



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

TEMA:

**“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA (SOLAR-
CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE
HIDROCARBUROS LA LIBERTAD”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR :

ANTHONY ALEXANDER GOROSTIZA SORIANO

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:

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA
(SOLAR-CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE
HIDROCARBUROS LA LIBERTAD**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

ANTHONY ALEXANDER GOROSTIZA SORIANO

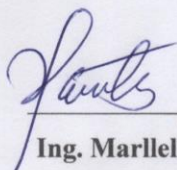
TUTOR:

ING. ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

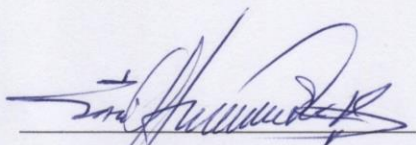
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Marllelis Gutiérrez H, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA



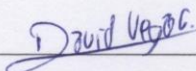
Ing. Israel Yagual Pita, MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Sadi Iturralde Kure, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc.
DOCENTE UIC




Ing. David Vega González
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios por brindarme sabiduría y llegar a esta etapa de la vida, abuela, Padre, tías, tíos, hermano por estar siempre presentes con su apoyo moral e incondicional en el proceso de estudios, a amistades por su compañía y ánimos para seguir adelante.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA (SOLAR-CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS LA LIBERTAD** elaborado por el estudiante **ANTHONY ALEXANDER GOROSTIZA SORIANO**, egresado de la carrera de Petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un **4%** de la valoración permitida.

 **CERTIFICADO DE ANÁLISIS**
magister

TESIS DE GRADO- Gorostiza Anthony

4%
Textos sospechosos

0% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idiomas no reconocidos
3% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS DE GRADO- Gorostiza Anthony.docx ID del documento: a21bd84b13cd16fcb81e3ad73589956860d5c76a Tamaño del documento original: 308,07 kB	Depositante: Israel Isidro Yagual Pita Fecha de depósito: 11/6/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 11/6/2025	Número de palabras: 4482 Número de caracteres: 29.630
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------

Ubicación de las similitudes en el documento:

FIRMA DEL TUTOR



Firmado electrónicamente por:
ISRAEL ISIDRO YAGUAL PITA

Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc

C.I.: 0927362988

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **ANTHONY ALEXANDER GOROSTIZA SORIANO**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA (SOLAR-CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS LA LIBERTAD”**, 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,

Anthony Gorostiza S.

Anthony Alexander Gorostiza Soriano

C.I. 0929016855

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 “**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA (SOLAR-CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS LA LIBERTAD**” previo a la obtención del título de Ingeniero en Petróleos elaborado por el Sr. **ANTHONY ALEXANDER GOROSTIZA SORIANO**, egresado de la carrera de Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

CERTIFICACION DE GRAMATOLOGÍA

Certificado de gramática

Santa Elena, 10 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 “ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA (SOLAR-CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS LA LIBERTAD”, elaborado por el estudiante ANTHONY ALEXANDER GOROSTIZA SORIANO en su opción al título de INGENIERO EN PETRÓLEOS en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



Firmado electrónicamente por:
MÓNICA ISABEL
PAREDES CASTRO
Validar electrónicamente con Pirat@C

Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

Con infinita gratitud a Dios por la sabiduría y fortaleza necesaria para cumplir con este logro académico, con el apoyo y confianza siempre presente de mi abuela, padre, tía y hermano que ha sido importante para superar cada uno de los desafíos que se presentaron en el camino, con amor, sacrificio, siempre con palabras de inspiración que hicieron el proceso más llevadero.

Familiares que estuvieron siempre presentes y pendientes del proceso, los ánimos y la incentivación para continuar a pesar de las dificultades, gracias familia por formar parte desde la cercanía y la lejanía, cada palabra de aliento ha sido importante. Para los que desde el cielo han guiado cada paso en este camino, deben estar felices y orgullosos, este logro también es de ustedes.

A las amistades que han estado presente desde que todo comenzó, a cada uno de ustedes gracias por su compañía, por las palabras de aliento que recíprocamente nos brindamos para seguir con esfuerzo y dedicación hasta el final, de todo corazón infinitas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vi
CERTIFICACION DE GRAMATOLOGÍA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
CONTENIDO.....	ix
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	18
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.2 ANTECEDENTES.....	19
1.3 HIPÓTESIS.....	20
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20

