



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

TEMA:

**“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE
ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZACIÓN DEL
SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL
CAMPO AUCA SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61.”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ

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:
ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA
INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL CAMPO AUCA
SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61.**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**AUTOR:
KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ**

**TUTOR:
ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc.**

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING. MARLELIS GUTIÉRREZ, PHD.
DIRECTOR DE CARRERA

ING. SADI ITURRALDE, MSC.
DOCENTE ESPECIALISTA

ING. ISRAEL YAGUAL, MSC.
DOCENTE TUTOR

ING. CARLOS MALAVE; MSC.
DOCENTE DE LA UIC

ING. DAVID VEGA
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fuerza, sabiduría y salud para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

Agradezco profundamente mi padre **Carlos Ordoñez**, por su sacrificio para brindarme una educación, amor incondicional y apoyo constante, este logro no habría sido posible sin su ayuda.

A mi madre **Sonia Ordoñez** por cada palabra de aliento y consejo que me ayudo en momento difíciles y me motivo a seguir adelante dando el mejor de mis esfuerzos.

A mis hermanos por el apoyo y porque siempre han creído en mí incluso cuando yo he dudado.

A mis amigos y colegas por compartir un lindo y corto viaje en mi vida universitaria.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL CAMPO AUCA SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61.” elaborado por el estudiante **KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ**, egresada de la carrera de Ingeniería en Petróleo , 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 3 % de la valoración permitida.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS DE GRADO-KATTY ORDOÑEZ

3%
Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
1% Idiomas no reconocidos
< 1% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: TESIS DE GRADO-KATTY ORDOÑEZ.docx
ID del documento: f54d06265ce499b9d7d4196d3a085f49b5bdbe4c
Tamaño del documento original: 2,49 MB

Depositante: Israel Isidro Yagual Pita
Fecha de depósito: 18/6/2025
Tipo de carga: Interface
fecha de fin de análisis: 18/6/2025

Número de palabras: 3883
Número de caracteres: 26.280

FIRMA DEL TUTOR



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

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA

C.I.: 0927362988

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL CAMPO AUCA SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61.**”, 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,



KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ

Autor de Tesis

C.I. 0928211838

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 “**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL CAMPO AUCA SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61.**” previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleo elaborado por el Sr/a. **KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ**, egresada de la carrera de Ingeniería en Petróleo , 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 ISIDRO YAGUAL PITA
TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGIA

Certificado de gramática

Santa Elena, 18 de junio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magíster 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 **“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL CAMPO AUCA SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61”** elaborado por la estudiante **KATTY JULEISY ORDOÑEZ ORDOÑEZ** 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

Expreso mis más profundos agradecimientos a Dios fuente de sabiduría y fortaleza, a los docentes y personal académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por su constante disposición para ayudar y contribuir con sus conocimiento y experiencias a nuestra formación personal.

No obstante, también agradecer a mi familia por el apoyado día a día incondicionalmente en esta gran etapa de nuestra vida.

A mis amigos y compañeros que compartieron largas horas de estudio y trabajo en todo este transcurso, Gracias por su compañía y por hacer este viaje mucho más ameno.

Finalmente, y no menos importantes a mi tutor el Ing. Israel Isidro Yagua Pita por brindarme todo el apoyo, paciencia invaluable durante el desarrollo de esta investigación.

Y a mí misma, por no rendirme ante los desafíos y creer en mi capacidad de alcanzar mis metas.

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vi
AGRADECIMIENTOS.....	viii
CONTENIDO	ix
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS.....	xvi
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.....	21
1.4.1 Objetivo General.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos	21
1.5 ALCANCE.....	21
1.6 VARIABLES	22

1.6.1 Variable Dependiente	22
1.6.2 Variables Independientes.....	22
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 DESCRIPCIÓN DEL CAMPO.....	23
2.1.1 Campo Auca.....	23
2.1.2 Campo Auca Sur.....	23
2.1.3 Estructura.....	25
2.1.4 Estratigrafía.....	25
2.1.4.1 Características litológicas y ambientes sedimentarios de los reservorios del campo.	26
2.1.4.1.1 Formación Hollín	26
2.1.4.1.2 Napo “T”.....	26
2.1.4.1.3 Napo “U”	27
2.1.5 Descripción de las Propiedades de los Fluidos y de la Roca	29
2.1.6 RESERVAS	30
2.1.6.1 Reservas probadas.....	30
2.1.6.2 Reservas probables.....	30
2.1.6.3 Reservas posibles.....	30
2.1.6.4 Reservas remanentes	30
2.1.7 Historial de Presiones.....	32
2.1.8 Mecanismo de producción	32
2.1.9 Estado actual del campo y de los pozos	32
2.2 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL MEDIANTE BOMBEO ELÉCTRICOSUMERGIBLE.....	33

2.2.1 Descripción General del Sistema.....	33
2.2.2 Parámetros del Sistema	34
2.2.3 Ventajas y Desventajas del Sistema BES	34
2.2.4 Componentes del sistema	35
2.2.4.1 Componentes de fondo	35
2.2.4.2 Componentes de superficie	39
2.2.5 Tipos de energía del sistema.	41
2.3 ENERGÍA SOLAR.....	42
2.3.1 Radiación solar	42
2.3.2 Irradiancia e Irradiación	44
2.3.3 Sistema Fotovoltaico	44
2.3.4 Paneles solares	46
2.3.5 Características eléctricas de un panel	48
2.3.6 Efecto fotovoltaico	49
2.3.7 Efecto de las condiciones meteorológicas	50
2.3.8 Aplicación solar en la industria petrolera	50
CAPITULO III: METODOLOGÍA	51
3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	51
3.1.1 Tipo de investigación.....	51
3.1.2 Enfoque de la investigación	51
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	52
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	52
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	53

3.4.1 Recolección y validación de datos de los pozos representativos.....	53
3.4.2. Caracterización del recurso solar en el área del campo.....	55
3.4.2.1 Coordenadas geográficas del campo.....	55
3.4.2.2 Irradiancia global	55
3.4.2.3 Temperatura ambiente	56
3.4.2.4 Pérdidas estimadas del sistema	57
3.4.3 Cálculo de la demanda energética del sistema BES	58
3.5.4 Diseño y simulación del sistema fotovoltaico	59
3.5.4.1 Cálculo de la energía solar requerida neta	60
3.5.4.2 Cálculo de la capacidad instalada necesaria.....	60
3.5.4.3 Dimensionamiento del sistema	61
3.4.5 Evaluación económica y ambiental.....	67
3.4.5.1 Inversión inicial	67
3.4.5.2 Comparativo Económico: Generación por Combustibles Fósiles vs. Sistema Fotovoltaico	68
3.4.5.3 Ahorro económico	70
3.4.5.4 Evaluación del valor Actual Neto (VAN).....	71
3.4.5.5 Evaluación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	72
3.4.6.1 Reducción de emisiones de CO ₂	72
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA Y ENERGÉTICA	73
4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA	76
4.3 EVALUACIÓN AMBIENTAL	77

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1 CONCLUSIONES.....	79
5.2 RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicacion del Campo Auca.	24
Figura 2. Columna estratigráfica.	28
Figura 3. Componentes del sistema.....	35
Figura 4. Sensor.....	36
Figura 5. Motor.....	37
Figura 6. Bomba.....	38
Figura 7. Cable eléctrico de potencia.	38
Figura 8. Caja de venteo.....	39
Figura 9. Transformadores.	40
Figuro 10. Variador de frecuencia.	41
Figura 11. Componentes de la radiación solar.	43
Figura 12. Esquema unifilar de una instalación fotovoltaica. Instalación conectada a red.	45
Figura 13. Esquema unifilar de una instalación fotovoltaica. Instalación autónoma....	45
Figura 14. Ejemplo de configuración de las células fotovoltaicas de un panel de 18 V y 3A.	49
Figura 15. Ejemplo de configuraciones de células fotovoltaicas de un panel de 18 V y 6A.	49
Figura 16. Valor de pérdidas estimadas del sistema fotovoltaico en PVGIS.....	58
Figura 17. Tipo de diseño y simulación.	61
Figura 18. Ingreso de datos geográfico del campo Auca Sur.....	62
Figura 19. Orientación del sistema.....	63

Figura 20. Definición del consumo diario.....	64
Figura 21. Definición de batería.....	65
Figura 22. Diseño del sistema	66
Figura 23. Irradiancia mensual promedio del campo Auca Sur.....	75
Figura 24. Diseño esquemático del sistema modelado en PVsyst.....	75
Figura 25. Comparación gráfica entre emisiones de CO ₂ generadas por diésel y sistema fotovoltaico.....	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de la ubicación del Campo Auca Sur.....	24
Tabla 2. Propiedades de los fluidos y de la roca en las arenas productoras del Auca Sur.	29
Tabla 3. Reservas del Campo Auca Sur.	31
Tabla 4. Historial de Presiones del Campo Auca Sur.....	32
Tabla 5. Pozos e identificación.....	52
Tabla 6. Parámetros técnicos de los cuatros pozos representativos.....	54
Tabla 7. Irradiancia diaria promedio mensual en Auca Sur.	56
Tabla 8. Temperatura promedio mensual en Auca Sur	57
Tabla 9. Parámetros considerados	59
Tabla 10. Detalle de Inversión inicial.....	67
Tabla 11. Parámetros técnicos principales del sistema fotovoltaico.	74
Tabla 12. Comparación entre costos por energía térmica vs. fotovoltaica.	76
Tabla 13. Flujo de caja proyectado a 20 años.....	77
Tabla 14. Estimación anual de emisiones evitadas de CO ₂	78

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE (BES) EN EL CAMPO AUCA SUR UBICADO EN EL BLOQUE 61.”

Autor: Katty Juleisy Ordoñez Ordoñez.

Tutor: Ing. Israel Isidro Yagual Pita; MSc.

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema de energía solar fotovoltaica para abastecer el sistema de bombeo electro sumergible (BES) en el campo Auca Sur, ubicado en el Bloque 61 de la Amazonía ecuatoriana. Este campo, considerado maduro, depende de sistemas de levantamiento artificial que presentan altos costos energéticos y un impacto ambiental significativo, debido a su dependencia de fuentes no renovables.

Mediante un enfoque de investigación cuantitativo y aplicado, se desarrolló un análisis técnico-energético con base en datos operativos reales del campo y simulaciones energéticas. Se utilizó modelado computacional para dimensionar un sistema fotovoltaico adaptado a las necesidades del BES, considerando aspectos como eficiencia operativa, costos de inversión y retorno de inversión.

Los resultados muestran que la implementación de energía fotovoltaica es técnicamente viable y económicamente atractiva, permitiendo reducir el consumo de energía convencional, disminuir las emisiones de CO₂ y mejorar la sostenibilidad de las operaciones. Este estudio propone una solución energética renovable que puede ser replicable en otros campos petroleros del país.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, bombeo electro sumergible, eficiencia energética, sostenibilidad, impacto ambiental.

“TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY FOR OPTIMIZATION OF THE ELECTROSUBMERSIBLE PUMPING SYSTEM (ESP) IN THE AUCA SUR FIELD LOCATED IN BLOCK 61.”

Autor: Katty Juleisy Ordoñez Ordoñez.

Tutor: Ing. Israel Isidro Yagual Pita; MSc.

ABSTRACT

This paper evaluates the technical and economic feasibility of implementing a solar photovoltaic energy system to supply the electrical submersible pumping (ESP) system in the Auca Sur field, located in Block 61 of the Ecuadorian Amazon. This field, considered mature, relies on artificial lift systems that present high energy costs and significant environmental impact due to its dependence on non-renewable sources.

Using a quantitative and applied research approach, a technical-energy analysis was developed based on actual field operating data and energy simulations. Computational modeling was used to design a photovoltaic system tailored to the needs of the BES, considering aspects such as operational efficiency, investment costs, and return on investment.

The results show that implementing photovoltaic energy is technically feasible and economically attractive, allowing for a reduction in conventional energy consumption, lowering CO₂ emissions, and improving operational sustainability. This study proposes a renewable energy solution that can be replicated in other oil fields in the country.

Keywords: Photovoltaic energy, electrosubmersible pumping, energy efficiency, sustainability, environmental impact.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La industria petrolera enfrenta retos significativos en términos de eficiencia energética, sostenibilidad ambiental y reducción de costos operativos. En particular, los sistemas de bombeo electro sumergible (BES), ampliamente utilizados en la extracción de crudo, dependen de un suministro constante de energía eléctrica, lo que genera altos costos y una fuerte dependencia de fuentes no renovables, como combustibles fósiles o la red eléctrica convencional. Esta dependencia incrementa los gastos operativos y contribuye de manera considerable a las emisiones de gases de efecto invernadero, intensificando el impacto ambiental de las operaciones.

El campo Auca Sur, ubicado en el bloque 61 de la zona amazónica del Ecuador, considerado como un campo maduro que enfrenta un declive natural de presión en sus yacimientos, lo que ha hecho inviable la producción a flujo natural. Actualmente, su explotación depende de sistemas de levantamiento artificial como el bombeo hidráulico y el bombeo electro sumergible, con este último operando en 20 pozos (Guerrero & Valencia, 2010). Sin embargo, el consumo energético asociado al sistema BES representa un desafío significativo debido a los altos costos y al impacto ambiental de fuentes energéticas convencionales.

Este proyecto propone evaluar la integración de un sistema de energía fotovoltaica para satisfacer las demandas energéticas del sistema BES en el campo Auca Sur. Se analizará su viabilidad técnica y económica, considerando costos de implementación y mantenimiento frente a los beneficios potenciales en términos de ahorro energética, sostenibilidad ambiental y retorno de la inversión.

1.2 ANTEDECENTES

Los sistemas fotovoltaicos fueron inicialmente diseñados para operar de forma autónoma, pero con el tiempo han evolucionado hacia sistemas integrados que pueden trabajar en conjunto con la red eléctrica pública, maximizando su funcionalidad y eficiencia. En el sector petrolero, esta tecnología permite reducir los costos energéticos, mejorar la productividad y mitigar impactos ambientales (Fototrace, 2024).

La industria petrolera es uno de los sectores más intensivos en consumo energético que ha dependido de fuentes de energía convencionales como el gas natural y el diésel para operar equipos clave como bombas, sistemas de calefacción y perforadoras. No obstante, estos sistemas presentan altos costos operativos y un impacto ambiental significativo debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Cedeño & García, 2021). En este contexto, la energía eléctrica se puede generar mediante dos métodos principales: generación in situ o extensión de la red de transmisión hasta las plantas de producción. (Ortiz, 2023).

En los últimos años, la energía solar fotovoltaica ha demostrado ser una solución viable y rentable en procesos industriales con alta demanda energética, reduciendo costos operativos y mitigando los impactos ambientales. Sin embargo, su aplicación en el sistema BES, especialmente en el campo Auca Sur, aún no ha sido evaluada. Esta región amazónica ecuatoriana presenta una radiación solar superior a 3.9 kWh/m²/día, lo que significa un potencial considerable para el aprovechamiento de energía solar (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables de Ecuador, 2022). A pesar de este recurso favorable, no se han realizado proyectos de integración fotovoltaica aplicados a sistemas BES en la región, por lo que el presente estudio busca analizar su viabilidad técnica y económica en condiciones reales de operación.

La empresa estatal Petroamazonas ha comenzado a explorar la integración de energías renovables en sus operaciones, alineándose con los esfuerzos nacionales para diversificar las fuentes de energía y reducir la huella ambiental de la extracción petrolera, así como otros beneficios de las plantas fotovoltaicas (Greening Solutions, s.f.).

1.3 HIPÓTESIS

La integración de un sistema de energía solar fotovoltaica como fuente alternativa para el funcionamiento de bombas electro sumergibles (BES) en el campo Auca Sur es técnica y económicamente factible, optimizando la eficiencia energética, la reducción de costos operativos y mitigación del impacto ambiental de las operaciones.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de energía fotovoltaica para optimizar la eficiencia operativa y reducir los costos energéticos del sistema de bombeo electro sumergible (BES) en el campo Auca Sur.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el impacto económico de la integración de energía fotovoltaica sobre de costos operativos del sistema BES.
- Determinar la viabilidad técnica del sistema fotovoltaicos mediante el uso de software de modelamiento energético.
- Analizar la contribución del sistema solar en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Estimar el retorno de inversión y los beneficios financieros derivados de la implementación del sistema propuesto.

1.5 ALCANCE

El presente estudio se enfoca en analizar la viabilidad técnica y económica de la integración de un sistema fotovoltaico para alimentar el sistema de bombeo electro sumergible (BES) en el campo Auca Sur, ubicado en el bloque 61.

Se analizarán los requerimientos energéticos del BES, el potencial solar de la región y se desarrollara un diseño teórico de un sistema fotovoltaico adaptado a las necesidades del pozo representativo seleccionado.

Se evaluará el impacto en la eficiencia operativa, los costos energéticos, las emisiones CO₂ y la estimación del retorno de la inversión. Este estudio no contempla la implementación física, y se limita a una simulación técnica, sin considerar incentivos fiscales ni cambios regulatorios externas.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variable Dependiente

- Eficiencia energética del BES

1.6.2 Variables Independientes

- Energía solar
- Potencial de irradiancia
- Costos operativos.
- Emisiones de CO₂.
- Producción de energía fotovoltaica.
- Cumplimiento de normativas ambientales.
- Tiempo de retorno de inversión.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL CAMPO

2.1.1 Campo Auca

El campo Auca, situado en la región amazónica del Ecuador, inició su producción en 1970 y alcanzó su pico máximo de extracción en marzo de 2015, con un volumen de 75,000 barriles de petróleo por día (BOPD). No obstante, para noviembre y diciembre del mismo año, la producción descendió a 65,000 BOPD, debido a un aumento en la producción de agua, pérdida de presión en los reservorios y daño progresivo en la formación. Ante esta situación, en enero de 2016, Petroamazonas EP, hoy Petroecuador EP y en conjunto con Schlumberger (SLB), implementaron el proyecto Shaya, cuyo propósito fue incrementar tanto la producción como las reservas mediante estrategias como la perforación de pozos de relleno (infill drilling), recuperación secundaria, y trabajos de intervención en pozos. Las principales unidades productoras en el campo Auca son la formación Hollín y las areniscas Napo U y T. Estas últimas tienden a experimentar una caída de presión debido a un acuífero débil, mientras que la formación Hollín mantiene su presión gracias a la presencia de un acuífero fuerte de fondo que proporciona soporte al yacimiento (Jan Pierre Alvaro León, 2023).

