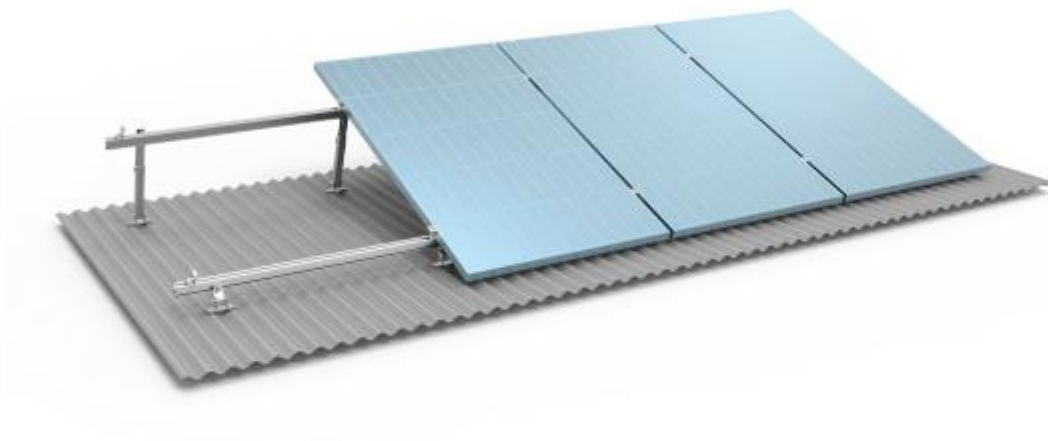


Anexo D. Ficha técnica de soportes de módulos.

ROOF SYSTEMS

ADJUSTABLE TILT MOUNT

The adjustable tilt roof mounting system will easily fit different flat roof or open terrain applications, due to its variable tilt angle and footing options for both roof clamp and roof penetration. The system can be used as fixed tilt or adjustable tilt, allows project-specific adjustments and solar power output optimization. The innovative design and high pre-assembly eliminate the need for on-site cutting, welding and enable quick and easy PV module installation.



Technical data

- Application: Flat roof
- Tilt angle: Fixed, 10-15°, 15-30°, 30-60°
- Roof slope: Up to 45°
- Building height: Up to 20 m
- Wind speed: Up to 88 m/s
- PV module: Framed
- Module orientation: Landscape, portrait
- Material: Anodized aluminum 6005 T5 stainless steel 304, 410
- Warranty: 12 years



Anexo E. Datos técnicos de eficiencia de generadores diésel en aplicaciones de potencia media

DIESEL GENERATOR SET



DE110E2

EU stage II emissions compliant.

Image shown may not reflect actual package

Output Ratings		
Generator Set Model - 3 Phase	Prime*	Standby*
400/230 V, 50 Hz	100.0 kVA 80.0 kW	110.0 kVA 88.0 kW
480/277 V, 60 Hz	113.0 kVA 90.4 kW	125.0 kVA 100.0 kW

* Refer to ratings definitions on page 4.
Ratings at 0.8 power factor.

Technical Data		
Engine Make & Model:	Cat® C4.4	
Generator Model:	LC3114F	
Control Panel:	EMCP 4.1	
Base Frame Type:	Heavy Duty Fabricated Steel	
Circuit Breaker Type:	3 Pole MCCB	
Frequency:	50 Hz	60 Hz
Engine Speed: RPM	1500	1800
Fuel Tank Capacity: litres (US gal)	250 (66.0)	
Fuel Consumption, Prime: l/hr (US gal/hr)	21.7 (5.7)	25.7 (6.8)
Fuel Consumption, Standby: l/hr (US gal/hr)	22.8 (6.0)	28.5 (7.5)