1.5	ALCANCE.	20
1.6	VARIABLES.....	21
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....		22
2.1	ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS.	22
2.1.1	¿Cómo funciona?.....	22
2.1.2	Oleoductos.	23
2.1.3	Poliductos.	24
2.2	ENERGÍA ELÉCTRICA.....	24
2.2.1	Carga eléctrica.	25
2.2.2	Voltaje.	25
2.2.3	Intensidad.	25
2.2.4	Potencia.	26
2.2.5	Corriente alterna.	26
2.2.6	Corriente continua.	26
2.3	ENERGÍA SOLAR.	27
2.3.1	Aplicaciones de energía solar fotovoltaica.....	27
2.3.2	Radiación solar.	28
2.3.3	Irradiación solar.....	29
2.4	SISTEMAS ENERGÉTICOS.	30
2.4.1	Sistemas híbridos.....	30
2.4.2	Sistema fotovoltaico.	34
2.4.3	Mantenimiento de sistemas solares.	40

CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	43
3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.1.1 Tipo de investigación.	43
3.1.2 Enfoque de la investigación.....	43
3.1.3 Población.	44
3.1.4 Muestra.	44
3.1.5 Descripción de la metodología.	45
3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS.	46
3.2.1 Consumo energético.	46
3.2.2 Recurso solar.	47
3.3 MODELO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.	48
3.3.1 Hora solar pico (HSP).	48
3.3.2 Cálculo de promedio consumo diario.....	48
3.3.3 Cálculo de potencia requerida	49
3.3.4 Cálculo de número de módulos.	50
3.3.5 Área requerida.	50
3.3.6 Elección de inversor.	51
3.3.7 Soportes de módulos FV.	52
3.3.8 Generación de sistema fotovoltaico.....	52
3.4 SIMULACIÓN DE SISTEMA EN SOFTWARE PVSYS.	56
3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	59
3.5.1 Inversión inicial.	59

3.5.2	Ahorro energético.....	61
3.5.3	Indicadores económicos	62
3.6	ANÁLISIS AMBIENTAL.....	67
3.6.1	Análisis de regulación: Nro. ARCONEL – 005/24 (Codificada).....	67
3.6.2	Ciclo de vida.....	68
3.6.3	Emisiones de CO ²	69
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		72
4.1	Componentes.....	72
4.2	Rendimiento de sistema fotovoltaico.....	72
4.3	Entrada y salida de energía diaria.....	74
4.4	Generación de energía.....	74
4.5	Indicadores económicos.....	75
4.6	Impacto ambiental.....	77
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
5.1	CONCLUSIONES.....	78
5.2	RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		81
ANEXOS.....		84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Proceso de filtrado, calentamiento y bombeo de hidrocarburos.....	23
Figura 2: Espectro electromagnético.....	28
Figura 3: Componentes de la radiación solar: directa, difusa, global y total.	29
Figura 4: Sistema Híbrido fotovoltaico con generador a diésel.	31
Figura 5: Sistema Híbrido Solar-Diésel.	33
Figura 6: Principales componentes de un sistema fotovoltaico.	34
Figura 7: Clasificación de paneles solares según su composición.....	35
Figura 8: Corte transversal de una célula solar.	36
Figura 9: Baterías de GEL y AMG.	37
Figura 10: Convertidor SMA DC-DC.....	38
Figura 11: Inversor híbrido trifásico.	38
Figura 12: Cable solar DC 6mm ²	39
Figura 13: Componentes del mantenimiento.	41
Figura 14: Estación de bombeo Cabecera La Libertad.	44
Figura 15: Representación esquemática de la metodología.	45
Figura 16: Módulo solar Vertex TSM-DE20.....	49
Figura 17: Inversor Huawei SUN2000-50KTL-M3.....	51
Figura 18: Soporte de 1 a 4 módulos FV.	52
Figura 19: Degradación lineal de módulo Trina Solar Vertex TSM-DE20 610 Wp. ...	54

Figura 20: Diagrama simple de sistema fotovoltaico.....	56
Figura 21: Selección de ubicación para sistema fotovoltaico.	57
Figura 22: Importación de datos meteo.....	57
Figura 23: Orientación de plano.....	58
Figura 24: Parámetros de sistema fotovoltaico.	59
Figura 25: Generación energética nacional.....	70
Figura 26: Rendimiento mensual del sistema.....	73
Figura 27: Diagrama de entrada y salida de energía por día.....	74
Figura 28: Comparativa de generacion mensual vs demanda.	75
Figura 29: Comparativa de tarifa pública y LCOE.	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Generación y tecnología de almacenamiento de energías renovables.	37
Tabla 2: Consumo energético por equipos.	46
Tabla 3: Radiación solar - La Libertad, Ecuador.	47
Tabla 4: Producción mensual de sistema fotovoltaico.	53
Tabla 5: Producción de energía de acuerdo con degradación de módulos fotovoltaicos.	55
Tabla 6: Detalles de inversión inicial de sistema fotovoltaico.	60
Tabla 7: Análisis de ahorro económico.	61
Tabla 8: Criterio para toma de decisión VAN.....	62
Tabla 9: Criterio de decisión, TIR.	63
Tabla 10: Cálculo de VAN. y TIR.	64
Tabla 11: Cálculo de LCOE.	65
Tabla 12: Inventario de vida útil de los componentes del sistema fotovoltaico.....	68
Tabla 13: Emisiones de CO2 evitadas para periodo de Septiembre a Noviembre del 2025.	71
Tabla 14: Potencia de principales componentes.....	72
Tabla 15: Indicadores económicos.	76
Tabla 16: Total de emisiones de CO2 evita.	77