2.1.2 Campo Auca Sur

La estructura sur del campo Auca se encuentra en la zona central de la Cuenca Oriente, dentro de la provincia de Orellana, específicamente en el cantón Francisco de Orellana, parroquia Dayuma, formando parte del denominado Corredor Sacha-Shushufindi. Su descubrimiento se realizó a partir de estudios sísmicos, cuya información fue posteriormente confirmada mediante la perforación del pozo Auca Sur 1 (ACSA-001) en el año 1980. Este pozo alcanzó una profundidad de 10,820 pies y registró una producción inicial de 563 barriles por día (bl/d).

Coordenadas exactas de la ubicación del Campo Auca sur detalladas en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la ubicación del Campo Auca Sur.

LONGITUD	LATITUD
Entre 76° 50' W y 76° 54' W	Entre 0° 34' S y 0° 48' S
Ymin: 9911544	Xmin: 288964
Ymáx: 9936624	Xmáx: 295000

Fuente:(Petroecuador E.P., 2023).

Elaborado por : Katty Ordoñez.

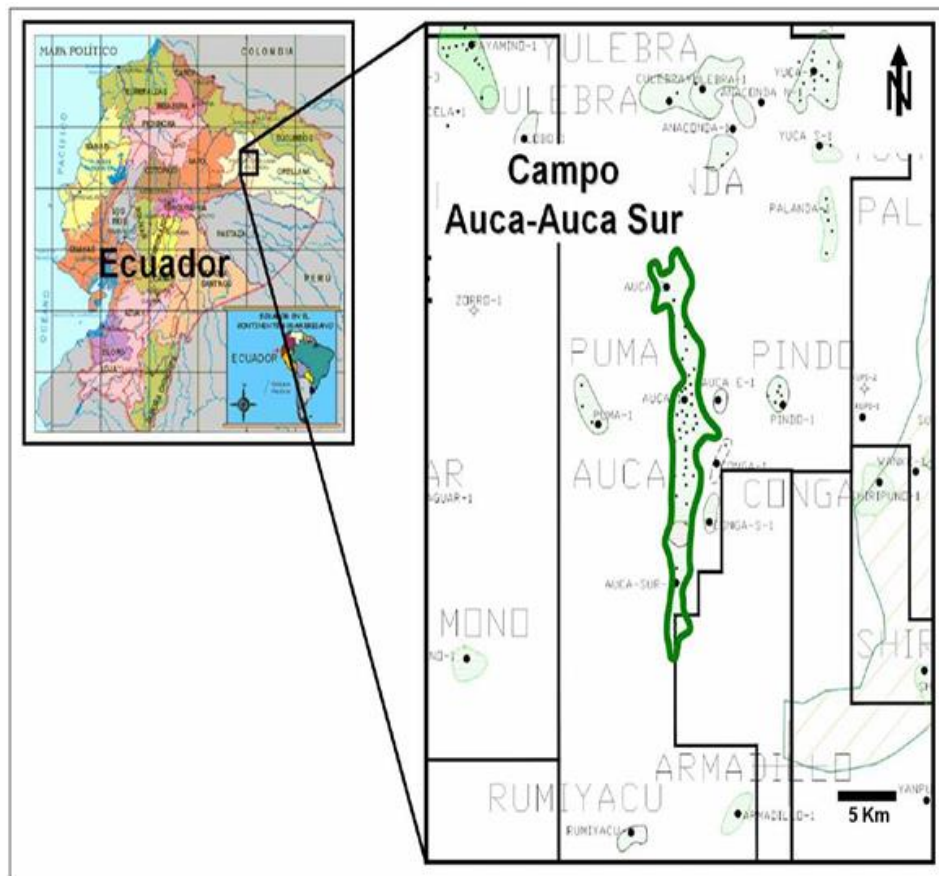


Figura 1. Mapa de Ubicación del Campo Auca.
Fuente.(Calispa Chiliguano & Gabriela Proaño, 2011)

2.1.3 Estructura

La estructura del campo Auca corresponde a un anticlinal simétrico de forma pronunciada, con una extensión en dirección NNO-S que cubre alrededor de 27 km, expandiéndose hacia el norte. Presenta una leve alteración tectónica en la parte superior de la arenisca U principal. Las fallas geológicas en la zona, observadas en las secciones sísmicas del libro "La Cuenca Oriente" indican que las secciones sísmicas solo alcanzan hasta las formaciones de Hollín y Napo Basal. Esta estructura se formó durante el periodo Maastrichtiano-Paleoceno, como se refleja en la sección sísmica CP-83-314, que muestra la deformación tectónica en los depósitos de la formación Tena (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004).

2.1.4 Estratigrafía

Actualmente los yacimientos de los cuales se encuentran produciendo los pozos del campo Auca Sur son principalmente Napo T, Napo U, y del mismo modo de Hollín, las arenas de estas zonas en específico se caracterizan por tener un alto grado de compactación.

Durante el Cretácico, la cuenca experimentó una subsistencia débil, y los depósitos superficiales se formaron en un ambiente marino aislado del mar abierto. La sedimentación fue mayormente marina, en aguas poco profundas o estuarinas, aunque la base de los depósitos muestra características más fluviales. Los principales aportes sedimentarios provinieron del Este. Las variaciones en el nivel del mar controlaron los ciclos de sedimentación y erosión en la plataforma marina, donde los depósitos se acumularon antes de ser cubiertos por nuevas transgresiones. Dentro de la secuencia estratigráfica, se encuentran lutitas que actuaron como roca madre y, en algunos casos, como sello parcial o total de los reservorios (Alex Xavier Guerrero López & Pablo Fernando Valencia Martínez, n.d.).

2.1.4.1 Características litológicas y ambientes sedimentarios de los reservorios del campo.

2.1.4.1.1 Formación Hollín

Esta arena es la más productora ya que contiene un gran espesor de arena saturada y porque exhibe un fuerte empuje de agua en el fondo.

Hollín principal

Es una arenisca cuarzosa masiva, que actúa como un reservorio relativamente homogéneo de grano fino, aunque presenta algunas capas aisladas con lutita. En términos de su ambiente sedimentario, corresponde a una planicie aluvial, con una mayor influencia costera en su parte superior (Calispa Chiliguano & Gabriela Proaño, 2011).

Hollín Superior

Se trata de una arenisca rica en cuarzo y de grano fino, que presenta un contenido medio a alto de glauconita y una notable presencia de material carbonáceo. Su porosidad promedio es cercana al 14%. En cuanto al ambiente sedimentario, muestra una clara influencia mareal, lo que sugiere una sedimentación de tipo marina y estuarina.

2.1.4.1.2 Napo “T”

Se trata de una arenisca cuarzosa de alta pureza y grano fino, que presenta capas aisladas de arcilla. El análisis de muestras reveló que algunos poros están parcialmente rellenos con illita y caolinita, lo cual puede afectar la calidad del reservorio. Su porosidad promedio es de aproximadamente 12%. En cuanto al ambiente sedimentario, esta unidad se depositó tras una regresión marina, con un desplazamiento hacia el oeste de la línea costera. Sobre los valles erosionados se formaron ambientes estuarinos influenciados por mareas y con aportes de agua fluvial (Baby et al., 2004).

T” Superior

En su parte “T” Superior contiene arenisca cuarzosa de grano fino y glauconita en mayor proporción, con intercalaciones de arenisca con lutita y limonita.

“T” Inferior

En su parte “T” Inferior es una arenisca cuarzosa de grano fino a medio, el máximo espesor se encuentra en la parte sur del campo.

2.1.4.1.3 Napo “U”

Corresponde a una arenisca cuarzosa masiva y limpia. En la sección superior del cuerpo principal de la unidad "U", se observa un desarrollo sólido y limpio del reservorio. No obstante, hacia la parte inferior, se identifican estratos delgados de limolitas, lo que indica cierta heterogeneidad en esa zona del depósito.

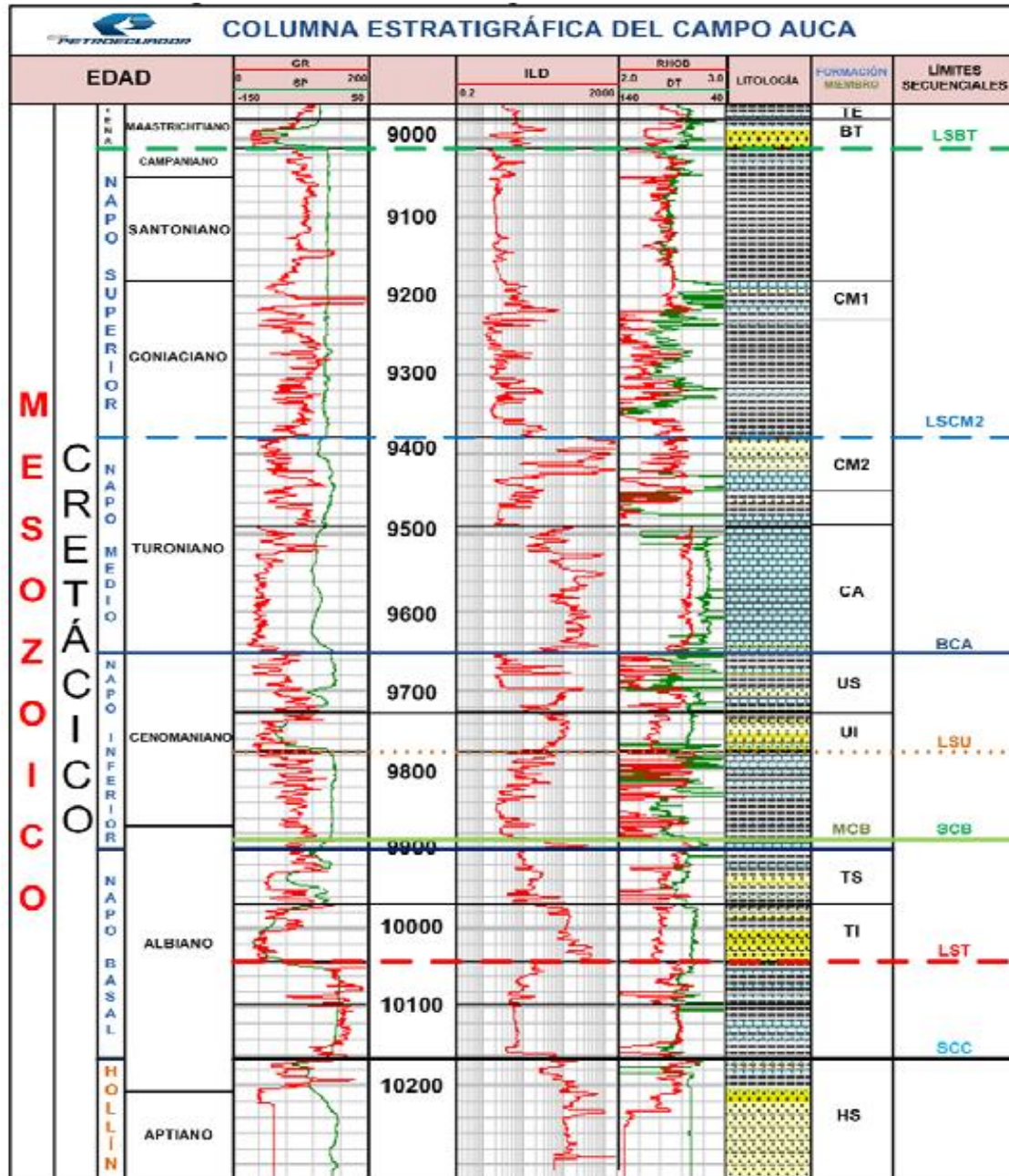
“U” Superior

Se trata de una roca arenisca compuesta principalmente de cuarzo, con tonalidades que oscilan entre gris y verde. Sus granos son finos y de forma ligeramente redondeada. Presenta un grosor de 27 pies y una porosidad del 14,86%.

.

“U” Inferior

Está compuesta por una arenisca rica en cuarzo, con tonalidades que varían desde gris claro hasta blanco. Los granos presentan formas que oscilan entre subangulares y subredondeadas, con un tamaño que va de fino a medio. Sus valores promedio son: un espesor de 37,2 pies y una porosidad del 16,62%.



NOMENCLATURA ESTANDARIZADA

FORMACIONES: TE (Tena), HS (Hollín Superior). MIEMBROS: BT (Basal Tena); CM1 (Caliza M1); CM2 (Caliza M2); CA (Caliza A); US, UI (Arenisca U Superior, e Inferior); MCB (Marcador Caliza B); TS, TI (Arenisca T Superior e Inferior).

LIMITE SECUENCIALES: SCC (Superficie de Máxima Inundación Caliza C); LST (Limite de Secuencia T); SCB (Superficie de Máxima Inundación Caliza B); LSU (Limite de Secuencia U); BCA (Base Caliza A); LSCM2 (Limite de Secuencia Caliza M2); LSBT (Limite de Secuencia Basal Tena).

Figura 2. Columna estratigráfica.
Fuente. (Calispa Chiliguano & Gabriela Proaño, 2011)

2.1.5 Descripción de las Propiedades de los Fluidos y de la Roca

De acuerdo con los estratos de arenisca productivos en el área de Auca Sur, la Tabla 2 muestra un compendio con los promedios de las propiedades petrofísicas y las características de los fluidos representativos del yacimiento (Jan Pierre Alvaro León, 2023).

Tabla 2. Propiedades de los fluidos y de la roca en las arenas productoras del Auca Sur.

PROPIEDADES DE ROCA Y FLUIDO EN LAS ARENAS PRODUCTORAS DEL AUCA SUR			
PROPIEDADES	"U INFERIOR"	"T" INFERIOR	HOLLÍN SUPERIOR
Pi [psia]	4141	4213	4500
Pb [psia]	231	640	195
Boi	1.04	1.131	1.1
GOR	89.87	209.86	12
API	17.8	24.82	32.61
Tr [°F]	229	233	235
Pr Actual [psia]	1352	1260.7	4100
Salinidad [ppm]	24468.01	19512.97	1362.63

Fuente: (Jan Pierre Alvaro León, 2023)

Elaborado por : Katty Ordoñez

2.1.6 RESERVAS

Se entienden como reservas los volúmenes de petróleo económicamente explotables mediante proyectos de desarrollo en yacimientos conocidos, cumpliendo cuatro condiciones: descubrimiento confirmado, capacidad de extracción, rentabilidad comercial y disponibilidad remanente según el plan de producción vigente (PRMS, 2009).

2.1.6.1 Reservas probadas

Representan los volúmenes de petróleo identificados en formaciones geológicas, validados mediante perforación y evaluaciones técnicas, cuya recuperación es posible dentro de márgenes económicamente sostenibles (PRMS, 2009).

2.1.6.2 Reservas probables

Son cantidades de petróleo que presentan un elevado nivel de certeza, aunque aún no han sido confirmadas mediante pruebas. Se localizan en zonas próximas a las reservas ya comprobadas dentro de una misma formación geológica o región.

2.1.6.3 Reservas posibles

Son volúmenes aproximados de petróleo que podrían ser extraídos de yacimientos potenciales y que se encuentran en zonas donde existe información sísmica y geológica disponible al momento de hacer la estimación. Sin embargo, no se les atribuye un alto nivel de confiabilidad en cuanto a su existencia o recuperación.

2.1.6.4 Reservas remanentes

Se refieren a la cantidad de crudo técnicamente extraíble que aún permanece en el reservorio, pudiendo ser evaluada y cuantificada en cualquier etapa posterior al inicio de la explotación del campo.

En la Tabla 3 se muestran las reservas del Campo Auca Sur.

Tabla 3. Reservas del Campo Auca Sur.

RESERVAS DEL CAMPO AUCA SUR							
Yacimiento	Petróleo Original en Sitio [Bls. N.]	Factor de Recobro [Bls. N.]	Probadas [Bls. N.]	Totales [Bls. N.]	Producción Acumulada [Bls. N.]	Reservas Remanentes [Bls. N.]	°API
Hollín Inferior	8,678,993	4.15	359,923	359,923	265,816	94,107	31.6
Hollín Superior	38,437,699	13.54	5,205,018	5,205,018	3,663,311	1,541,707	31.6
T Inferior	36,097,044	28.51	10,290,708	10,290,708	4,938,318	5,352,390	26.9
T Superior	18,510,889	0.88	163,113	163,113	163,113	0	26.9
U Inferior	70,884,190	26.03	18,451,475	18,451,475	8,871,480	9,579,995	18.5
Total	172,608,815	73.11	34,470,237	34,470,237	17,902,038	16,568,199	23.6

Fuente: (Jan Pierre Alvaro León, 2023).**Elaborado por :** Katty Ordoñez

2.1.7 Historial de Presiones

A continuación, se muestra el historial de presiones, que presenta el Campo Auca Sur.

Tabla 4. Historial de Presiones del Campo Auca Sur.

HISTORIAL DE PRESIONES DEL CAMPO AUCA SUR			
Presión (psia)	NAPO U	NAPO T	HOLLIN
PI [psia]	4241	4213	4500
Pb [psia]	941,7	877	189,7
Pr [psia]	1352	1260,7	4100

Fuente: (Jan Pierre Alvaro León, 2023)

Elaborado por: Katty Ordoñez

2.1.8 Mecanismo de producción

En el Campo Auca Sur, los yacimientos productores corresponden a las formaciones U Inferior, T Inferior, Hollín Superior y Hollín Inferior. Los reservorios de la Formación Napo (unidades U y T), junto con la zona Superior del Hollín, presentan rasgos estratigráficos que favorecen el atrapamiento de hidrocarburos. Su mecanismo de producción está vinculado a la expansión de la roca y los fluidos, así como al gas disuelto en el crudo.

Por otro lado, el Hollín Inferior tiene un sistema de drenaje dominado por empuje hidráulico desde el acuífero subyacente, debido a la presencia de un acuífero activo que ejerce presión ascendente.

2.1.9 Estado actual del campo y de los pozos

2.1.9.1 Estado actual del campo

Para diciembre de 2022, la producción del campo Auca Sur alcanzó un total de 141,156 barriles, proveniente de aproximadamente 21 pozos en producción. En 2018, se implementó un proyecto de inyección de agua en la arena U inferior, lo que ha ayudado a mantener las presiones durante los últimos años. Sin embargo, este proyecto ha

generado un aumento en el corte de agua en los pozos afectados por dicha inyección (Petroecuador E.P., 2023).

La estructura del campo Auca corresponde a un anticlinal simétrico de forma pronunciada, con una extensión en dirección NNO-S que cubre alrededor de 27 km, expandiéndose hacia el norte. Presenta una leve alteración tectónica en la parte superior de la arenisca U principal. Las fallas geológicas en la zona, observadas en las secciones sísmicas del libro "La Cuenca Oriente" indican que las secciones sísmicas solo alcanzan hasta las formaciones de Hollín y Napo Basal. Esta estructura se formó durante el periodo Maastrichtiano-Paleoceno, como se refleja en la sección sísmica CP-83-314, que muestra la deformación tectónica en los depósitos de la formación Tena (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004).