DIESEL GENERATOR SET



Engine Technical Data

Physical Data		50 Hz		60 Hz	
Manufacturer:	Caterpillar				
Model:	C4.4				
No. of Cylinders/Alignment:	4 / In Line				
Cycle:	4 Stroke				
Induction:	Turbocharged Air To Air Charge Cooled				
Cooling Method:	Water				
Governing Type:	Electronic				
Governing Class:	ISO 8528 G2				
Compression Ratio:	18.3:1				
Displacement: l (cu.in)	4.4 (268.5)				
Bore/Stroke: mm (in)	105.0 (4.1)/127.0 (5.0)				
Moment of Inertia: kg m ² (lb. in ²)	1.51 (5160)				
Engine Electrical System:					
-Voltage/Ground:	12/Negative				
-Battery Charger Amps:	85				
Weight: kg (lb) - Dry:	500 (1103)				
- Wet:	530 (1166)				
Lubrication System					
Oil Filter Type:	Spin-On, Full Flow				
Total Oil Capacity: l (US gal):	8.0 (2.1)				
Oil Pan: l (US gal):	7.0 (1.8)				
Oil Type:	API CC/CE				
Cooling Method:	Water				
Performance					
		50 Hz	60 Hz		
Engine Speed: RPM		1500	1800		
Gross Engine Power: kW (hp)					
-Standby:		103.0 (138.0)	117.5 (158.0)		
-Prime:		93.8 (126.0)	106.8 (143.0)		
BMCP: kPa (psi)					
-Standby:		1873.0 (271.7)	1781.0 (256.3)		
-Prime:		1702.0 (246.3)	1619.0 (234.8)		
Regenerative Power: kW		8.2	13.8		
Fuel System					
Fuel Filter Type:	Replaceable Element				
Recommended Fuel:	Class A2 Diesel or BSEN590				
Fuel Consumption: l/hr (US gal/hr)					
		110% Load	100% Load	75% Load	50% Load
Prime					
50 Hz		23.8 (6.3)	21.7 (5.7)	16.5 (4.4)	11.7 (3.1)
60 Hz		28.5 (7.5)	25.7 (6.8)	19.6 (5.2)	14.1 (3.7)
Standby					
50 Hz		23.8 (6.3)	18.0 (4.8)	12.8 (3.3)	
60 Hz		28.5 (7.5)	21.5 (5.7)	15.2 (4.0)	
<small>(Based on diesel fuel with a specific gravity of 0.85 and conforming to ISO2859, Class A2)</small>					
Exhaust System					
		50 Hz	60 Hz		
Silencer Type:	Industrial				
Silencer Model & Quantity:	EXSY1 (1)				
Pressure Drop Across Silencer System: kPa (in. Hg)		2.10 (0.820)	3.56 (1.051)		
Silencer Noise Reduction Level: dB		22	17		
Max. Allowable Back Pressure: kPa (in. Hg)		18.0 (5.2)	15.0 (4.4)		
Exhaust Gas Flow: m ³ /min (cfm)					
-Standby:		16.3 (578)	20.4 (730)		
-Prime:		15.2 (537)	18.4 (650)		
Exhaust Gas Temperature: °C (°F)					
-Standby:		543 (1009)	574 (1065)		
-Prime:		514 (957)	517 (963)		
Air System					
		50 Hz	60 Hz		
Air Filter Type:	Replaceable Element				
Combustion Air Flow: m ³ /min (cfm)					
-Standby:		6.3 (221)	7.8 (275)		
-Prime:		6.0 (212)	7.8 (274)		
Max. Combustion Air Intake Restriction: kPa (in. H ₂ O)		8.0 (32.1)	8.0 (32.1)		
Radiator Cooling Air Flow: m ³ /min (cfm)		187.8 (6632)	244.2 (8624)		
External Restriction to Cooling Air Flow: Pa (in. H ₂ O)		125 (0.5)	125 (0.5)		
Cooling System					
		50 Hz	60 Hz		
Cooling System Capacity: l (US gal)		17.5 (4.6)	17.5 (4.6)		
Water Pump Type:	Centrifugal				
Heat Rejected to Water & Lube Oil: kW (Btu/min)					
-Standby:		50.7 (2883)	64.0 (3640)		
-Prime:		46.1 (2623)	57.7 (3281)		
Heat Radiation to Room: Heat radiated from engine and alternator kW (Btu/min)					
-Standby:		15.3 (870)	17.7 (1007)		
-Prime:		12.7 (729)	15.7 (892)		
Radiator Fan Load: kW (hp)		2.8 (3.8)	4.8 (6.4)		
<small>Cooling system designed to operate in ambient conditions up to 50°C (122°F). Contact your local Cat dealer for power ratings at specific site conditions.</small>					

LEHED306-00

Anexo F. precios de comercialización del diésel 2 y premium.

PRODUCTO	Unidad de medida	PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 15% del I.V.A.) Expresado en US\$
SECTOR PETROLERO MINERO		
ABSORVER PETROLERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL 1 PETROLERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL 2 PETROLERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL PREMIUM PETROLERO	Galones	\$ 2.834161
FUEL OIL PETROLERO	Galones	\$ 1.606043
GASOLINA EXTRA PETROLERO	Galones	\$ 2.655228
EXTRA CON ETANOL PETROLERO	Galones	\$ 2.655228
GASOLINA SUPER PREMIUM 95 PETROLERO	Galones	\$ 2.822367
SECTOR INDUSTRIAL		
DIESEL 1 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.435593
DIESEL 2 INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.435593
DIESEL PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.834161
EXTRA INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.655228
EXTRA CON ETANOL INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.655228
SUPER PREMIUM 95 PREMIUM INDUSTRIAL	Galones	\$ 2.822367
FUEL OIL No. 6 INDUSTRIAL	Galones	\$ 1.603839
FUEL OIL LIVIANO	Galones	\$ 1.606043
GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) INDUSTRIAL	Kilogramos	\$ 0.921223
GAS NATURAL	Millón de BTUs	\$ 4.336075
GAS NATURAL LICUADO	Millón de BTUs	\$ 9.367813
RESIDUO INDUSTRIAL	Galones	\$ 0.910468
MINERAL TURPENTINE	Galones	\$ 1.924645
RUBBER SOLVENT	Galones	\$ 1.859459
CEMENTOS ASFALTICOS NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.460000
ASFALTOS INDUSTRIALES NO OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.460000
CEMENTOS ASFALTICOS OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.306475
ASFALTOS INDUSTRIALES OBRA PUBLICA	Kilogramos	\$ 0.306475
GASOLINA EXTRA CAMARONERO	Galones	\$ 2.655228
GASOLINA EXTRA CON ETANOL CAMARONERO	Galones	\$ 2.655228
DIESEL 2 CAMARONERO	Galones	\$ 2.435593
DIESEL PREMIUM CAMARONERO	Galones	\$ 2.834161
SECTORES ELÉCTRICO Y OTROS		
DIESEL 2 / PREMIUM ELÉCTRICO	Galones	\$ 0.924830
FUEL OIL 4 ELECTRICO LIBERTAD	Galones	\$ 0.552000
CRUDO REDUCIDO ELECTRICO	Galones	\$ 0.375773
FUEL OIL 6 ELECTRICO	Galones	\$ 0.419590