“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDA (SOLAR-CONVENCIONAL) EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS LA LIBERTAD”

Autor: Gorostiza Soriano Anthony Alexander

Tutor: Ing. Israel Isidro Yagual Pita, MSc.

RESUMEN

Las operaciones en la estación de bombeo tienen una total dependencia de energía convencional mediante la red eléctrica lo que representa con el alto consumo, elevados costos de operación. El objetivo principal de este trabajo es dimensionar un sistema energético que optimice el suministro eléctrico en la estación de bombeo con costo de producción menor a la tarifa del sector industrial. El estudio del presente trabajo se hará realizando levantamiento de información que detalle demanda energética en la estación de bombeo Cabecera La Libertad que permitirá desarrollar un análisis técnico, económico (indicadores económicos) y ambiental (emisiones de CO₂) que ayude a determinar si el sistema híbrido cubre con las necesidades energéticas de la estación. Los resultados obtenidos mediante el dimensionamiento por cálculos matemáticos y la simulación realizada con el software PVSyst demuestran viabilidad técnica y económica y determinantes para la fiabilidad del proyecto. Finalmente, las sugerencias para adquirir componentes para el sistema y minimizar los costos.

PALABRAS CLAVE: *Sistema fotovoltaico, indicadores económicos, optimización energética, PVSyst.*

“TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL STUDY FOR
THE IMPLEMENTATION OF A HYBRID ENERGY SYSTEM
(SOLAR-CONVENTIONAL) AT THE HYDROCARBON PUMPING
STATION OF LA LIBERTAD”

Autor: Gorostiza Soriano Anthony Alexander

Tutor: Ing. Yagual Pita Israel Isidro, MSc

ABSTRACT

Operations at the pumping station are entirely dependent on conventional energy supplied by the electrical grid, which, given the high consumption, results in high operating costs. The main objective of this study is to design an energy system that optimises the power supply to the pumping station, with production costs lower than the industrial sector tariff. This study will involve collecting information on the energy demand at the Cabecera La Libertad pumping station. This information will be used to develop a technical, economic and environmental analysis (including CO₂ emissions) to determine whether the hybrid system can meet the station's energy needs. The results obtained through dimensioning by mathematical calculations and simulation with PVSyst software demonstrate the technical and economic feasibility of the project and are crucial to its success. Finally, suggestions are made for acquiring components for the system and minimising costs.

KEYWORDS: *Photovoltaic system, economic indicators, energy optimization, PVSyst.*

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

Las operaciones en la estación de bombeo La Libertad tienen una total dependencia de energía convencional mediante la red eléctrica lo que representa con el alto consumo, elevados costos de operación.

Las estaciones de bombeo de hidrocarburos que están ubicadas en zonas urbanas representan un peligro para la salud humana debido al manejo de productos altamente contaminantes.

El ahorro y optimización de recursos son conceptos con gran aplicación en la producción y el consumo energético, conseguir rebajas importantes en la facturación de energía eléctrica mediante el desarrollo e implementación de sistemas de energías renovables que constituyen los sistemas híbridos (O. López, 2015).

Según el Ministerio de Energía y Minas en el informe de Balance Energético Nacional (2023) la demanda energética tiene un aumento de un 1,8% anual con respecto al año 2022, energía que se deriva de fuentes primarias combustibles fósiles, termoeléctricas o de energía renovable como hidroeléctricas.

En la crisis energética del año 2024 en Ecuador, la dependencia a las hidroeléctricas que generan alrededor del 80% de la energía en el país presentan vulnerabilidades en la variabilidad estacional como las oscilaciones en las lluvias que llegan a provocar periodos de sequía, afectando de manera general a todos los sectores (residencial, agrícola, comercial, transporte e industrial). El fuerte impacto al sector industrial ha provocado obligatoriamente a asumir costos extraordinarios para sustentar demanda energética llegando a un impacto en la competitividad, sostenibilidad e incluso a la estabilidad operacional de las empresas.

1.2 ANTECEDENTES.

El uso de energía eléctrica a nivel mundial a partir del uso de combustibles fósiles ha sido por muchos años una de las principales problemáticas de las emisiones de gases de efecto invernadero que tienen afectaciones ambientales como en la salud de la población.