2.1.9.2 Estado Actual de los Pozos

En la actualidad, el yacimiento Auca Sur mantiene en operación 21 pozos productores con las siguientes características:

- Gravedad API promedio: 25°
- Rango de corte de agua (BSW): 60-92%
- Arenas productoras: U Inferior, T Inferior y Hollín Superior
- Las condiciones específicas de los pozos incluidos en este análisis se documentarán exhaustivamente en el apartado de anexos del presente estudio.

2.2 SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL MEDIANTE BOMBEO ELÉCTRICO-SUMERGIBLE

2.2.1 Descripción General del Sistema

En el sistema de levantamiento artificial mediante bombeo eléctrico-sumergible donde la fuente principal de energía es la electricidad y por lo general, una dependencia significativa de la red eléctrica o generadores de diésel, cuya bomba es esencialmente una centrífuga multietapa en el cual, el eje va conectado directamente a través de una sección

protectora con un motor eléctrico-sumergible. El conjunto integro forma parte de una unidad de diámetro exterior tal que se puede bajar hasta el fondo de los pozos por dentro de la tubería de revestimiento (José et al., n.d.).

Destacada por su alta eficiencia al momento de desplazar volúmenes de crudo lo que refleja su excelente relación económica. Puede levantar de 100 a 30.000 BPD; presentando así un rango mayor de operación que el ofrecido por otros sistemas de levantamiento (Edgard R & Jarod A, 2023).

Es fundamental prestar atención durante el diseño de las bombas electro sumergibles, considerando tanto las condiciones del pozo como las propiedades de los fluidos producidos. Un dimensionamiento incorrecto puede provocar fallos operativos a futuro. Factores como temperaturas elevadas, una alta relación gas-aceite o la presencia de arena en el fluido pueden afectar de manera significativa el desempeño y la eficiencia del sistema de bombeo.

2.2.2 Parámetros del Sistema

Se requiere que la temperatura no supere los 350 °F, lo cual es tolerable para motores y cables especialmente diseñados. La saturación de gas libre debe mantenerse por debajo del 10%, mientras que la presencia de arena en los fluidos no debe superar los 200 ppm, siendo ideal su ausencia total. La viscosidad del fluido se sitúa alrededor de los 200 centipoise (cp), y la profundidad operativa se encuentra entre 6,000 y 12,000 pies. Este tipo de sistema puede implementarse tanto en pozos verticales como desviados.

2.2.3 Ventajas y Desventajas del Sistema BES

Las ventajas del bombeo electro sumergible incluyen la capacidad de levantar altos volúmenes de fluidos, manejar altos cortes de agua, es usada también para inyectar fluidos a la formación, cuenta con una vida útil prolongada, buen desempeño en pozos desviados no causa destrucción en ambientes urbanos, fácil aplicación de tratamiento contra la corrosión y formación de escamas no necesita instalaciones de superficie. Además, el funcionamiento es eléctrico y el motor se encuentra en la bomba en el fondo del pozo, y su tecnología, aunque complicada y costosa, es preferida para elevar grandes caudales.

Hay desventajas en el uso de estos sistemas de levantamiento artificial, los cuales pueden incluir una investigación inicial elevada, un alto consumo energético, una rentabilidad limitada en pozos con baja producción, cables que se deterioran debido a temperaturas elevadas, la producción de gas ya arena, y un diseño complejo. Además, la bomba y el motor son propensos a fallas y la instalación puede ser difícil (Calispa Chiliguano & Gabriela Proaño, 2011).

2.2.4 Componentes del sistema

Un sistema de bombeo electro sumergible (BES) está conformado por distintos componentes que se agrupan en dos categorías principales: equipos de fondo y equipos de superficie.

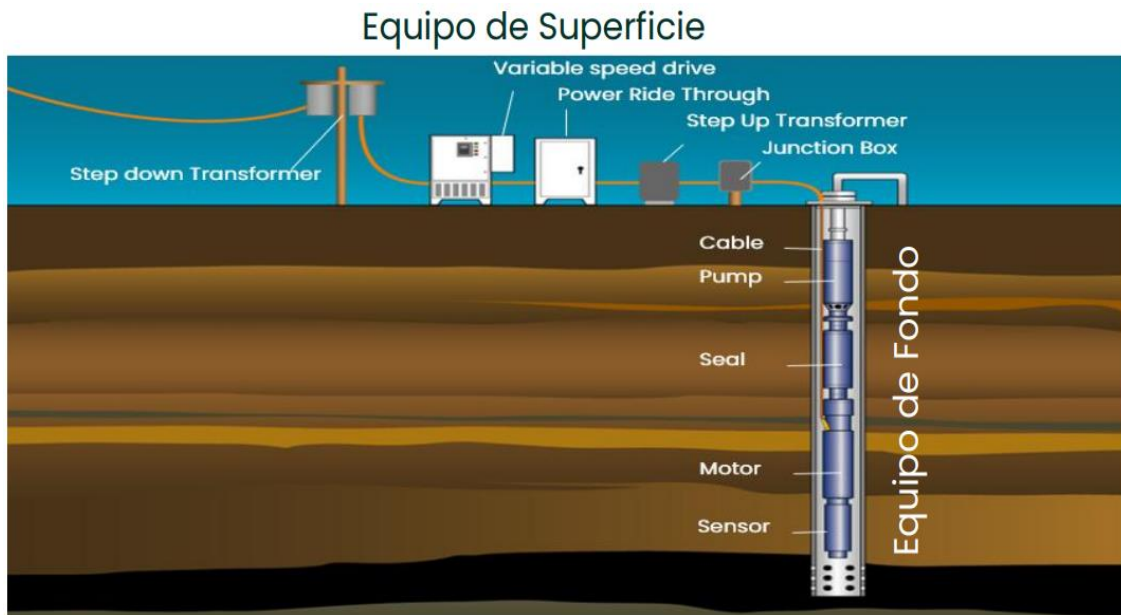


Figura 3. Componentes del sistema.

Fuente.(Baker Hughes, 2019).

2.2.4.1 Componentes de fondo

Corresponden a los elementos ubicados desde el cabezal del pozo hasta su parte más profunda, y comprenden los componentes encargados de operar directamente en el subsuelo.

Sensor de fondo

El sensor de fondo es un dispositivo ubicado junto al motor, diseñado para soportar condiciones extremas de presión y temperatura. Su función principal es enviar información desde el subsuelo hacia la superficie sobre el estado operativo del motor, la bomba y el pozo. Entre los datos que puede transmitir se incluyen la presión de succión y descarga de la bomba, la temperatura del aceite del motor, así como la presión y temperatura del pozo, además de parámetros como caudal, vibraciones, entre otros.

Generalmente, estos sensores consumen entre 5 y 15 vatios (W), aunque esto puede variar ligeramente según el fabricante y el modelo.

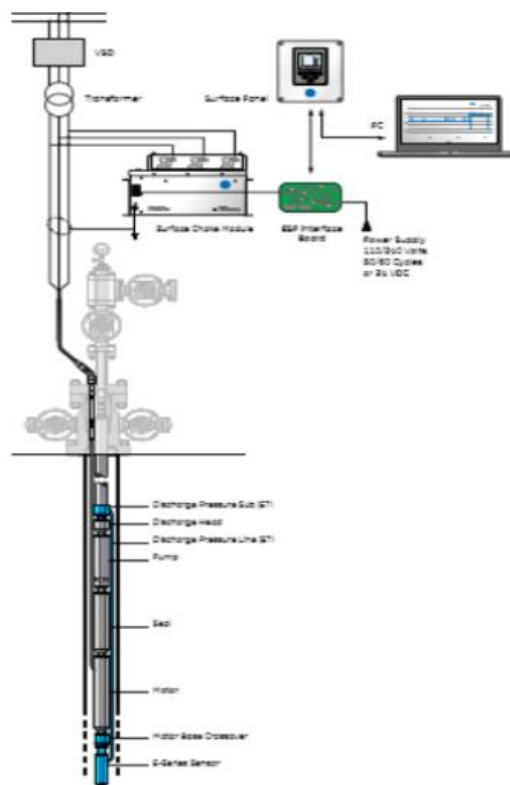


Figura 4. Sensor.

Fuente. (Baker Hughes, 2019).

Motor

El motor actúa como la fuente principal de energía para accionar la bomba centrífuga, permitiendo el levantamiento de los fluidos del pozo hacia la superficie. En los sistemas de bombeo electro sumergible (BES), se utiliza un motor de tipo inductivo bipolar, trifásico, con rotor en jaula de ardilla. Este motor generalmente está lleno con aceite

mineral o sintético, lo cual asegura una adecuada lubricación interna y favorece una eficiente disipación del calor durante su operación.

Las principales partes de un motor electro sumergible son:

- Carcasa de motor.
- Eje.
- Rotor.
- Estator.
- Cojinetes del motor.
- Bujes.
- Zapata del motor.

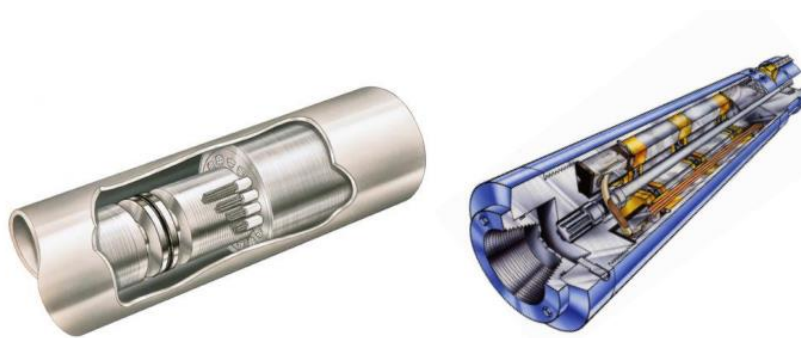


Figura 5. Motor.

Fuente. (Baker Hughes, 2019)

Protector de sello

El protector o sello se instala entre el separador de gas y el motor, su principal función es proteger a este último aislándolo de los fluidos del pozo. También ayuda a equilibrar la presión interna del motor y la presión externa del pozo. Por otra parte, es el encargado de transmitir el torque necesario hacia la bomba a través del eje.

Separador de Gas

El separador de gas es un componente del sistema de bombeo electro sumergible (BES) que se coloca entre la bomba y el protector del motor. Su función principal es remover la mayor cantidad posible de gas disuelto en los fluidos que entran a la bomba. Esto es crucial, ya que la presencia de gas libre en la bomba puede reducir su eficiencia. Este dispositivo se utiliza comúnmente en pozos con alta producción de gas, lo que mejora el desempeño de la bomba al minimizar los efectos negativos causados por la alta concentración de gas libre. El separador de gas suele alcanzar una eficiencia de entre el

80% y el 95%, aunque esta cifra puede variar dependiendo de los volúmenes, la composición y las propiedades físico-químicas del gas.

Bomba

Son bombas centrífugas multietapas diseñadas principalmente para suministrar la energía requerida a los fluidos del pozo, permitiendo que estos lleguen a la superficie. Poseen una curva de desempeño, la cual muestra la relación entre potencia, eficiencia, tasa de flujo y capacidad de levantamiento en función de la tasa operativa de flujo.

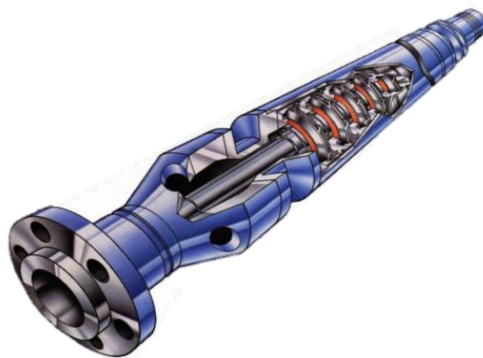


Figura 6. Bomba.

Fuente.(Baker Hughes, 2019)

Cable eléctrico de potencia

El cable de alimentación trifásica transmite la energía eléctrica desde los equipos en superficie hasta el motor en el fondo del pozo. Un componente clave del sistema, también transporta las señales de presión y temperatura registradas por el sensor de fondo hacia la superficie. Este cable representa el costo total del sistema de levantamiento electrosumergible, y su diseño se adapta a las características operativas del pozo, pudiendo ser redondo o plano según las condiciones mecánicas del mismo.

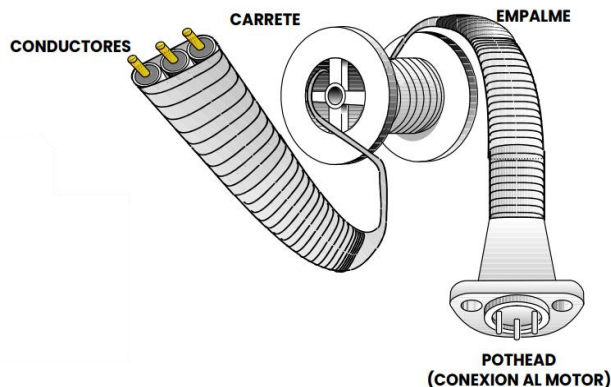


Figura 7. Cable eléctrico de potencia.

Fuente. (Baker Hughes, 2019)

2.2.4.2 Componentes de superficie

Esta sección incluye todos los componentes que van desde el cabezal del pozo hasta la red de distribución de energía eléctrica. La configuración específica del equipo determinará cómo se organizan y conectan estos elementos.

Cabezal de pozo

Con el fin de evitar fugas de gas o las surgencias imprevistas del pozo, el cabezal para pozos con sistemas ESP, es de tipo empaque cerrado el cual brinda un sello alrededor del cable y la tubería, además, es el encargado de soportar el peso total del equipo de subsuelo como lo son el motor, sellos, bombas, cable de potencia, tubería de producción, herramientas especiales, etc (Edgard R & Jarod A, 2023).

Caja de venteo

La caja de venteo se encuentra ubicada entre el cabezal del pozo y el equipo de control de la bomba. Tiene como función principal ventear el gas que fluye a superficie a través del cable protegiendo y evitando cualquier tipo de daño al panel de control.

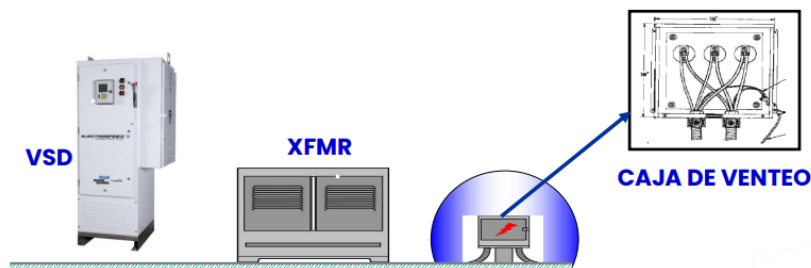


Figura 8. Caja de venteo.
Fuente. (Baker Hughes, 2019)

Transformadores

Se encargan de adaptar el voltaje proveniente de la red eléctrica al nivel requerido por el motor. Pueden ser transformadores monofásicos, bifásicos o trifásicos, y tienen la capacidad de elevar o reducir la intensidad de la corriente según las necesidades del sistema.

Los transformadores en sí no consumen energía activamente como lo hace una carga (como un motor), pero sí presentan pérdidas internas, principalmente de dos tipos:

Pérdidas en el núcleo (pérdidas en vacío):

- Ocurren cuando el transformador está energizado, aunque no esté alimentando ninguna carga.
- Dependen del material del núcleo y de la frecuencia de operación.
- Suelen representar entre el 1% y 3% de la potencia nominal.

Pérdidas en los devanados (pérdidas por carga):

- Aparecen cuando el transformador suministra energía a una carga.
- Son proporcionales al cuadrado de la corriente.
- Van desde el 1% hasta el 5% de la potencia entregada, dependiendo del diseño.



Figura 9. Transformadores.
Fuente. (Baker Hughes, 2019)

Controladores

La función principal de los controladores es salvaguardar los sistemas al interrumpir el suministro eléctrico cuando se exceden los parámetros operativos establecidos. Además, contribuyen a optimizar los procesos de control y permiten supervisar el funcionamiento del sistema de bombeo electro sumergible.

Variadores de frecuencia

El variador de frecuencia es un equipo que permite ajustar la frecuencia de la corriente suministrada al motor, lo que posibilita regular su velocidad sin necesidad de intervenir en los componentes ubicados en el subsuelo. De esta forma, el caudal proporcionado por la bomba puede ser controlado mediante cambios en la frecuencia, ya que la velocidad de operación de la bomba guarda una relación directamente proporcional con dicha frecuencia.



Figuro 10. Variador de frecuencia.
Fuente. (Baker Hughes, 2019)

2.2.5 Tipos de energía del sistema.

Red eléctrica comercial

La red eléctrica es un sistema interconectado de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, principalmente en corriente alterna trifásica sincronizada, diseñado para llevar electricidad desde las centrales generadoras hasta los usuarios finales, garantizando fiabilidad y eficiencia operativa (Hurtado et al., 2021).

En aplicaciones industriales (como en sistemas ESP), la red eléctrica incluye transformadores, subestaciones y líneas de media o baja tensión, que suministran electricidad al variador de frecuencia y al motor sumergible del BES.

Generadores de Diesel

Los generadores diésel, que combinan un motor de combustión interna con un alternador, son una fuente común de electricidad en áreas remotas o sin acceso a la red. En un generador de 455 kW, más del 95 % del consumo energético se concentra en la fase operativa, lo que afecta directamente al costo y sostenibilidad del sistema BES (Benton, n.d.)

Gas de pozo (Gas asociado)

La combinación de gas lift con un sistema ESP (BES), demostrando que el gas asociado puede emplearse para alimentar generadores eléctricos destinados a bombear fluidos mediante ESP. De acuerdo con el artículo, el sistema utilizó un SEP con separador

rotativo de gas, optimizando el bombeo en pozos con alto contenido gaseoso (Tsamo et al., 2024).

2.3 ENERGÍA SOLAR

2.3.1 Radiación solar

La energía solar llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas con longitudes de onda que varían entre 0,3 y 3 micrómetros (μm). Dentro de este rango se encuentran diversos tipos de radiación.

- Luminosa (49 %)
- Infrarrojos (46 %)
- Ultravioleta (4 %)
- Gamma (1 %)

A pesar de que las radiaciones ultravioleta y gamma tienen un nivel energético más alto, representan únicamente alrededor del 5 % de la energía solar que llega a la Tierra. Por esta razón, generalmente no se consideran en el diseño de sistemas fotovoltaicos, enfocándose en cambio en la energía proveniente de la radiación infrarroja y visible.