La integración de las energías renovables en sistemas eléctricos y el desarrollo de tecnologías para la obtención de energía desde los recursos naturales como los son: energía hidráulica, energía geotérmica, energía eólica, entre otras; permiten la diversificación de fuentes energéticas y una mayor sostenibilidad en cuanto al suministro energético.

Díaz Rodríguez et al., (2012) afirman que los sistemas híbridos que usan combinaciones de fuentes de energías primarias presentan mayor equilibrio, estabilidad y mejor calidad sin la dependencia de los cambios climáticos y la escasez de combustibles.

Los sistemas híbridos aportan beneficios operativos y su conexión e inyección de energía a la red eléctrica convencional ayudan a cubrir demandas energéticas (Jamjachi Rojas, 2021).

La notable evolución de la energía solar para aprovechar de la radiación solar en la conversión directa a electricidad mediante tecnología fotovoltaica ha desarrollado mejoras importantes en eficiencia y reducción de costos en las operaciones industriales (Zanek, 2024).

Varias fuentes de energías renovables, debido a condiciones climáticas favorables llegan a tener una producción de energía que está por encima de la demanda energética necesaria, por lo que la implementación de tecnologías de almacenamiento para su uso cuando la producción de energía es baja, esto aumenta la eficiencia del sistema (Hassan et al., 2023).

1.3 HIPÓTESIS.

La implementación de un sistema energético híbrido solar-convencional reducirá considerablemente los costos de facturación eléctrica, disminución de costos operacionales, aumentando la fiabilidad del suministro energético y disminuyendo la dependencia a la red eléctrica en la estación de bombeo La Libertad.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

Evaluar la factibilidad de manera técnica, económica y ambiental un sistema de energía híbrida para optimizar el suministro de energía en la estación de bombeo La Libertad.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Dimensionar un sistema fotovoltaico que cubra con la demanda energética de la estación de bombeo.
- Simular el rendimiento del sistema energético híbrido con software PVSyst.
- Determinar el impacto ambiental de acuerdo con la reducción de gases contaminantes.

1.5 ALCANCE.

El estudio que se hará realizando levantamiento de información detallada en la estación de bombeo Cabecera La Libertad sobre demanda energética máxima, patrones de consumo diario además de la evaluación técnica que determine si el sistema híbrido cubra las con las necesidades energéticas de la estación.

El análisis del impacto ambiental del sistema en evitar emisiones de CO₂ en épocas de sequía que podrían afectar el suministro mediante la red eléctrica.

1.6 VARIABLES.

- **Variables dependientes:**
 - Eficiencia energética.
 - Producción energética.
 - Emisiones de gases contaminantes.

- **Variables independientes:**
 - Demanda energética.
 - Irradiación solar.
 - Ubicación geográfica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ESTACIÓN DE BOMBEO DE HIDROCARBUROS.

El transporte de grandes cantidades de hidrocarburos a nivel nacional e internacional se lleva a cabo principalmente por medio de tuberías que se pueden encontrar de manera subterránea o visibles y que pueden tener diferentes diámetros. Estos sistemas deben contar con infraestructuras adicionales como las estaciones de bombeo o terminales para lograr manejar de forma eficiente productos derivados del petróleo.

2.1.1 ¿Cómo funciona?

Filtrado.

En las instalaciones de la estación, el crudo recibido pasa por su respectivo proceso de filtrado o purificación. El cual es el encargado de remover y eliminar todo material sólido como: partículas orgánicas, arena o sedimentos que pueden estar presentes en el fluido. El proceso es fundamental para poder mantener la integridad de todo el sistema de transporte ya que evita fallos y daños en componentes principales como bombas, válvulas, medidores y tuberías.

El proceso de filtración también se reducen los riesgos operativos y garantiza un flujo continuo en el trayecto de transportación, lo que disminuye costos de mantenimientos no programados.

Calentamiento de crudo.

El crudo, según sus características reológicas puede ser llevado a intercambiadores de calor para aumentar la temperatura. El objetivo de la fase de calentamiento es reducir la viscosidad para facilitar el bombeo a través de tuberías, con menor fricción y menor empleo de energía para su movimiento.

Bomba centrífuga.

Tras el acondicionamiento adecuado del crudo, se dirige hacia las bombas centrífugas. Son los equipos necesarios para generar la energía necesaria para el desplazamiento y superar la fricción y cubrir las pérdidas a lo largo de la trayectoria del sistema.



Figura 1: Proceso de filtrado, calentamiento y bombeo de hidrocarburos.

Fuente: OCP Ecuador, (2025).

En Ecuador hay una amplia red de tuberías denominadas según su función:

2.1.2 Oleoductos.

Las tuberías que se denominan oleoductos tienen un diámetro que suele variar entre 4 y 6 pulgadas y una longitud limitada. La función principal es la de transportar petróleo desde los lugares de extracción en los pozos petroleros hasta los puntos de recolección de crudo. Aunque la función de la red de tuberías del oleoducto es llevar hidrocarburo también necesita de otros elementos como lo son los tanques de almacenamiento y estaciones que proporcionen las facilidades de operaciones de bombeo.

En Ecuador, la movilización de petróleo crudo se realiza a través de dos oleoductos importantes:

- Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE).
- Oleoducto de Crudos Pesados (OCP).

2.1.3 Poliductos.

Son un sistema de tuberías creadas para la transportación de productos refinados de hidrocarburos. A diferencia de los oleoductos que solo llevan petróleo crudo, los poliductos pueden mover varios productos, entregándolos a terminales o estaciones que pueden estar ubicadas a lo largo de la ruta de tuberías.

Los poliductos con los que cuenta Ecuador son (Granda, 2021):

- Esmeraldas-Santo Domingo-Quito.
- Santo Domingo-Beaterio.
- Santo Domingo-Pascuales.
- Quito-Ambato-Riobamba.
- Ambato-Riobamba.
- Shushufindi-Quito.
- Pascuales-Cuenca.
- Libertad-Pascuales.
- Libertad-Manta.
- Tres bocas-Pascuales.
- Tres bocas-Fuel.

2.2 ENERGÍA ELÉCTRICA.

Proviene de las centrales eléctricas donde se transforman todo tipo de energías. Las fuentes de energía son de recursos naturales como viento, sol y agua.

La variedad de las fuentes energéticas renovables reflejan eficiencia, seguridad, fiabilidad y sostenibilidad en el suministro energético.

2.2.1 Carga eléctrica.

Propiedad física en la materia que influyen en la forma en que las partículas (electrones o protones) se afectan entre si mediante una fuerza electromagnética, medida en culombios (C).

2.2.2 Voltaje.

La diferencia de potencial o tensión eléctrica es la fuerza que mueve las cargas eléctricas en un circuito cerrado. Matemáticamente se expresa:

$$V = \frac{W}{Q} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

W: es el trabajo necesario para mover una carga eléctrica.

Q: entre dos puntos en un campo eléctrico.

En resumen un voltaje más alto significa mayor capacidad para mover electrones a través de un conductor, lo que a su vez determina la energía disponible para hacer un trabajo útil en dispositivos eléctricos y electrónicos.

2.2.3 Intensidad.

Cantidad de carga que pasa a través de un material conductor o una sección de este por unidad de tiempo

$$I = \frac{q}{t}, \quad (1.3)$$

Donde:

I = intensidad eléctrica.

q = carga eléctrica.

t = tiempo.

La unidad de medida en el S.I. es el amperio (A) que es culombio por segundo.

2.2.4 Potencia.

Es la velocidad con la que se usa o se transforma la energía que en el sistema internacional de unidades es definida en watts (W) o Julio por segundo (J/s) y es representada por la letra “P”.

$$P = V * I, \text{ Ec. (1.2)}$$

Donde:

P = potencia eléctrica.

V= voltaje.

I = intensidad eléctrica.

2.2.5 Corriente alterna.

Corriente que cambia su polaridad de forma cíclica pasando de positiva a negativa, la forma de la onda varía según el generador que la produce. Las principales características de que incluye la corriente alterna son la frecuencia que es medida en ciclos por segundo, medida en Hercios (Hz) y la tensión máxima.

2.2.6 Corriente continua.

Tipo de electricidad que se caracteriza por el movimiento constante en una sola dirección de las cargas eléctricas. En este tipo de corriente los electrones se mueven a través de un material conductor en una misma dirección lo que permite mantener la polaridad fija en un circuito eléctrico.

2.3 ENERGÍA SOLAR.

Fuente de energía renovable que se obtiene del sol mediante la radiación electromagnética en forma de luz, calor y rayos UV de las que se puede generar electricidad mediante tecnología fotovoltaica o calor a través de sistemas solares térmicos.

2.3.1 Aplicaciones de energía solar fotovoltaica.

Maka & Alabid, (2022) presentan las siguientes aplicaciones para el aprovechamiento de la energía solar y la optimización de generación de energía eléctrica:

Fotovoltaica/Térmica.

Los sistemas combinados de paneles solares térmicos y fotovoltaicos tienen un dispositivo incorporado de recolección de calor. Gracias a aquello se puede producir calor y electricidad de forma simultánea.