La radiación electromagnética es una forma de energía que se transmite a través del espacio en forma de ondas. Esta energía está compuesta por partículas llamadas fotones, que vibran u oscilan mientras se desplazan. La cantidad de energía que tiene un fotón depende de su longitud de onda: cuanto más corta es la onda, mayor es su energía. Esta relación se puede expresar con la fórmula $w=h \cdot f=h \cdot c/\lambda$, donde w es la energía del fotón, h es la constante de Planck, f es la frecuencia, c es la velocidad de la luz y λ es la longitud de onda.

Cuando una onda de luz atraviesa la atmósfera, se absorbe y difunde su radiación. Se pueden distinguir, por tanto, tres componentes en las radiaciones del Sol:

Radiación directa: es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.

Radiación difusa: es la que sufre cambios en su dirección principal debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera. En tiempo cubierto, se admite que la radiación difusa es isotrópica, es decir, que se recibe una radiación idéntica desde todas las direcciones de la bóveda celeste. Con tiempo claro o ligeramente velado, se tiene una corona más brillante

alrededor del Sol (componente al que se le llama circunsolar) y, a menudo, un fortalecimiento sobre el horizonte (la banda horizonte).

Albedo o reflejada: es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

La radiación global es la suma de la radiación directa, la radiación difusa y el albedo. Por su parte, se llama radiación directa normal a la radiación directa que es medida de forma perpendicular a los rayos del Sol. Según esto, en superficies que no sean perpendiculares, la misma cantidad de radiación abarca una superficie mayor, por lo que su intensidad es más reducida. Este fenómeno se conoce como efecto coseno. En la misma línea, es evidente que la radiación directa que incide sobre un plano horizontal es inferior a la radiación sobre un plano oblicuo. Por el contrario, es posible que la radiación difusa que reciba sea mayor debido a que el plano horizontal cubre una proporción mayor de la esfera celeste. Esto hace que sea más interesante instalar paneles solares horizontales en zonas donde predomina la radiación difusa (por ejemplo, donde se presenten cielos cubiertos de forma habitual). El motivo es que, cuando el Sol es poco visible, la radiación solar es poco intensa y es mejor cubrir una mayor proporción de la bóveda solar para aprovechar al máximo la radiación difusa.

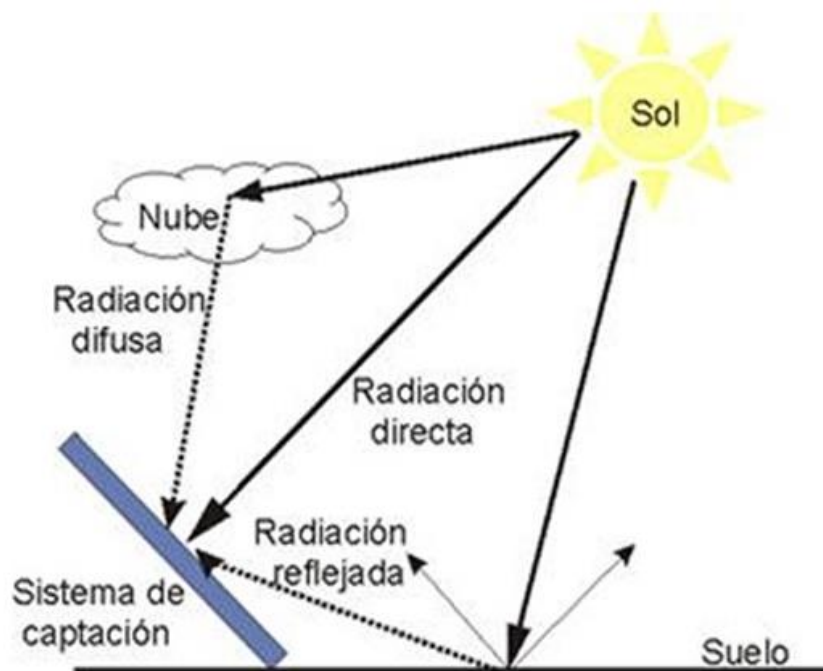


Figura 11. Componentes de la radiación solar.

Fuentes.(El Módulo Fotovoltaico, 2022)

2.3.2 Irradiancia e Irradiación

Irradiancia solar: se define como la intensidad de radiación solar que incide en una superficie unitaria en la unidad de tiempo. El valor se refiere a una superficie horizontal y se mide en W/m^2 . Este parámetro depende de la latitud del lugar, las condiciones climatológicas, la época del año, la inclinación de la superficie y la contaminación, entre otros. Su valor máximo, en condiciones ideales, es de $1\ 000\ W/m^2$. Se expresa con la letra G y suele estar acompañado de los subíndices o, b y d para definir:

- G: irradiancia global sobre una superficie horizontal.
- Gd: irradiancia difusa sobre una superficie horizontal.
- Gb: irradiancia directa sobre una superficie horizontal.
- Go: irradiancia extraterrestre sobre una superficie horizontal

Irradiación solar: se refiere a la cantidad de energía solar que incide en una superficie unitaria en un tiempo determinado. La forma más habitual de calcular este valor es determinando la irradiancia a diferentes horas del día e integrando estos valores. Si se expresa la irradiación en una hora, se define con la letra I, y si se expresa para un día completo, con H. Se expresa en Kj/m^2 kWh/m^2 (equivalencias de las unidades: $1\ kWh/m^2 = 1\ 000\ Wh/m^2 = 3\ 600\ kj/m^2 = 3.6\ Mj/m^2$).

2.3.3 Sistema Fotovoltaico

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 solares capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado (Lamigueiro, 2011). A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en tres grandes grupos:

Conexión a la red

En esta configuración, la energía eléctrica del sistema fotovoltaico se transfiere a la red eléctrica nacional. Mediante inversores conectados a la red, el voltaje y la frecuencia de

la energía producida puede ajustarse para satisfacer los parámetros requeridos por la red eléctrica nacional (Khalid Ibrahim Mahgoub et al., 2020).

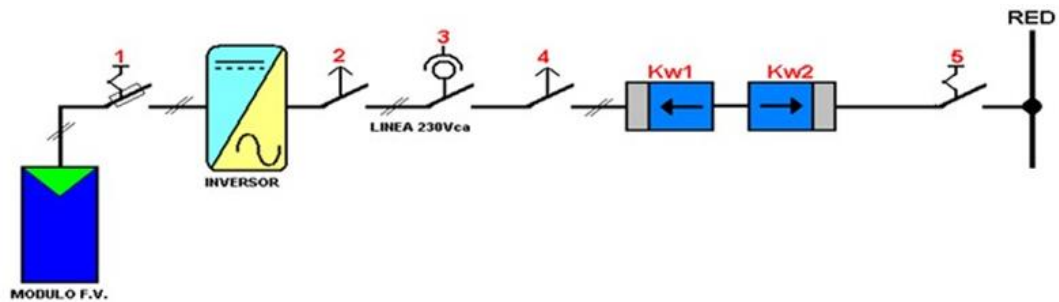


Figura 12. Esquema unifilar de una instalación fotovoltaica. Instalación conectada a red.
Fuente. (El Módulo Fotovoltaico, 2022)

Sistemas fotovoltaico autónomo

Se utiliza generalmente para generar energía en zonas que carecen de red eléctrica. De hecho, este tipo de sistemas contribuyen significativamente a la generación mundial de energías sin conexión a la red. Las aplicaciones típicas en la que se utilizan este tipo de sistemas incluyen el suministro de energía para zonas rurales, pueblos remotos, viviendas residenciales, telecomunicaciones.

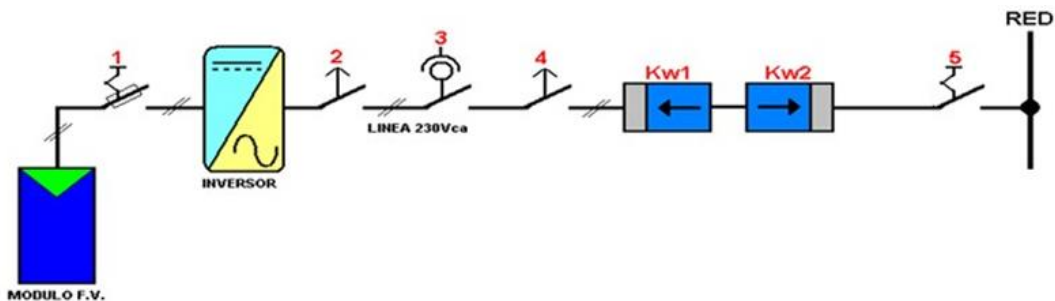


Figura 13. Esquema unifilar de una instalación fotovoltaica. Instalación autónoma.
Fuente. (El Módulo Fotovoltaico, 2022)

Sistema híbrido

Compuesto por un sistema fotovoltaico y un sistema diésel.

La integración de sistemas solares en operaciones petroleras responde a múltiples objetivos. Desde un punto de vista técnico, reduce la dependencia de fuentes fósiles externas para alimentar los sistemas de bombeo. Económicamente, disminuye los costos asociados al consumo energético y al mantenimiento de generadores térmicos. Y

ambientalmente, contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero, alineándose con normativas nacionales e internacionales sobre sostenibilidad.

2.3.4 Paneles solares

Los paneles solares, también conocidos como paneles fotovoltaicos, están formados por una estructura rectangular que contiene como unidad básica de funcionamiento a la célula solar, la cual tiene un tamaño aproximado de 10 centímetros cuadrados. En un panel, varias de estas células se montan sobre una plancha y se protegen con un material plástico llamado EVA (Etilen Vinil Acetato). Este recubrimiento es resistente a condiciones y temperaturas extremas, además de permitir el paso de la luz visible, bloqueando al mismo tiempo los rayos ultravioletas.

Para que la instalación de los paneles solares funcione correctamente, se requiere de un componente fundamental: el inversor. Este dispositivo se encarga de convertir la corriente generada por los paneles en un tipo de energía eléctrica apta para el uso doméstico o industrial.

Célula Solar

Una célula fotovoltaica hecha de silicio suele generar una tensión aproximada de 0.5 voltios. Este nivel de voltaje es muy bajo para resultar útil en aplicaciones eléctricas de tipo industrial. Por esta razón, se ensamblan generadores fotovoltaicos, también conocidos como módulos o paneles solares que integran múltiples células fotovoltaicas, comúnmente en grupos de 36 o 72 unidades (El Módulo Fotovoltaico, 2022).

Al agrupar células fotovoltaicas, es fundamental definir si se conectarán en serie o en paralelo, ya que esto determina sus propiedades eléctricas. Cuando las células se conectan en serie, se suman sus voltajes, mientras que la corriente que circula por todas ellas es la misma. En cambio, si se conectan en paralelo, se suman las corrientes que generan, pero el voltaje se mantiene constante. Es importante que todas las células conectadas tengan curvas I-V similares para asegurar un funcionamiento eficiente y equilibrado.

El principio fundamental que rige este tipo de sistemas es que la energía necesaria para fabricar un generador debe ser inferior a la energía que éste producirá a lo largo de toda su vida útil. Esta fue, de hecho, una de las principales críticas dirigidas a los paneles solares en los primeros años de su desarrollo. No obstante, el aumento en la demanda del sector, los avances tecnológicos recientes y la disminución en el costo de los paneles

comerciales han permitido cumplir con este criterio energético, convirtiéndolos hoy en día en una alternativa energética muy atractiva y viable.

Regulador de carga

Controla la carga de las baterías. Son necesarias en las instalaciones aisladas existes dos tipos:

PWM: Son más económicos y pueden utilizar tensión generada por los paneles solares se halla ligeramente por encima de la tensión del banco de baterías.

MPPT: Son más caros, pero mucho más eficientes, porque buscan el punto de máxima potencia de la energía eléctrica generada, optimizando así la carga de las baterías. Así también con la posibilidad de que los paneles produzcan más tensión muy superior a la del banco de baterías.

Inversores

Son elementos importantes en los sistemas de energía solar que transforman la corriente continua que se produce por los paneles solares en corriente alterna, para que la electricidad sea inyectada a una red eléctrica es necesaria la conversión de DC a AC, por lo que se incluye un convertidor DC-DC que es el proporciona un voltaje estable y necesario para realizar la conversión a corriente alterna.

Convertidores Dc-Dc.

Para garantizar la inyección de la electricidad generada por los paneles solares a una red eléctrica se requieren de convertidores DC-DC que tienen como función principal cambiar el voltaje variable que se produce en los paneles solares debido a las condiciones climáticas, a un voltaje continuo y estable.

Baterías

Almacenas la energía generada por los paneles y se cargan por un regulador de carga. Son necesarias en las instalaciones aisladas. Para energía solar fotovoltaica, las baterías deben admitir descargas profundas, en torno al 60%.

Algunas baterías pueden producir emanaciones de gases y deben ser instaladas en lugares ventilados y con adecuada señalización.

Reguladores de carga.

Son vitales en los sistemas solares autónomos, su principal función es el control de flujo de la electricidad en las celdas solares y en las baterías de almacenamiento. Este componente previene al sistema de almacenamiento de posibles sobrecargas e impide que la energía acumulada regrese a las celdas solares cuando no hay luz solar.

Cables y Conectores.

Fundamentales para un sistema de generación fotovoltaica, su función es dar comunicación entre los componentes del sistema: módulos solares, inversores, convertidores, baterías y demás. El tamaño de los cables es determinante para reducir pérdidas de energía provocadas por la resistencia y así tener eficacia en transferencia de energía.

2.3.5 Características eléctricas de un panel

Los parámetros fundamentales que definen un panel son los mismos que se definen para la célula fotovoltaica. Estos son:

- Intensidad de cortocircuito.
- Tensión de circuito abierto.
- Intensidad de pico: intensidad máxima.
- Tensión de pico: tensión máxima.
- Potencia de pico: potencia máxima.
- Factor de forma.
- Eficiencia.
- Punto de máxima potencia.

Las tensiones con las que se configuran los módulos están estandarizadas, lo que las hacen ser muy competitivas a nivel comercial. Es posible diseñar módulos para aplicaciones específicas haciendo una solicitud especial al fabricante, pero su precio es muy elevado. Las tensiones habituales que se pueden encontrar en los paneles fotovoltaicos son de 6, 12 y 24 V. Sin embargo, los más comunes son los de 12 V, porque esta es la tensión

normalizada de las baterías o acumuladores utilizados en instalaciones autónomas(El Módulo Fotovoltaico, 2022).

En las Figuras 1 y 2 se muestran dos ejemplos de módulos fotovoltaicos. En la Figura 1 se utilizan células de 0.5 V y 3 A para construir un módulo de 18 V que trabaja a 3 A máximo con 36 células. En la Figura 2 se utiliza el mismo número y tipo de células para construir un panel que genere 18 V, pero, en este caso, que trabaje con intensidades de 6 A (El Módulo Fotovoltaico, n.d.).

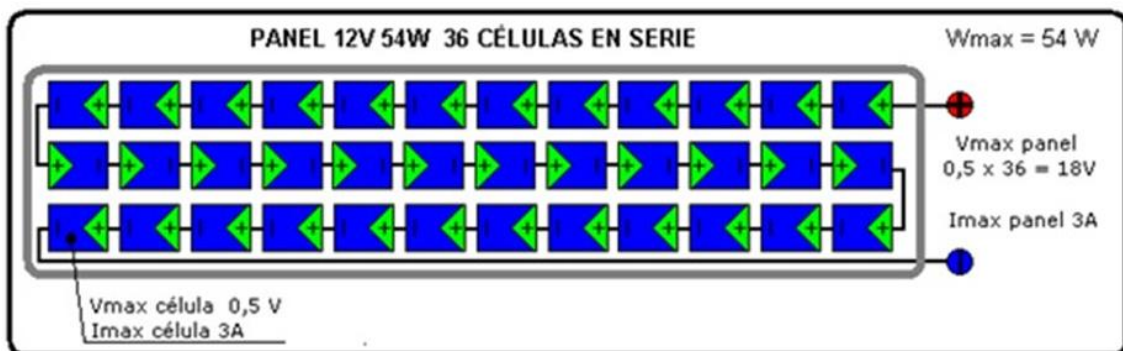


Figura 14. Ejemplo de configuración de las células fotovoltaicas de un panel de 18 V y 3A.

Fuente. (El Módulo Fotovoltaico, 2022)

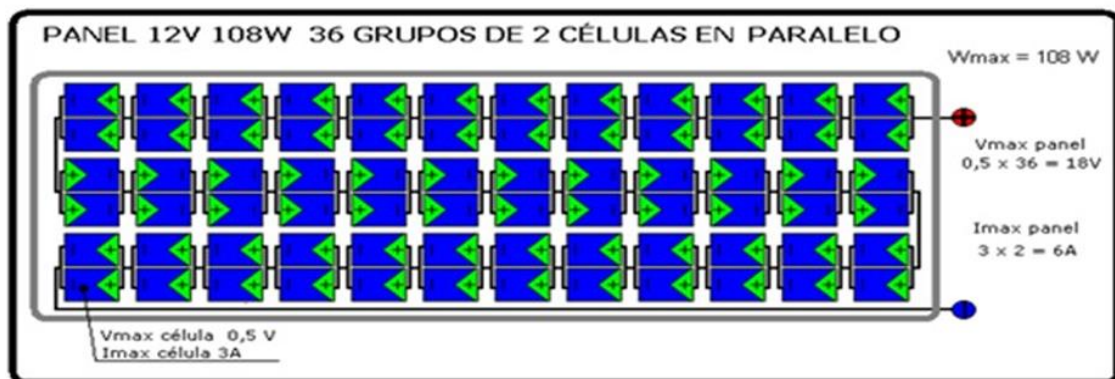


Figura 15. Ejemplo de configuraciones de células fotovoltaicas de un panel de 18 V y 6A.

Fuente.(El Módulo Fotovoltaico, 2022)

2.3.6 Efecto fotovoltaico

La energía solar se transforma directamente en electricidad mediante celdas solares. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir luz sobre materiales semiconductores, así se genera un flujo de electrones en el inferior del material que es aprovechado para desarrollar energía eléctrica.

2.3.7 Efecto de las condiciones meteorológicas

El efecto de la atmosfera desempeña un papel importante en el funcionamiento de las bombas. Con un cielo despejado, la eficiencia de la bomba de agua solar es máxima. Sin embargo, en días nublados y en épocas de lluvia, la radiación indirecta y difusa es baja con una eficiencia menor.

En el contexto amazónico, el uso de sistemas solares aislados es particularmente ventajoso debido a la ubicación remota de muchos pozos petroleros. La disponibilidad de radiación solar en la región oriental del Ecuador, que promedia entre 4,5 y 5,0 kWh/m²/día, permite un aprovechamiento eficiente de esta tecnología.

2.3.8 Aplicación solar en la industria petrolera

El uso de fuentes de energía limpias y renovables en los yacimientos petrolíferos existen hoy en día y ha demostrado ser fiable, eficiente y escalable para sustituir parcialmente la quema de combustible fósiles.

Uno de los motores de esos proyectos son los beneficios directos de los “créditos verdes” en forma de reducciones fiscales que las empresas obtienen de los gobiernos cuando sustituyen la energía generada por combustibles fósiles por fuente de energía limpias. No menos importante es la imagen pública de las empresas, la marca “responsables con el medio ambiente”, es algo que las grandes empresas del sector petrolero compiten por proyectar.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1.1 Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación cuantitativa y aplicada, que propone una solución técnica y económicamente viable a un problema real en la industria petrolera. Se fundamenta en la recolección, procesamiento y análisis de datos numéricos, tanto técnicos como económicos para evaluar la integración de un sistema de energía solar fotovoltaico como suministro energético al levantamiento artificial por bombeo electro sumergible (BES) en el campo Auca Sur.

Según Neill & Cortez Suárez, 2018, la investigación cuantitativa permite obtener resultados objetivos y replicables en base al análisis estadístico de datos, lo cual resulta especialmente útil en proyectos de validación técnica industriales.

3.1.2 Enfoque de la investigación

El enfoque del estudio es técnico, aplicativo y cuantitativo, centrado en la evaluación de parámetros medibles vinculadas a la operación de un sistema BES en el campo Auca Sur. Se analizan variables como la eficiencia energética, el consumo eléctrico, los costos operativos y las emisiones de CO₂, mediante herramientas de simulación, modelado energético y evaluación económica. Al tratarse de un estudio aplicado, permite sustentar técnicamente una propuesta fundamentada bajo criterios de sostenibilidad, optimización operativa y rentabilidad.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está conformada por los 20 pozos activos del campo Auca Sur que operan mediante sistemas de bombeo electro sumergible (BES). Para este estudio se seleccionó una muestra, que corresponde a 4 pozos representativos, lo cual representa un 20% de la población. Esta elección responde a la dificultad de disponer de información técnica para todos los pozos. Los pozos cuales fueron escogidos en función de sus características operativas promedio, como producción diaria, corte de agua, GOR, profundidad, y consumo energético. Esta muestra es considerada adecuada para estudios de tipo técnico-operativo, dado que representa patrones medios del comportamiento de la población y permite extrapolar resultados de manera válida.

Con esta selección se tendrá un análisis técnico detallado, que será posteriormente extrapolados para la estimación del comportamiento energético, técnico y económico del campo.

Los pozos seleccionados corresponden a:

Tabla 5. Pozos e identificación.

Nombre del Pozo	Identificación
Auca Sur 16	CAS-16
Auca Sur 24	CAS-24
Auca Sur 27	CAS-27
Auca Sur 28	CAS-28

Fuente: ARCERNNR, 2022.

Elaborado por: Katty Ordóñez.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La información técnica y operativa se obtuvo de fuentes secundarias, como informes internos por informes internos de la empresa Petroecuador EP, literatura técnica y bases de datos oficiales. Adicionalmente, se utilizaron hojas de cálculo, catálogos de fabricantes de equipos fotovoltaicos y simuladores técnicos para el cálculo de demanda energética, dimensionamiento del sistema fotovoltaico y evaluación económica comparativa. Estas herramientas permitieron establecer parámetros reales de operación y proyectar escenarios de eficiencia y ahorro.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para esta investigación se llevó a cabo cinco fases principales, cumpliendo los objetivos planteados, mediante el uso de herramientas técnicas, bases de datos específicas y simuladores energéticos. A continuación, se detalla cada fase:

3.4.1 Recolección y validación de datos de los pozos representativos

Los pozos seleccionados fueron: CAS-16, CAS-24, CAS-27 y CAS-28, elegidos en función de su comportamiento técnico promedio respecto a la producción, profundidad, corte de agua, consumo energético y condiciones del fluido. Esta selección permite desarrollar un modelo técnico sólido, que puede ser extrapolado al conjunto total de pozos con un nivel aceptable de precisión.

Tabla 6. Parámetros técnicos de los cuatros pozos representativos.

Parámetros técnicos	CAS-16	CAS-24	CAS-27	CAS-28	Unidad
Profundidad total del pozo	9,500	9,450	9,600	9,400	ft
Profundidad del equipo BES	8,000	8,050	8,000	7,900	ft
Producción de líquidos (BFP)	2,000	1,850	2,100	1,950	BPD
Corte de agua (Wcut)	65	70	68	72	%
Relación gas-petróleo (GOR)	120	110	130	115	scf/STB
Presión de fondo (Pwf)	1,250	1,270	1,240	1,260	psi
Presión de burbuja (Pb)	640	650	635	645	psi
Temperatura de fondo	220	221	219	222	°F
Grado API del crudo	25	24.8	25.2	25	°API
Viscosidad del fluido	8.5	9.0	8.3	8.7	cp
Diámetro de la tubería de producción	3.476	3.476	3.476	3.476	in
Potencia del motor BES	58	60	61	59	kW

Fuente: Base en datos operativos de Petroamazonas EP, reportados en

Alvarado León, J. P. A. (2023).

Elaborado por: Katty Ordóñez.

3.4.2. Caracterización del recurso solar en el área del campo

Esta fase comprende la recopilación y análisis de información climática y solar de la región amazónica donde se ubica el campo Auca Sur, caracterizada por condiciones de alta humedad y nubosidad estacional, pero con niveles aceptables de irradiancia para aplicaciones fotovoltaicas.

3.4.2.1 Coordenadas geográficas del campo

Según información técnica de Petroamazonas EP (2023), el campo Auca Sur se localiza entre los siguientes rangos geográficos:

- Latitud: entre 0°34' S y 0°48' S
- Longitud: entre 76°50' W y 76°54' W

Para fines de simulación energética y compatibilidad con plataformas internacionales, se optó como punto representativo del campo la coordenada promedio:

- Latitud: -0.6833°
- Longitud: -76.8667°

3.4.2.2 Irradiancia global

Se utilizó la plataforma PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), una herramienta desarrollada que permite obtener estimaciones precisas de irradiancia solar y generación fotovoltaica para ubicaciones específicas.

La tabla 7 presenta la irradiancia solar promedio diaria mensual correspondiente al punto geográfico representativo del campo Auca Sur.

Tabla 7. Irradiancia diaria promedio mensual en Auca Sur.

Meses	Irradiación (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

Fuente: PVGIS, 2025

Elaborado por: Katty Ordoñez.

3.4.2.3 Temperatura ambiente

La temperatura ambiental es un factor de mucha relevancia en el diseño de sistemas fotovoltaicos, la cual afecta directamente la eficiencia de conversión de los módulos. La tabla 8 presenta la temperatura promedio mensual del campo Auca Sur, obtenidos de PVGIS.

Tabla 8. Temperatura promedio mensual en Auca Sur.

Meses	Temperatura (°C)
Enero	26.3
Febrero	25.4
Marzo	25.6
Abril	24.9
Mayo	24.9
Junio	23.9
Julio	23.6
Agosto	24.5
Septiembre	24.7
Octubre	24.9
Noviembre	25.0
Diciembre	24.1

Fuente: PVGIS, 2025

Elaborado por: Katty Ordoñez.

3.4.2.4 Pérdidas estimadas del sistema

Para el presente estudio se optó un valor global de pérdidas del 14%, en concordancia con el valor por defecto utilizado por la herramienta PVGIS (ver figura 20) y alineado con referencias técnicas internacionales para sistemas instalados en climas tropicales húmedos como el de la región amazónica. Este valor se utilizará para ajustar la estimación de la generación eléctrica del sistema fotovoltaico y calcular el rendimiento neto esperado.

Cursor: -0.664, -76.848 **Use terrain shadows:**
Selected: -0.683, -76.867 Calculated horizon
Elevation (m): 287 Upload horizon file Ningún archivo seleccion
PVGIS ver. 5.3

GRID CONNECTED **PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV**

TRACKING PV
OFF-GRID
MONTHLY DATA
DAILY DATA
HOURLY DATA
TMY

Solar radiation database* PVGIS-ERA5
PV technology* Crystalline silicon
Installed peak PV power [kWp]* 1
System loss [%]* 14
Fixed mounting options
Mounting position* Free-standing
Slope [°]* 35 Optimize slope
Azimuth [°]* 0 Optimize slope and azimuth
 PV electricity price
PV system cost (your currency)
Interest [%/year]
Lifetime [years]

Figura 16. Valor de pérdidas estimadas del sistema fotovoltaico en PVGIS.

Fuente: PVGIS, 2025.

3.4.3 Cálculo de la demanda energética del sistema BES

El sistema bombeo eléctrico-sumergible no solo considera la potencia del motor de la bomba, sino también el consumo y pérdidas de los componentes de superficie como sensores, cableado, tableros eléctricos, variadores de frecuencia y transformadores. Entonces, se aplicó un factor de corrección del 15% ajustado a estándares técnicos y experiencia en la industria petrolera.

Para este cálculo se parte de los datos técnicos de cuatro pozos representativos (CAS-16, CAS-24, CAS-27 y CAS-28) y se extrapola al total de los 20 pozos activos que operan con sistemas BES en el campo Auca Sur, tal como se observa en la tabla x a continuación:

Tabla 9. Parámetros considerados.

Parámetros	Descripción
Potencia promedio del motor	Promedio de los 4 pozos: 59.5 kW
Horas de operación	24 horas al día
Días de operación	365 días
Número total de pozos	20 pozos activos
Factor de pérdidas de superficie	15% adicional por componentes eléctricos de superficie

Elaborado por: Katty Ordóñez.

Cálculo del consumo diario estimado (total campo):

Potencia diaria promedio por pozo (kWh/día):

$$59.5 \text{ kW} * 24\text{h} = 1428 \text{ kWh/día}$$

Consumo diario de los 20 pozos:

$$1428 \text{ kWh/día} * 20 \text{ pozos} = 28560 \text{ kWh/día}$$

Aplicando factor de pérdidas de superficie (15%):

$$28560 \text{ kWh/día} * 1.15 = 32844 \text{ kWh/día}$$

Consumo energético anual estimado:

$$32844 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 365 \text{ días} = 11.988 \text{ GWh/año}$$

El consumo energético total estimado para los 20 pozos activos asciende a aproximadamente 11.988 GWh/año (equivalente a 11988 kWh/año), valor que representa la demanda energética que se desea cubrir mediante la integración del sistema fotovoltaico.

3.5.4 Diseño y simulación del sistema fotovoltaico

Con el valor de la demanda energética anual de 11.988 GWh/año, se dimensionará un sistema fotovoltaico autónomo con almacenamiento en baterías para el campo Auca Sur, tal que cubrirá el 100% de la demanda del sistema de bombeo electro sumergible sin depender del uso de combustibles fósiles.

Esta configuración permite garantizar un suministro eléctrico continuo durante las 24 horas del día, incluso en condiciones de baja irradiación o ausencia de sol, como ocurre en noches o días nublados.

La simulación se realizó con el software PVsyst, considerando la irradiancia local, las pérdidas estimadas del sistema (14%) y una autonomía mínima de respaldo mediante baterías, para cubrir el consumo en horas sin sol.

3.5.4.1 Cálculo de la energía solar requerida neta

Para cubrir completamente la demanda eléctrica diaria del sistema BES, estimada en 32844 kWh/día, y considerando un índice de pérdidas del 14% (por temperatura, suciedad, cableado, y componentes), se ajusta el requerimiento energético bruto mediante la siguiente relación:

$$\textit{energía solar bruta} = \frac{11.988 \text{ GWh/año}}{0.86} = 13.94 \text{ GWh/año}$$

Sin embargo, debido a que el sistema funcionará de forma aislada (fuera de red), se requiere energía adicional para cargar las baterías. Asumiendo que el 40% del consumo diario debe ser respaldado por almacenamiento (equivalente a 5–10 horas de autonomía), la energía solar anual neta requerida es:

$$\textit{energía solar requerida} = \frac{11.988 \text{ GWh/año}}{0.86} + (0.40 * 11.988 \text{ GWh/año})$$
$$\textit{energía solar requerida} = 18.734 \text{ GWh/año}$$

3.5.4.2 Cálculo de la capacidad instalada necesaria

La potencia instalada necesaria del sistema fotovoltaico se calcula mediante la siguiente expresión, considerando una irradiancia solar promedio (Horas Pico Solar, HPS) de 3.96 kWh/m²/día:

$$\textit{Potencia necesaria} = \frac{\textit{energía solar necesaria}}{\textit{HPS} * 365}$$

$$\text{Potencia necesaria} = \frac{18734 \text{ kWh}}{3.96 \text{ kWh/m}^2/\text{día} * 365 \text{ días}} = 12961 \text{ kWp}$$

Por tanto, se requiere instalar una planta fotovoltaica de aproximadamente 12.96 MWp para cubrir la totalidad de la demanda energética del sistema de bombeo, incluyendo respaldo nocturno mediante almacenamiento en baterías.

3.5.4.3 Dimensionamiento del sistema

Con base a la potencia necesaria de 12.96 MWp, se procedió al dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico mediante el software PVsyst 8.0, bajo la configuración de un sistema autónomo (off-grid) con almacenamiento en baterías. Esta elección responde al objetivo de cubrir 100% de la demanda energética del sistema BES del campo Auca Sur sin dependencia de fuentes externas, ya sea red eléctrica o generadores fósiles.

La figura 17 muestra la selección del tipo de diseño y simulación del proyecto, lo cual se eligió la opción Sistema independiente con almacenamiento (baterías).

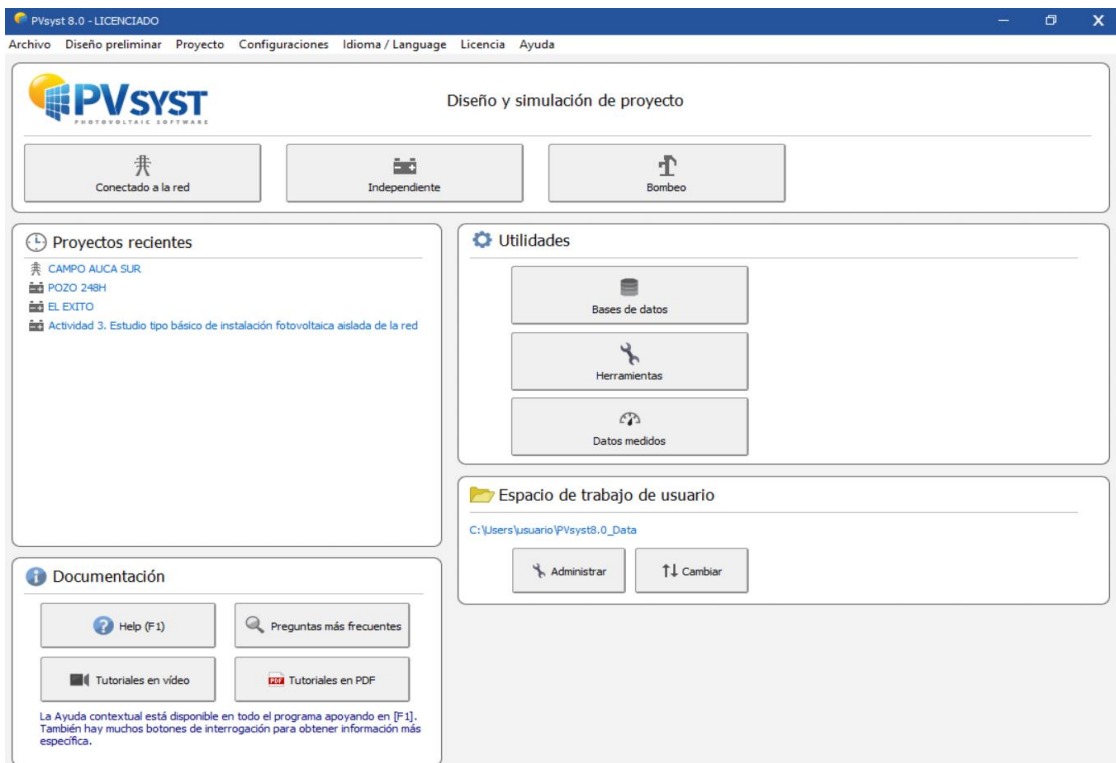


Figura 17. Tipo de diseño y simulación.

Fuente: PVsyst, 2025.

La figura 18 ilustra la ubicación geográfica del campo Auca Sur, donde se realizará el estudio.

Figura 18. Ingreso de datos geográfico del campo Auca Sur.

Fuente: PVsyst, 2025.

Posteriormente, se importa los datos meteorológicos y configura la orientación del sistema (Figura 19), con un montaje fijo metálico, porque es más simple, económico y confiable en clima amazónico con alta humedad. La inclinación del plano igual a 12° , que favorece el drenaje de lluvia y evita suciedad, y un azimut 0° (orientación norte), óptimo para maximizar la captación solar de acuerdo con la latitud del sitio.