Electrificación fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica que puede ser utilizada para suministro desde grandes y pequeñas redes eléctricas, especialmente en comunidades que tienen mucha luz solar. Esta opción de aprovechamiento de energía solar es la más económica, los precios de los módulos han bajado siendo más accesibles y tienen una duración aproximada de 25 o 30 años.

FV bombeo de agua.

Estos sistemas de energía solar para bombeos de agua son más frecuentes en zonas rurales y con climas áridos, los sistemas incluyen paneles solares que producen la energía necesaria para que una bomba pueda entrar en funcionamiento. La cantidad de luz solar es determinante para la cantidad de agua que se pueda transportar.

2.3.2 Radiación solar.

Es la energía que emite el sol en forma de ondas electromagnéticas que se mueve a través del espacio y llegan hasta la superficie terrestre y se miden de acuerdo con su frecuencia o longitud de onda.

La luz del sol está compuesta de diferentes tipos de rayos agrupados según la longitud de onda, estos generan efectos de calor, luz o actividad química

Se clasifican según la longitud de onda:

- Radiación UV (mayor a $0,38\mu\text{m}$).
- Radiación Visible (entre $0,38\mu\text{m}$ y $0,78\mu\text{m}$).
- Radiación IR (mayores a $0,78\mu\text{m}$).

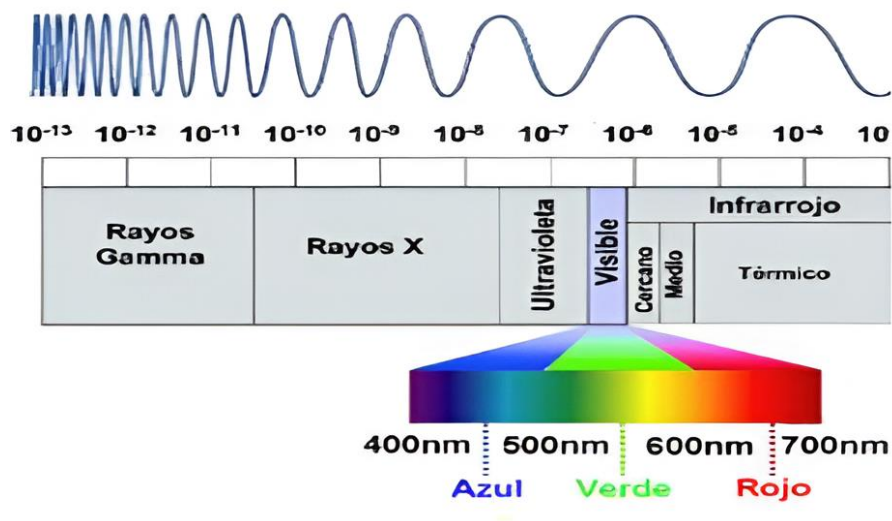


Figura 2: Espectro electromagnético.

Tipos de radiación solar:

Radiación solar directa.- Luz solar que llega al planeta sin sufrir cambios en su camino al momento de atravesar la atmosfera, tampoco sufre procesos de reflexión ni dispersión.

Radiación solar difusa.- Corresponden a la luz que resulta de los procesos de reflexión y dispersión, presentes al amanecer y al anochecer y con presencia en días nublados.

Radiación solar global.- Se refiere a la suma de las radiaciones solares directa y difusa que llegan a alcanzar una superficie plana horizontal.

Radiación total.- Diferente de radiación solar global por la adición de la radiación de onda larga presentes en el entorno.