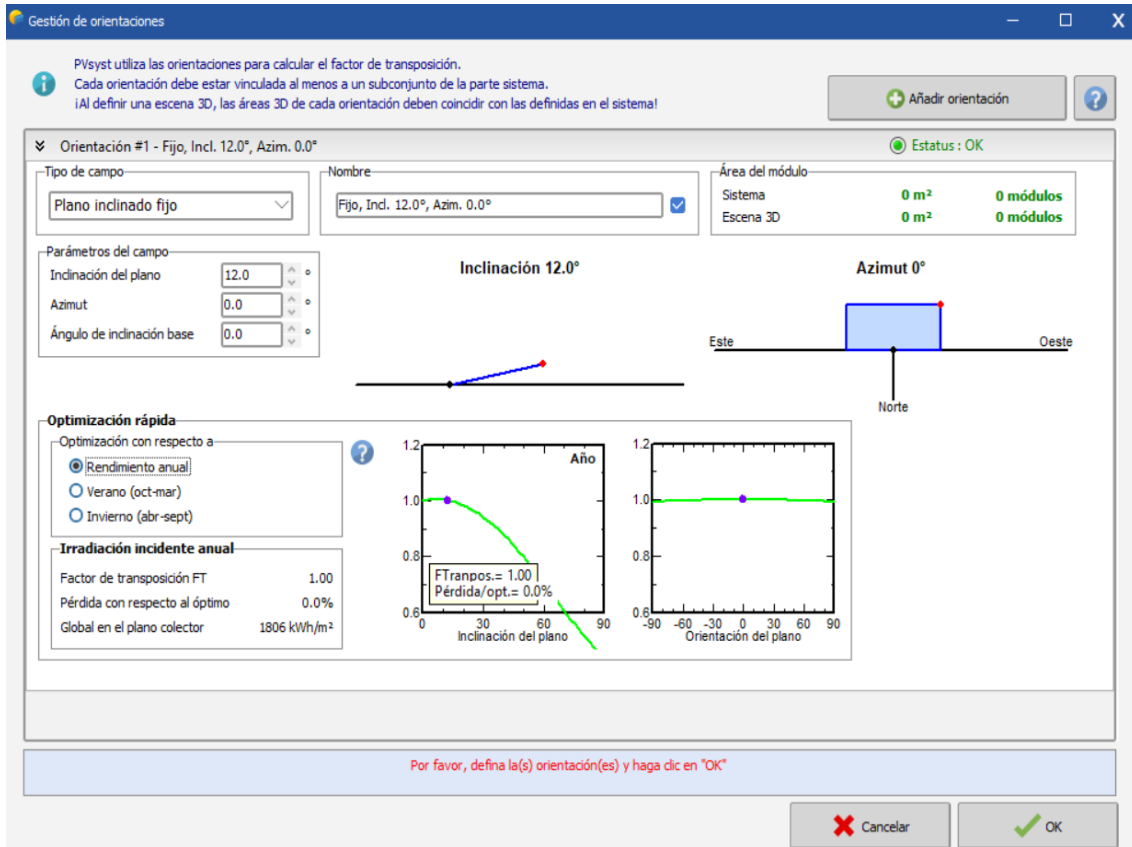


Figura 19. Orientación del sistema.

Fuente: PVsyst, 2025.

En el siguiente apartado, se ingresa la demanda constante, que es 32844 kwh/día, correspondiente al consumo diario del BES que se requiere en el campo. Esta carga fue distribuida de manera uniforme a lo largo de las 24 horas (Figura 20), lo que representa una operación continua del sistema de bombeo.

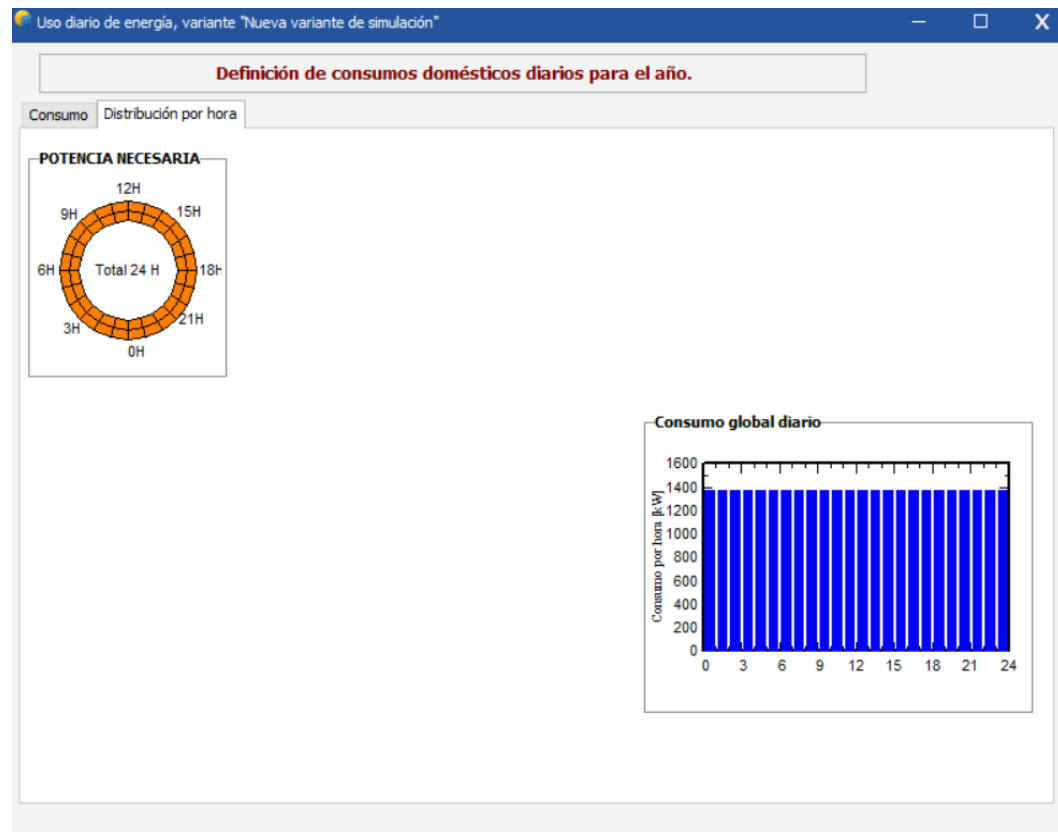
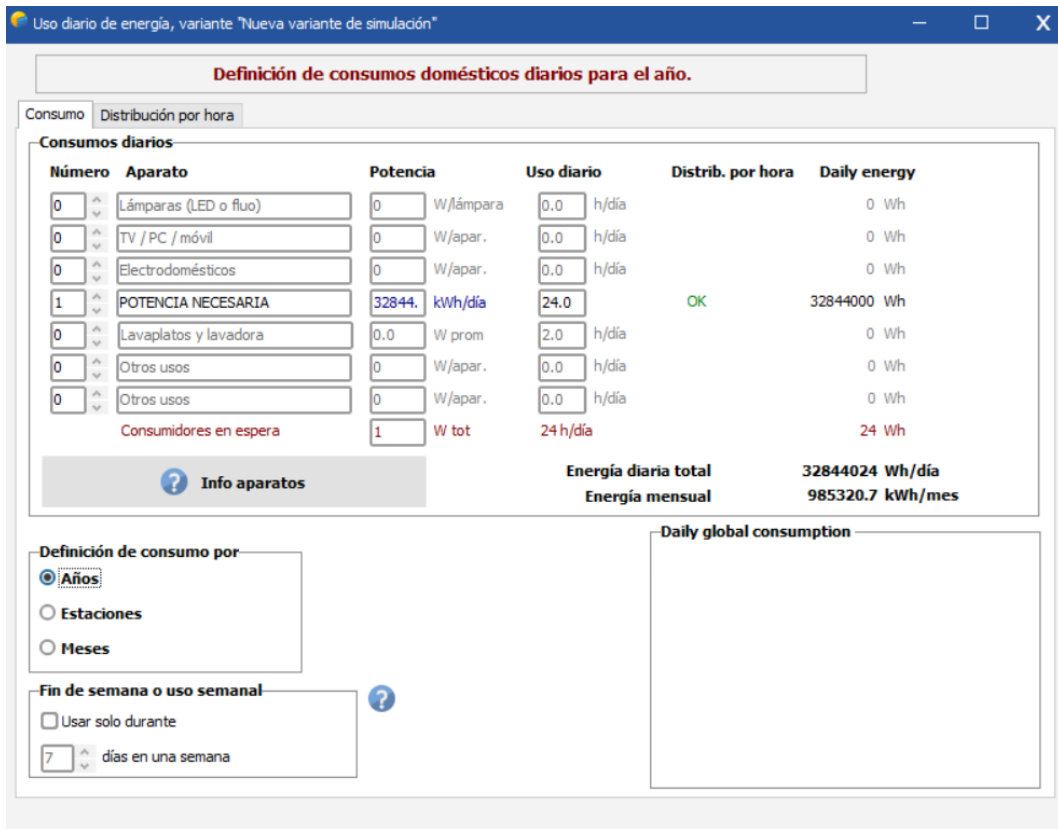


Figura 20. Definición del consumo diario.

Fuente: PVsyst, 2025.

Para garantizar un abastecimiento nocturno o días nublados, se implementará un sistema de almacenamiento se basa en baterías de litio (LiFePO₄) modelo Magna-UTL-373DC por su alta eficiencia, profundidad de descarga, larga vida útil (10–12 años) y bajo mantenimiento.

PVsyst recomienda una configuración con una autonomía de respaldo de 10 horas (0.42 días), suficiente para cubrir las horas sin radiación solar directa.

Con base en la demanda diaria, se configuró una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 13.8 MWh útiles, compuesta por baterías con una tensión de trabajo de 1331 V y 290 Ah cada una. El software sugirió un total de 386 estantes o unidades de almacenamiento, como se muestra en la Figura 21.

Esta capacidad permite operar los pozos de forma continua durante la noche o ante eventos de baja irradiancia, asegurando un sistema completamente autónomo y libre de emisiones de carbono.

The screenshot displays the PVsyst software interface for battery configuration. At the top, there are input fields for 'Necesidades diarias prom.' (32.8 MWh/día), 'Ingrese PLOL aceptado' (5.0%), 'Autonomía solicitada' (4.0 días), 'Voltaje de batería' (1200 V), 'Capacidad sugerida' (116106 Ah), and 'Potencia FV sugerida' (9.16 MWp). Below this is a 'Pre-dimens. detallado' button and tabs for 'Almacenamiento', 'Diseño de subconjunto', 'Respaldo', and 'Esquema Simplificado'.

The 'Procedimiento' section lists four steps:

1. Pre-dimensionamiento: Defina las condiciones de pre-dimensionamiento deseadas (PLOL, autonomía, voltaje de la batería)
2. Almacenamiento: Defina la batería (las casillas de verificación predeterminadas se acercarán al pre-dimensionamiento)
3. Diseño generador FV: Diseñe el generador FV (módulo FV) y el modo de control. Se recomienda comenzar con un controlador universal.
4. Respaldo: Defina un grupo electrógeno eventual

The 'Especifique el conjunto de batería' section shows:

- Order by: voltaje, capacidad, fabricante
- Search: Great Power, 1331 V, 290 Ah, Li LFP, Magna-UTL-373DC, Desde 2024, [Abrir]
- Category: Lithium-ion, La batería seleccionada es una estante
- Configuration:
 - 1 estante en serie (checked)
 - 386 estantes en paralelo (checked)
 - 100.0% Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos)
 - 100.0% Estado inicial de desgaste (estático)
- Summary:
 - Voltaje paquete de baterías: 1331 V
 - Capacidad global: 116138 Ah
 - Energía almacenada (80% DOD): 134113 kWh
 - Peso total: 1544000 kg
 - Núm. de ciclos a 80% DOD: 5000
 - Energía total almacenada durante la vida útil de la batería: 626408 MWh

Figura 21. Definición de batería.

Fuente: PVsyst, 2025.

El sistema se dimensionó para cubrir una potencia de 12961 kW_p, utilizando módulos Jinksolar JKM-400M-54HL4, de 400 W_p, tipo monocristalino, con eficiencia superior al 20%, ya que son el estándar comercial más utilizado en proyectos grandes conectados a

red. El software recomienda un total de 32400 módulos organizados en 18 módulos por string en serie y 1800 strings en paralelo (figura 26).

Cálculo del número de string:

$$\frac{12961000W}{400W * 18serie} = 1800 string$$

El sistema incorporará 30 controladores MPPT universales, recomendados por PVsyst, con una potencia nominal de 1,000 W y tensión de entrada de hasta 1,331 V, compatibles con la configuración del banco de baterías y los módulos solares seleccionados.

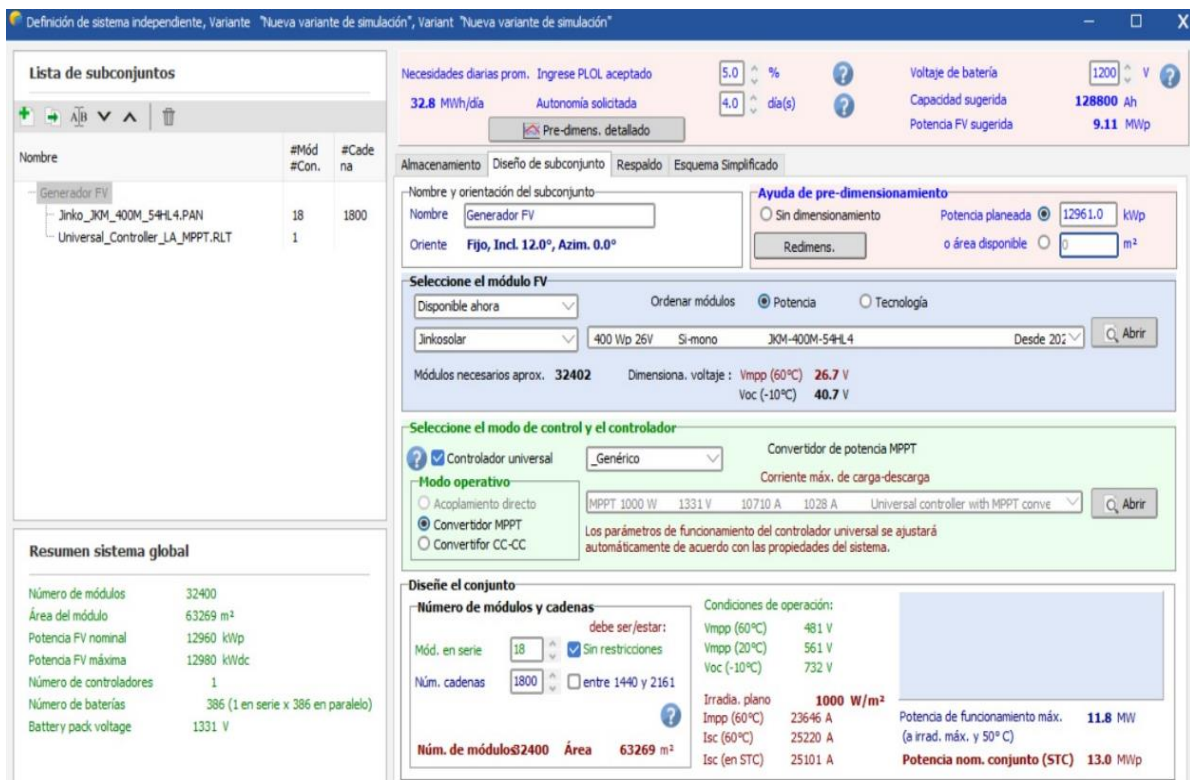


Figura 22. Diseño del sistema.

Fuente: PVsyst, 2025.

3.4.5 Evaluación económica y ambiental

3.4.5.1 Inversión inicial

La inversión inicial representa el desembolso de capital necesario para la integración del sistema fotovoltaico autónomo con almacenamiento diseñado para cubrir el consumo energético de los pozos del campo Auca Sur.

El sistema tiene una capacidad instalada de 12961 *kWp*, conformado por 32400 módulos FV Jinko Solar de 400 Wp, 386 baterías de litio Magna-UTL-373DC, un conjunto de controladores MPPT y sus respectivos componentes de infraestructura.

Los costos se han estimado en base a cotizaciones de mercado, fichas técnicas oficiales y proyectos similares (ver anexo A-D).

A continuación, se presenta el detalle estimado de inversión inicial:

Tabla 10. Detalle de Inversión inicial.

Componente	Cantidad	Costo	Costo
		Unitario	total
		kuk	USD
Módulos FV JKM-400M-54HL4 (400 Wp)	32400	120	3888000
Estantes de baterías LiFePO ₄ (Magna UTL-373DC)	386	3400	1312400
Controlador Universal controller with MPPT	30	2,800	84000
Cableado e interconexión	1 lote	150000	150000
Soportes metálicos para 4 paneles	8069	80	645520
Mano de obra	Global	280000	280000
Total, estimado			6359920

Fuente: Elaboración propia con base en precios de mercado y fichas técnicas, 2025.

Elaborado por: Katty Ordoñez.

3.4.5.2 Comparativo Económico: Generación por Combustibles Fósiles vs. Sistema Fotovoltaico

Actualmente, los 20 pozos con sistema de Bombeo Electro Sumergible (BES) en el campo Auca Sur operan con generación eléctrica proveniente de combustibles fósiles, mediante plantas térmicas a base de diésel. Si bien esta modalidad permite mantener la operación en zonas sin acceso a la red eléctrica nacional, representa elevados costos operativos debido al precio del combustible, mantenimiento de los generadores y logística asociada.

Este análisis compara el gasto energético actual asociado a la generación térmica con diésel frente al escenario propuesto, que contempla la integración de un sistema fotovoltaico de 12961 kWp para cubrir el 100% de la demanda energética total anual estimada de 11.988 GWh.

Para efectos del presente análisis, se consideró un consumo específico promedio de 0.27 litros de diésel por kWh generado, valor típico para grupos electrógenos industriales operando entre el 70% y 80% de su capacidad nominal, en condiciones estándar. Este valor se encuentra respaldado por datos técnicos de eficiencia de generadores diésel en aplicaciones de potencia media (ver Anexo F).

Asimismo, se estimó un precio promedio del diésel industrial de USD 1.10 por litro, valor calculado con base en reportes oficiales de la ARCERNNR y listas de precios de EP Petroecuador para suministro no subsidiado en zonas operativas aisladas (ver Anexo G).”

Escenario actual (con diésel):

- Energía requerida: 11.98 GWh/año
- Consumo específico de diésel: 0.27 litros/kWh
- Precio promedio del diésel industrial: 1.10 USD/litro
- Costos de mantenimiento estimados: 10% del gasto en combustible (fuente: IRENA, 2022)

Cálculos estimados:

Consumo total de diésel:

$$\text{Consumo total de diesel} = 11988000 \text{ kWh/año} * 0.27 \text{ litro/kWh}$$

Consumo total de diesel = 3236760 litros/año

Gasto anual en combustible:

Gasto anual = 3236760 litros * 1.10 USD/Litro

Gasto anual = 3560436 USD

Costo de mantenimiento:

Costo de mantenimiento = 3560436 USD * 0.10 = 356044 USD

Gasto total anual:

Gasto total anual = 3560436 USD + 356044 USD = 3916480 USD

Costo de energía con diésel:

$$\text{costo de energía con diesel} = \frac{3916480 \text{ USD}}{11988000 \text{ Wh/año}}$$

costo de energía con diesel = 0.3267 USD/kWh

Para determinar el valor por cada kWh en un escenario fotovoltaico, nos basaremos al análisis de LCOE (Levelized Cost of Energy), es un indicador económico ampliamente utilizado en proyectos de energía y calcula de forma simple, transparente y técnicamente válida. Este considera la inversión inicial, los costos operativos anuales y la producción energética acumulada durante 20 años.

Escenario propuesto (Sistema fotovoltaico autónomo con baterías):

Inversión inicial CAPEX: USD 6359920

Vida útil total del sistema: 20 años

Vida útil de baterías LiFePO₄: 10–12 años. Asumiremos un reemplazo completo al año 10, entonces un valor adicional es de 13124000 por 10 años más.