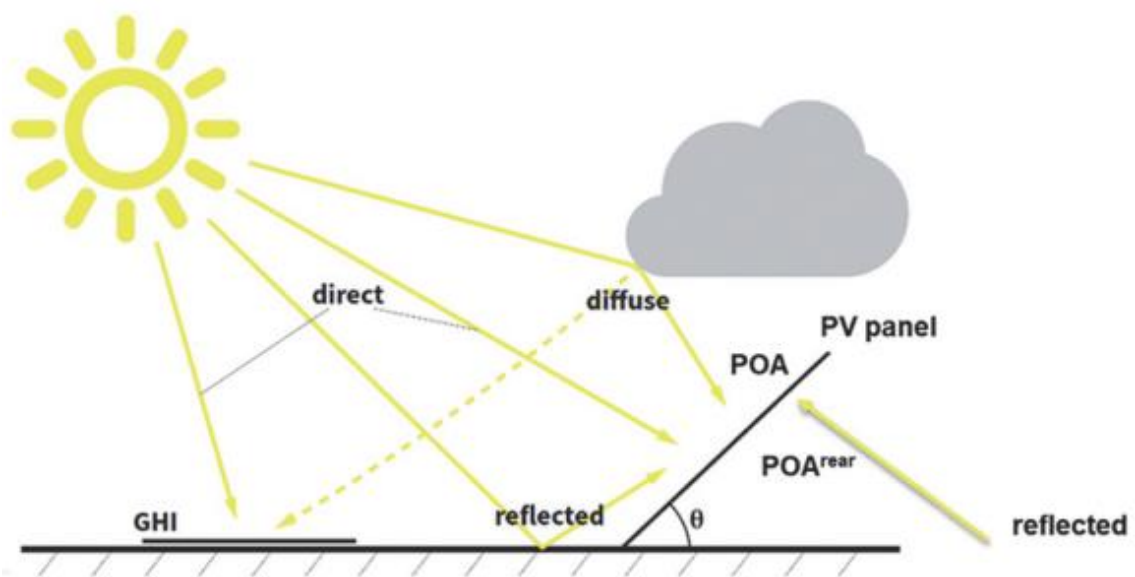


Figura 3: Componentes de la radiación solar: directa, difusa, global y total.

Fuente: Korevaar, (2022).

2.3.3 Irradiación solar.

Cantidad de energía solar que impacta sobre una superficie específica por cada unidad de área, medida en kilovatios-hora por metro cuadrado (kW/m^2).

La irradiación diaria comprende las horas de sol pico (HSP) que indican el tiempo que equivaldría a la irradiancia constante de 1 kW/m^2 , este es el indicador que facilita un dimensionamiento de cuanta energía solar está disponible la cual sirve para estimar el rendimiento potencial de un sistema fotovoltaico.

La irradiación solar la podemos calcular de la siguiente manera:

- **Masa de aire:**

$$AM = \frac{1}{\cos \zeta} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Donde:

ζ , ángulo cenital

- **Intensidad de componente directa de la luz solar:**

$$I_D = 1,353 * 0,7^{AM^{0,678}} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Donde:

- 1,353: constante solar.
- 0,7: irradiancia solar en la superficie terrestre a través de la atmosfera es 7 veces su valor.
- 0,678: valor empírico.

- **Irradiancia global:**

$$I_G = 1,1 * I_D \quad \text{Ec. (1.5)}$$

2.4 SISTEMAS ENERGÉTICOS.

2.4.1 Sistemas híbridos.

Según Olmedo González, (2018) los sistemas híbridos son combinaciones de fuentes energéticas que requieren conversión de energía y tienen problemas de intermitencia en la producción de energía eléctrica, en la figura 4 se muestra un esquema de sistema híbrido solar/generador a diésel.

Los sistemas híbridos de energía pueden abastecer a sistemas independientes o redes eléctricas, para la elección de las fuentes de energía que se utilizarán debe basarse en

información de recursos disponibles en el área de estudio y que cumplan con las necesidades energéticas.

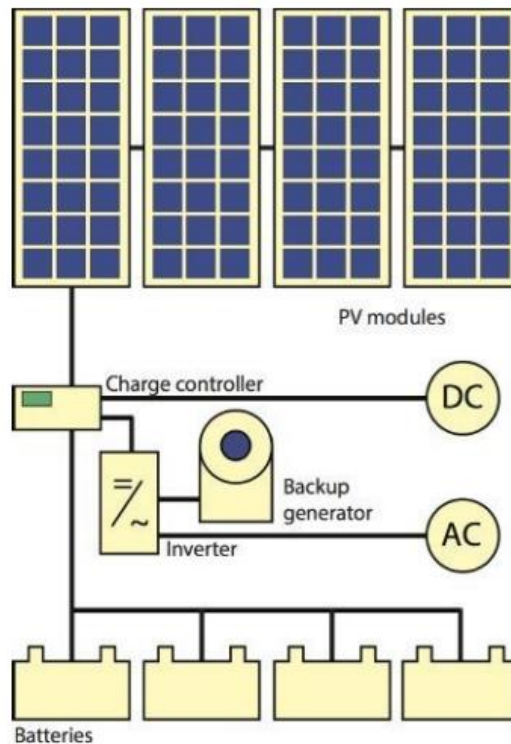


Figura 4: Sistema Híbrido fotovoltaico con generador a diésel.

Fuente: Smets et al., (2016).

Clasificación de los sistemas híbridos.

- **Renovable/renovable.**

- **Eólico-solar.**

La combinación de energía solar y energía eólica hace posible la generación de electricidad por medio de sistemas que permiten aprovechar ambas fuentes de energías renovables. Una de las ventajas principales es la complementación en los diferentes períodos de menor generación de cada sistema ya que no suelen caer en las mismas horas durante el día. La no coincidencia de los picos de producción de las fuentes de energía permite que el sistema híbrido suministre energía eléctrica de manera estable logrando una mayor eficiencia superando las limitaciones de cada sistema (Munuswamy et al., 2011).