Vida útil de controladores MPPT: 10 años promedio.

Entonces es un valor adicional de 84000 por 10 años más.

Costos de O&M anual estimado:

Paneles, estructuras, cableado: 1.5% del CAPEX \approx USD 95399/año

Mantenimiento adicional estimado de baterías y electrónica: USD 15000/año (promedio en sistemas off-grid de gran escala)

Energía generada: 11988000 kWh/año

Cálculo estimado:

$$LCOE = \frac{\text{Inversión inicial} + \sum_{t=1}^n \text{Costo O\&M}_t}{\sum_{t=1}^n \text{Energía generada}_t}$$

LCOE

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

$$LCOE = \frac{6359920 \text{ USD} + (110399 \text{ USD/año} * 20 \text{ años}) + 1396400}{11988000 \text{ kWh/año} * 20 \text{ años}}$$

$$LCOE = 0.0415 \text{ USD/kWh}$$

Este resultado indica que el costo nivelado de energía del sistema fotovoltaico es significativamente inferior al del sistema actual basado en diésel (USD 0.3267 /kWh), lo que evidencia una ventaja económica sustancial. El cálculo fue desarrollado siguiendo la metodología del IRENA (2020) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, 2021).

3.4.5.3 Ahorro económico

El ahorro económico directo que representa la integración del sistema fotovoltaico se basa en la diferencia entre el costo actual de generación eléctrica mediante diésel y el costo nivelado (LCOE) del sistema solar diseñado para cubrir el 100 % del consumo de los 20 pozos BES en el campo Auca Sur.

Costo actual con diésel:

$$\text{costo diesel} = 1168000 \text{ kWh} * 0.3267 \text{ USD/kWh}$$

$$\text{costo diesel} = 3815856 \text{ USD/año}$$

Costo con sistema fotovoltaico:

$$\text{costo fotovoltaico} = 11680 \text{ kWh} * 0.0415 \text{ USD/kWh}$$

$$\text{costo fotovoltaico} = 484720 \text{ USD/año}$$

Ahorro anual estimado:

$$3815856 \text{ USD/año} - 484720 \text{ USD/año} = 3331136 \text{ USD/año}$$

3.4.5.4 Evaluación del valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los principales indicadores financieros para evaluar la viabilidad económica de un proyecto. Su propósito es determinar si los ingresos proyectados (ahorros en este caso) superan la inversión inicial, una vez descontados a una tasa de interés definida.

Para este estudio, el VAN se calcula con una tasa de descuento del 5,25%, correspondiente al promedio de tasas activas referenciales para proyectos de largo plazo en Ecuador, según datos del Banco Central del Ecuador (2025).

La ecuación utilizada es:

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

Donde:

- Flujo de caja neto (ahorro neto anual)
- Tasa de descuento (5.25%)
- Año del flujo
- Inversión inicial del proyecto

Parámetros del proyecto:

- Inversión inicial (CAPEX): USD 6359920
- Ahorro anual estimado: USD 3331136
- Costos anuales de O&M: USD 110399
- Flujo neto anual: USD 3220737 (Ahorro - O&M)
- Periodo de análisis: 20 años
- Tasa de descuento: 5.25% =0.0525

Entonces, tenemos un valor de VAN de:

$$VAN = -6359920 + \sum_{t=1}^{20} \frac{3220737}{(1+0.0525)^t}$$
$$VAN = \mathbf{USD\ 32940229.74}$$

3.4.5.5 Evaluación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es otro indicador financiero clave que representa la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Permite conocer la rentabilidad esperada del proyecto en términos porcentuales.

La fórmula general es:

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

Donde:

I = Inversión inicial (USD6359920)

V_t = Flujo neto anual (USD 3220737)

TIR = Tasa Interna de Retorno que se desea determinar

t = año del flujo

Entonces, tenemos un valor de TIR de:

$$0 = -6359920 + \sum_{t=1}^{20} \frac{3220737}{(1 + TIR)^t}$$
$$TIR = 50.63 \%$$

3.4.6.1 Reducción de emisiones de CO₂

Una de las ventajas más relevantes de implementar un sistema solar fotovoltaico en reemplazo de generación eléctrica con diésel es la reducción significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, en particular de dióxido de carbono (CO₂).

El cálculo se realiza en base a los factores de emisión establecidos por organismos internacionales como la Agencia Internacional de Energía (IEA) o el IPCC. Se considera que por cada kWh generado mediante combustión de diésel se emiten aproximadamente 0.7 kg de CO₂ (valor promedio referencial).

Parámetros de cálculo:

Energía reemplazada: 11,988,000 kWh/año

Factor de emisión del diésel: 0.7 kg CO₂/kWh

Calculo:

Emisiones evitadas (kg CO₂/año) = 11988000 kWh/año * 0.7 kg CO₂/kWh

Emisiones evitadas (kg CO₂/año) = 8391.6 tonCO₂/año

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo presenta el análisis detallado de los resultados obtenidos a partir de la simulación, dimensionamiento y evaluación del sistema solar fotovoltaico propuesto para cubrir el 100% de la demanda energética del sistema de bombeo electro sumergible (BES) del campo Auca Sur. A través de herramientas como PVGIS y PVSyst, se analizaron variables clave como la irradiancia solar, el consumo energético diario, la capacidad instalada, la inversión requerida, los indicadores financieros y la reducción de emisiones de CO₂.

4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA Y ENERGÉTICA

Con base en los datos climáticos obtenidos del sistema PVGIS, se determinó que la irradiancia promedio diaria anual en el campo Auca Sur es de 3.96 kWh/m²/día, parámetro inicial para la simulación del sistema en PVSyst, la cual determinó una potencia instalada óptima de 12.961 MWp para cubrir la demanda energética anual de 11.988 GWh del conjunto de 20 pozos BES operativos del campo.

El sistema fue configurado como autónomo (off-grid), con respaldo de baterías LiFePO₄, diseñadas para proporcionar 10 horas de autonomía energética, equivalente a 13.8 MWh útiles. El sistema está compuesto por 32400 módulos fotovoltaicos Jinko Solar de 400 Wp, distribuidos en 18 módulos por string en serie y 1800 strings en paralelo (Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros técnicos principales del sistema fotovoltaico.

Parámetros	Descripción
Tipo de sistema	Autónomo (off-grid) con almacenamiento en baterías
Potencia instalada	12.961 MWp
Módulos FV	32400 unidades Jinko Solar de 400 Wp
Configuración	18 módulos en serie por string, 1800 strings en paralelo
Tipo de batería	386 estantes LiFePO ₄ (Magna UTL-373DC)
Controlador	30 universal controller with MPPT
Autonomía de respaldo	10 horas (13.8 MWh útiles)
Irradiancia promedio diaria	3.96 kWh/m ² /día
Área ocupada estimada	63269 m ²

Elaborado por: Katty Ordóñez.

Se presentan los siguientes elementos gráficos que sustentan la caracterización energética del sistema:

Representa la variación mensual de la irradiación solar diaria (kWh/m²/día), utilizada como base para el diseño energético.

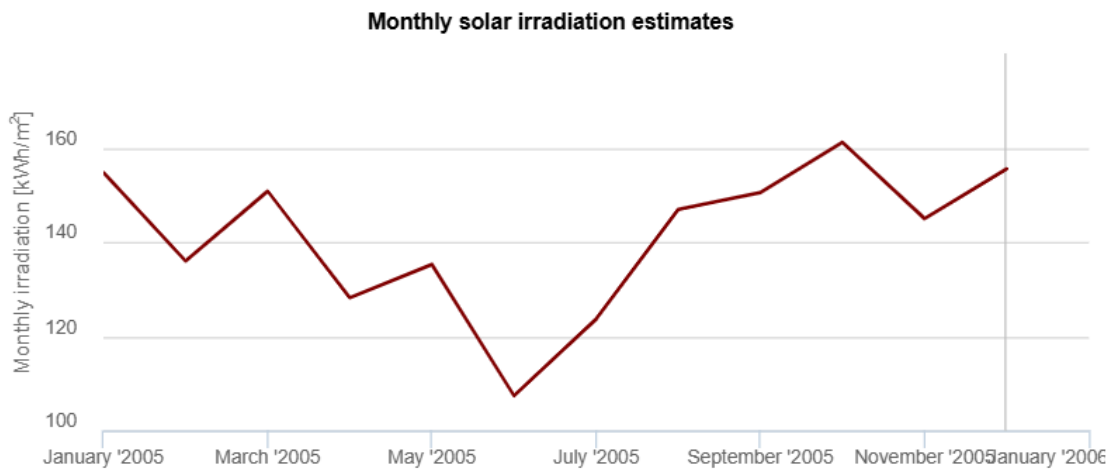


Figura 23. Irradiancia mensual promedio del campo Auca Sur.

Fuente: PVGIS, 2025.

En la Figura 28 se ilustra la configuración general del sistema autónomo, incluyendo módulos, inversores, controladores y banco de baterías.

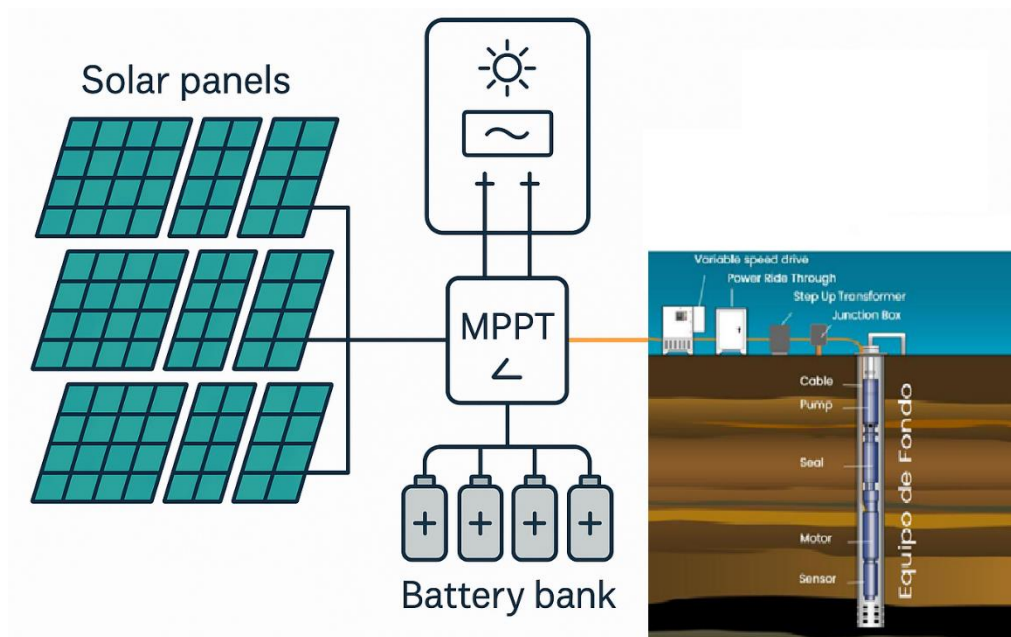


Figura 24. Diseño esquemático del sistema modelado en PVsyst.

Elaborado por: Katty Ordóñez.

4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El análisis económico comparativo indica que el costo nivelado de electricidad (LCOE) del sistema propuesto es de 0.0415 USD/kWh, muy por debajo del costo actual de generación con diésel, que asciende a 0.3267 USD/kWh. Esto permite un ahorro anual estimado de USD 3,331,136.

Utilizando una tasa de descuento del 5.25%, el Valor Actual Neto (VAN) se calculó en USD 32940229.74, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) fue del 50.63 %, lo que valida la factibilidad financiera del proyecto.

Tabla 12. Comparación entre costos por energía térmica vs. fotovoltaica.

Parámetros	Generación con diésel	Sistema Fotovoltaico Autónomo
Energía generada (anual)	11.988 GWh	11.988 GWh
Costo unitario por kWh	0.3267 USD/kWh	0.0415 USD/kWh
Gasto anual estimado	3916480 USD	484720 USD
Costo de mantenimiento anual	356044 USD (10% del total)	Incluido en O&M (110399 USD)
Dependencia de combustibles fósiles	Alta	Nula

Elaborado por: Katty Ordóñez.

Tabla 13. Flujo de caja proyectado a 20 años.

Año	Inversión Inicial (USD)	Ahorro Anual (USD)	O&M Anual (USD)	Flujo Neto (USD)	Flujo Acumulado (USD)
0	-6359920	0	0	-6359920	-6359920
1	0	3331136	110399	3220737	-3139183
2	0	3331136	110399	3220737	81554
3	0	3331136	110399	3220737	3302291
4	0	3331136	110399	3220737	6523028
5	0	3331136	110399	3220737	97430765
6	0	3331136	110399	3220737	12964502
7	0	3331136	110399	3220737	16185239
8	0	3331136	110399	3220737	19405976
9	0	3331136	110399	3220737	22626713
10	0	3331136	110399	3220737	25847450
11	0	3331136	110399	3220737	29068187
12	0	3331136	110399	3220737	32288924
13	0	3331136	110399	3220737	35509661
14	0	3331136	110399	3220737	38730398
15	0	3331136	110399	3220737	41951135
16	0	3331136	110399	3220737	45171872
17	0	3331136	110399	3220737	48392609
18	0	3331136	110399	3220737	51613346
19	0	3331136	110399	3220737	54834083
20	0	3331136	110399	3220737	58054820

Elaborado por: Katty Ordóñez.

4.3 EVALUACIÓN AMBIENTAL

La implementación del sistema solar permite reemplazar completamente el uso de generación térmica basada en diésel, evitando así la emisión de aproximadamente 8391.6 toneladas de CO₂ al año. Esta reducción representa una importante contribución a los objetivos de desarrollo sostenible, mitigación del cambio climático y cumplimiento de metas ambientales nacionales e internacionales.

Tabla 14. Estimación anual de emisiones evitadas de CO₂.

Parámetros	Generación con diésel	Sistema Fotovoltaico Autónomo
Emisiones anuales de CO ₂	8391.6 toneladas de CO ₂	0

Elaborado por: Katty Ordóñez.

La Figura 29 representa visualmente la eliminación total de emisiones asociadas a la operación eléctrica en los 20 pozos BES del campo Auca Sur.

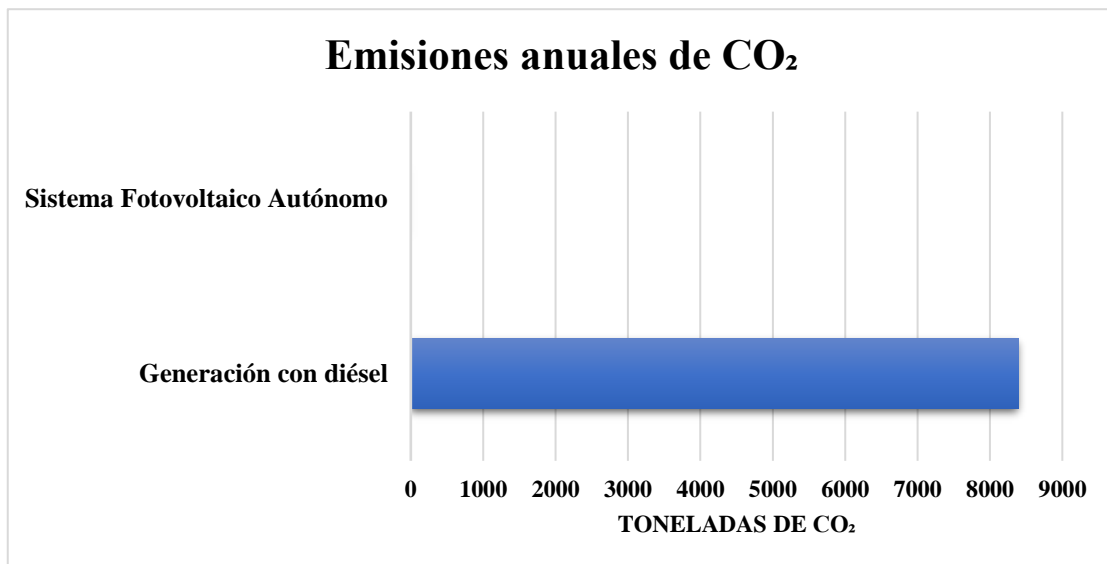


Figura 25. Comparación gráfica entre emisiones de CO₂ generadas por diésel y sistema fotovoltaico.

Elaborado por: Katty Ordóñez

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A partir del análisis técnico realizado, se concluye que es posible abastecer la totalidad de la demanda eléctrica de los 20 pozos con bombeo electro sumergible (BES) mediante una planta solar autónoma con almacenamiento en baterías, sin necesidad de recurrir a fuentes fósiles.

La irradiancia solar promedio diaria anual de 3.96 kWh/m²/día, combinada con temperaturas estables, respalda técnicamente la viabilidad del sistema. Esta información fue clave en la simulación energética y en el dimensionamiento de los módulos y el almacenamiento requerido.

El sistema contempla una potencia instalada de 12.961 MW_p, junto con almacenamiento de 13.8 MWh útiles para una autonomía de 10 horas. La arquitectura general fue definida con 32400 módulos solares, 386 baterías de litio LiFePO₄ y controladores de carga de alta eficiencia, asegurando un funcionamiento estable y confiable.

Con un LCOE estimado de 0.0415 USD/kWh, frente al costo de 0.3267 USD/kWh de generación diésel, se confirma un ahorro económico sustancial. El proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) superior a 34 millones de dólares y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 50.63 %, indicadores que validan su viabilidad financiera.

Los flujos de caja proyectados demuestran que la inversión inicial puede ser recuperada en un plazo aproximado de tres años, lo cual resulta muy atractivo en proyectos de infraestructura energética de largo plazo.

La sustitución de fuentes fósiles por energía solar evita la emisión de más de 8390 toneladas de dióxido de carbono al año, lo que representa un avance importante hacia la reducción de huella de carbono en operaciones petroleras.

5.2 RECOMENDACIONES

Antes de la ejecución total, se recomienda desarrollar una fase piloto con un subconjunto de pozos, lo que permitirá validar los resultados proyectados, ajustar parámetros técnicos y adquirir experiencia operativa.

El carácter ambientalmente responsable del proyecto lo hace elegible para ser presentado ante fondos climáticos, programas de cooperación internacional o iniciativas de transición energética, tanto públicas como privadas.

Se aconseja establecer un cronograma de mantenimiento periódico y programar con anticipación la reposición de baterías y controladores, cuya vida útil es inferior a la del resto del sistema, con reemplazos proyectados cada 10 años.

La operación del sistema fotovoltaico requiere conocimientos técnicos específicos. Por ello, se sugiere realizar talleres y capacitaciones dirigidas al personal técnico del campo para garantizar un uso eficiente y autónomo del sistema.

Considerando los resultados obtenidos, se recomienda extender este tipo de soluciones a otras áreas petroleras con condiciones similares de aislamiento energético, alta demanda eléctrica y costos elevados por uso de combustibles fósiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alex Xavier Guerrero López, & Pablo Fernando Valencia Martínez. (n.d.). *Investigacion y prognosis de pozos a perforar en los campos Auca- Auca Sur.*
- Baby, Patrice, ed, Rivadeneira, & Barragan. (2004). *La cuenca oriente : geologia y petroleo.*
- Baker Hughes. (2019). *Levantamiento Artificial Sistema de Bombeo Electrosumergible ESP.*
- Benton, K. (n.d.). *Digital Commons @ Montana Tech A LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A DIESEL GENERATOR SET Provided by Digital Commons @ Montana Tech.* http://digitalcommons.mtech.edu/grad_rsch
- Calispa Chiliguano, & Gabriela Proaño. (2011). *OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO AUCA MEDIANTE ANÁLISIS NODAL.*
- Edgard R, & Jarod A. (2023). EVALUACIÓN DEL REDISEÑO DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE PRESENTES EN UN CAMPO DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBURO. *Marzo.* <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1c7fdcf6-2a60-47c1-addc-68ccae865c6f/content>
- El Módulo Fotovoltaico, T. 3. (2022). *Energía Solar Fotovoltaica.*
- Hurtado, I. F., Sarduy, J. R. G., Felipe, P. R. V., Santos, V. S., & Oqueña, E. C. Q. (2021). The smart grid concept applied to an industrial electrical system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 12(4), 2140–2150. <https://doi.org/10.11591/ijped.v12.i4.pp2140-2150>
- Jan Pierre Alvaro Leon. (2023). *Analisis tecnico-economico para la optimizacion de la produccion con bombeo electrosumergible en el campo auca.* <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24457/1/CD%2013381.pdf>

- José, M., Franco, P., Héctor, A., & Franco, R. (n.d.). *Estudio para la optimización del sistema de bombeo eléctrico sumergible usando la herramienta LOWIS en el campo Auca AUTOR.*
- Khalid Ibrahim Mahgoub, Maaz Mohammed Abdulbagi Alhussain, & Mogahid Ali Mohammed Ahmed. (2020). *Solar Powered Artificial Lift, Heglig oil field.*
- Lamigueiro, O. P. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica.*
<https://www.researchgate.net/publication/249012821>
- Petroecuador E.P. (2023). *INFORME ESTADÍSTICO ANUAL 2022.*
- PRMS. (2009). *Sistema de Gestión de Recursos Petrolíferos.*
https://oilproduction.net/files/spanish_PRMS_2009.pdf
- Tsamo, N., Kenmogne, N. P., Tokoue Ngatcha, D., Mbenoun, J. K., Nyang Kibanya, N., & Kamdem, L. (2024). Gas Lift and Electric Submersible Pump Combination used to Activate a Dead Well. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 25(2), 33–39. <https://doi.org/10.31699/ijcpe.2024.2.3>

ANEXOS

Anexos. 1.- Interface del programa PVsyst

The screenshot displays the PVsyst software interface for a project named 'Puerto Francisco de Orellana'. The interface is divided into several sections:

- Project Configuration (Proyecto):** Includes fields for 'Nombre del proyecto' (CAMPO ALICA SUR-ECUADOR), 'Nombre del cliente' (No definido), 'Archivo del sitio' (Puerto Francisco de Orellana_MN82.STT), 'Archivo de datos meteo' (Puerto Francisco de Orellana_MN82_SYN.MET), and 'Nombre del cliente' (No definido).
- Simulation Status:** A green banner indicates 'Listo para la simulación' (Ready for simulation).
- Variant Configuration (Variante):** Shows 'Variante n°' as 'VCO : Nueva variante de simulación'. It includes three main sections:
 - Parámetros principales:** Orientation (selected), User needs, System, and Detailed losses.
 - Opcional:** Horizon (selected), Nearby shadows, and Economic evaluation.
 - Simulación:** 'Ejecutar simulación' (Execute simulation) button, 'Simulación avanzada' (Advanced simulation), 'Informe' (Report), and 'Resultados detallados' (Detailed results).
- Resumen de resultados (Summary of results):** A table showing simulation results for a 'Sistema independiente con baterías' (Independent system with batteries).

Tipo de sistema	Sistema independiente con baterías
Producción del sistema	0.00 MWh/año
Producción específica	0.00 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.00
Producción normalizada	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	0.00 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema.	0.00 kWh/kWp/día

A 'Salida' (Exit) button is located at the bottom right of the interface.

Anexo. 2.- Ficha técnica de modulo solar.

www.jinkosolar.com



Tiger Pro 54HC

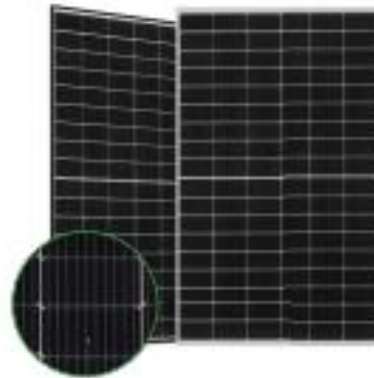
395-415 Watt

MONO-FACIAL MODULE

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)
 ISO9001:2015: Quality Management System
 ISO14001:2015: Environment Management System
 ISO45001:2018
 Occupational health and safety management systems



→ MBB HC Technology

Key Features



Multi Busbar Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



Reduced Hot Spot Loss

Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (540 Pascal).

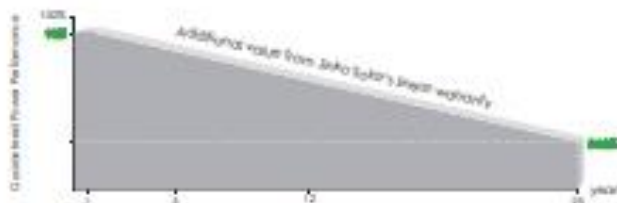


PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

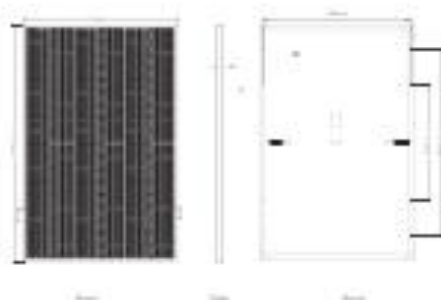


15 Year Product Warranty

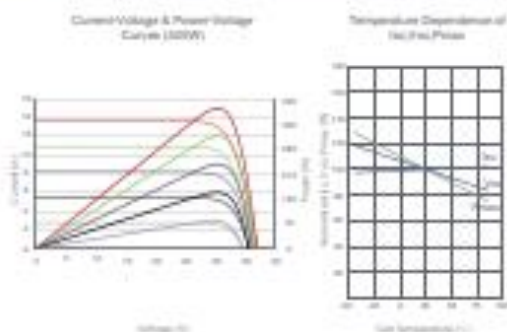
25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Packaging Configuration

(Two cells) - One Grid

Monocrystalline, Spectralite, Weight 400g/Cell

Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	108 (2x54)
Dimensions	1720 (134x30mm) (67.80x11.81x1.18 inch)
Weight	3.20 kg (7.05 lbs)
Anti-Dust	3.2nm, AR-B Reflection Coating, High Transmittance, Low TCR, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Solar
Output Cables	Size: 1*4.0mm ² (1* 16AWG, 1* 16AWG or Customised Length)

SPECIFICATIONS

Module Type	J04350A-S40L4 J04350A-S40L4-V		J04400A-S40L4 J04400A-S40L4-V		J04450A-S40L4 J04450A-S40L4-V		J04500A-S40L4 J04500A-S40L4-V		J04550A-S40L4 J04550A-S40L4-V	
	18C	18CCT	18C	18CCT	18C	18CCT	18C	18CCT	18C	18CCT
Maximum Power (Prise)	300Wp	290Wp	400Wp	290Wp	400Wp	317Wp	410Wp	310Wp	415Wp	309Wp
Maximum Power Voltage (MPPT)	31.52V	28.29V	30.42V	28.42V	30.22V	28.34V	30.43V	28.39V	30.79V	28.89V
Maximum Power Current (mpsc)	10.05A	10.45A	13.11A	10.47A	13.27A	10.55A	13.26A	10.42A	13.46A	10.45A
Open-circuit Voltage (Voc)	36.80V	34.83V	34.96V	34.90V	37.06V	34.96V	37.16V	35.03V	37.31V	35.21V
Short-circuit Current (Isc)	11.71A	11.03A	13.76A	11.13A	13.85A	11.18A	13.92A	11.26A	14.01A	13.32A
Module Efficiency (STC, %)	20.22%	19.49%	26.49%	19.59%	26.59%	19.69%	26.69%	19.79%	26.79%	19.89%
Operating Temperature(°C)	-40°C~+60°C									
Maximum system voltage	1000V (DC/AC, PV)									
Maximum cell size cutting	20%									
Power tolerance	±3%									
Temperature coefficient of Prise	-0.30%/°C									
Temperature coefficient of Voc	-0.20%/°C									
Temperature coefficient of Isc	0.06%/°C									
Normal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

¹STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Cell Temperature 25°C 🌪 AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Ambient Temperature 30°C 🌪 AM=1.5 🌪 Wind Speed 1m/s

©2020 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

J04350-415W-S40L4 (V)-F1-B1

Anexo. 3.- 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. 4.- 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

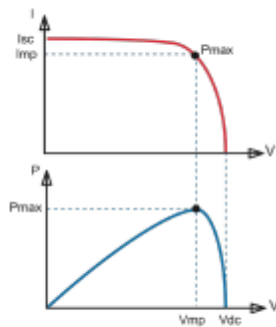
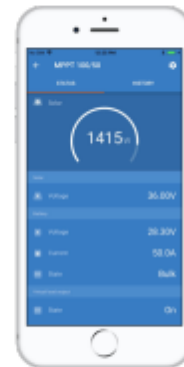
Over-temperature protection and power derating when temperature is high.
PV short circuit and PV reverse polarity protection.
PV reverse current protection.

Internal temperature sensor

Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

Real-time data display options

- ColorControl GX or other GX device: 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



Tilt Mounting

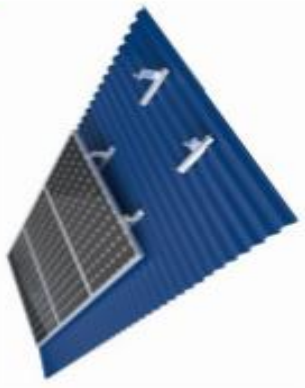


Enerack adjustable tilt system is used for metal roof concrete roof. Fixed or adjustable angles are 15-15 deg, 15-30 deg, and 30-50 degree are for your option to maximize energy production.

All Products pre-assembled before shipment, to make the installation easy and quick. Unique design of inner and outer tube with adjustable joints, makes structure stronger, different from the same type products on the market today, and totally compatible with standing seam clamp.

Technical features:	
Product name	Adjustable tilt mounting system
Application	For concrete roof, metal roof
Inclination	15-15°, 15-30°, 30-50° or customized
Material	AL 6005-T5, 6005-T6, 6005-T6
Finish	AL 6005-T5 Anodized
Module orientation	Landscape or Portrait

1 Assembly



Mini flat with 5 degree support base, lift up the height of the solar panel to achieve cooling conditions, thus maximizing power generation. Simple design, easy to install, with good price.

Technical features:

Technical features:	
Product name	Mini flat support mounting system
Application	metal roof
Inclination	0°-10°
Material	AL 6005-T5, 6005-T6
Finish	AL 6005-T5 Anodized
Module orientation	Portrait



1 Assembly



Anexo. 6.- 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)	23.8 (6.3)	28.5 (7.5)

DIESEL GENERATOR SET



Engine Technical Data

Physical Data	
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 (51.60)
Engine Electrical System:	
- Voltage/Ground:	12/Negative
- Battery Charger Amps:	65
Weight: kg (lb) - Dry:	505 (1102)
- Wet:	520 (1146)

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 (3882) 64.0 (3640)
	-Prime:	46.1 (3622) 57.7 (3281)
Heat Radiation to Room: Heat radiated from engine and alternator		
kW (Btu/min)	-Standby:	15.3 (870) 17.7 (1007)
	-Prime:	13.7 (770) 15.7 (892)
Radiator Fan Load: kW (hp)	2.8 (3.8)	4.8 (6.4)

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.

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:	90.6 (126.0) 106.8 (143.0)
BMEP: kPa (psi)		
	-Standby:	1873.0 (271.7) 1781.0 (258.2)
	-Prime:	1702.0 (246.9) 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)	12.6 (3.3)
60 Hz		28.5 (7.5)	21.5 (5.7)	15.2 (4.0)

Based on diesel fuel with a specific gravity of 0.85 and conforming to BSEN590, Class A2

Exhaust System	50 Hz	60 Hz
Silencer Type:	Industrial	
Silencer Model & Quantity:	EX5Y1 (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 (5.3)	15.0 (4.4)
Exhaust Gas Flow:		
m ³ /min (cfm)	-Standby:	16.3 (576) 20.4 (720)
	-Prime:	15.2 (537) 18.4 (650)
Exhaust Gas Temperature: °C (°F)		
	-Standby:	543 (1009) 574 (1065)
	-Prime:	514 (957) 517 (962)

LEHED708-00

DIESEL GENERATOR SET



Generator Performance Data

Data Item	50 Hz				60 Hz				
	415/240V	480/277V 230/115V 208/115V	380/220V 220/110V	330/127V	480/277V 240/138V	380/230V 220/115V	380/120V 208/120V	330/115V	440/245V 220/120V
Motor Starting Capability* LVA	256	240	220	202	200	187	219	205	242
Short Circuit Capacity** %	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Reactances: Per Unit									
Xd	2.666	2.870	3.180	2.372	2.702	4.312	3.598	3.891	3.216
X'd	0.120	0.129	0.143	0.107	0.121	0.184	0.162	0.175	0.145
X''d	0.072	0.077	0.086	0.064	0.072	0.116	0.097	0.105	0.087

Reactances shown are applicable to prime ratings.

*Based on 30% voltage dip at 0.8 power factor and SHUNT excitation system.

** With optional Permanent Magnet generator.

Generator Technical Data

Physical Data	
LC Series	
Model:	LC3114F
No. of Bearings:	1
Insulation Class:	H
Winding Pitch - Code:	2/3 - 6
Wires:	12
Ingress Protection Rating:	IP23
Excitation System:	SHUNT
AVR Model:	R350

Operating Data	
Overspeed: RPM	2250
Voltage Regulation: (steady state)	+/- 0.5%
Wave Form NEMA = TIF:	50
Wave Form IEC = THF:	2.0%
Total Harmonic Content LL/LN:	2.0%
Radio Interference:	Suppression is in line with European Standard EN51000-6
Radiant Heat: kW (Btu/min)	
-50 Hz:	7.8 (444)
-60 Hz:	8.3 (472)

DIESEL GENERATOR SET



Technical Data

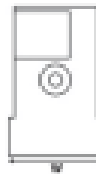
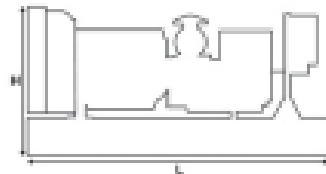
Voltage 50 Hz	Prime		Standby	
	kVA	kW	kVA	kW
415/240V	100.0	80.0	110.0	88.0
400/230V	100.0	80.0	110.0	88.0
380/220V	100.0	80.0	110.0	88.0
230/115V	100.0	80.0	110.0	88.0
230/127V	100.0	80.0	110.0	88.0
230/110V	100.0	80.0	110.0	88.0
200/110V	100.0	80.0	110.0	88.0

Voltage 60 Hz	Prime		Standby	
	kVA	kW	kVA	kW
480/277V	113.0	90.4	125.0	100.0
220/127V	113.0	90.4	125.0	100.0
380/220V	113.0	90.4	125.0	100.0
240/120V	113.0	90.4	125.0	100.0
230/115V	113.0	90.4	125.0	100.0
440/254V	113.0	90.4	125.0	100.0
220/110V	113.0	90.4	125.0	100.0
208/120V	113.0	90.4	125.0	100.0
240/120V	113.0	90.4	125.0	100.0

Weights & Dimensions

Weights: kg (lb)	
Net (+ lube oil)	1129 (2490)
Wet (+ lube oil & coolant)	1147 (2529)
Fuel, lube oil & coolant	1358 (2994)

Dimensions: mm (in)	
Length	2089 (82.2)
Width	1120 (44.1)
Height	1375 (54.1)



Note: General configuration not to be used for installation. See general dimension drawings for detail.

Definitions

Standby Rating

Output available with varying load for the duration of the interruption of the normal source power. Average power output is 70% of the standby power rating. Typical operation is 200 hours per year, with maximum expected usage of 500 hours per year.

Prime Rating

Output available with varying load for an unlimited time. Average power output is 70% of the prime power rating. Typical peak demand is 100% of prime rated kW with 10% overload capability for emergency use for a maximum of 1 hour in 12. Overload operation cannot exceed 25 hours per year.

Standard Reference Conditions

Note: Standard reference conditions 25°C (77°F) air inlet temp, 100m (328ft) A.S.L., 30% relative humidity. Fuel consumption data at full load with diesel fuel with specific gravity of 0.85 and conforming to BS2859: 1998, Class A2.

General Data

Documents

A full set of operation and maintenance manuals and circuit wiring diagrams.

Quality Standards

The equipment meets the following standards: IEC60034-1, IEC60034-22, ISO3046, ISO8528, NEMA MG 1-32, NEMA MG 1-33, 2004/108/EC, 2006/42/EC, 2006/95/EC.

Performance No.: P0204A, P0204B

Part No. Code: C020208, C020209, C020217, C020248

Gen. Ser. Number: 648-6966, 648-6967

Source: European or China Sourced

LE982706-02 (08/16)

www.CatElectricPower.com

© 2016 Caterpillar
All rights reserved.

Materials and specifications are subject to change without notice. The International System of Units (SI) is used in this publication. CAT, CATERPILLAR, their respective logos, "Caterpillar Yellow," the "Power Edge" trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.

Anexo. 7.- Precios de comercialización del diésel 2 y premium.



PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL

PERIODO DE VIGENCIA: DEL 12 DE MAYO AL 11 DE JUNIO DE 2025

DECRETOS EJECUTIVOS No. 308

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