- **Renovable/no renovable.**

- **Eólico-Solar-Diésel.**

Li et al., (2009) afirman que la complementariedad de los sistemas de energías renovables y la inclusión de un generador diésel garantiza el flujo de electricidad. A pesar de las dificultades que puede presentar el generador diésel existen controladores electrónicos que ayudan a regular su operación de forma automatizada lo que lo hace más eficiente, sin embargo, presenta una ventaja que contribuye a la estabilidad de frecuencia y voltaje cuando no hay producción necesaria de las energías renovables.

- **Eólico-Solar-Batería.**

Una opción con mayor sostenibilidad y eficiencia ya que es un sistema híbrido que permite el almacenamiento de la energía renovable en momentos donde la producción de la energía es mayor a la demanda. Este sistema híbrido disminuye costos operativos y la eliminación de la dependencia de los combustibles fósiles.

- **Eólico-Diésel.**

Sistema que aprovecha las fuerzas del viento para la generación de electricidad en combinación con un generador diésel da como resultado un sistema híbrido que puede cubrir con demanda energética. Si la fuente de energía eólica es insuficiente para suministrar energía los generadores diésel funcionan como soporte para asegurar una estabilidad en el sistema energético.

- **Solar- Diésel.**

Los sistemas fotovoltaicos disminuyen costos operativos y tiene prioridad sobre otros sistemas para la generación e inyección de energía a una red eléctrica. Para este sistema el generador diésel funciona como apoyo para equilibrar la demanda energética debido a la variación climática. Estos sistemas presentan limitaciones por lo que la inclusión de baterías al sistema híbrido es fundamental para el almacenamiento de energía producida

en horas donde las condiciones climáticas son excelentes, estas disminuyen la necesidad del uso de generadores diésel.

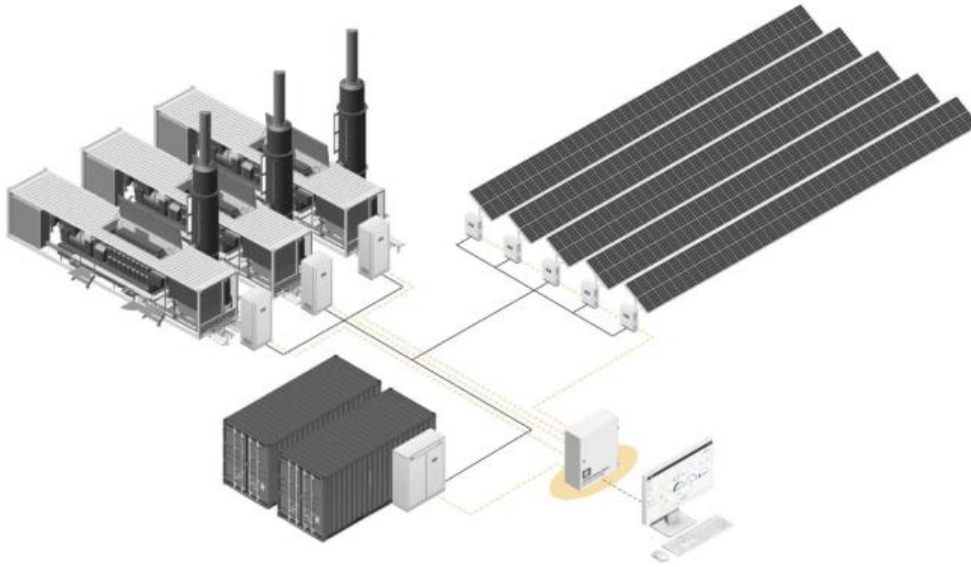


Figura 5: Sistema Híbrido Solar-Diésel.

Fuente: ELUM ENERGY, (2023).

Ventajas de sistema Solar-Diésel.

1) Mejoría en integración fotovoltaica.

Los sistemas con almacenamiento de energía tienen facilidades de integración a redes eléctricas, ayudando a reducir variaciones eléctricas y sobrevoltajes.

2) Eficiencia energética.

El uso de un sistema híbrido ayuda a maximizar el uso de la electricidad que se produce durante las horas pico, la energía puede ser almacenada y usada en futuros requerimientos de energía.

3) Suministro continuo.

Los sistemas híbridos proveen energía constante incluso cuando la red convencional tiene interrupciones o cuando la producción de energía solar no cumple con la demanda energética.

4) Efecto ambiental

El uso de las energías renovables contribuye en la disminución de contaminación por emisiones de CO².

2.4.2 Sistema fotovoltaico.

Compuesto y estructurado por equipos que permiten la captación de energía solar, para la producción y almacenamiento de energía eléctrica en la figura 6 se muestra los componentes del sistema fotovoltaico.

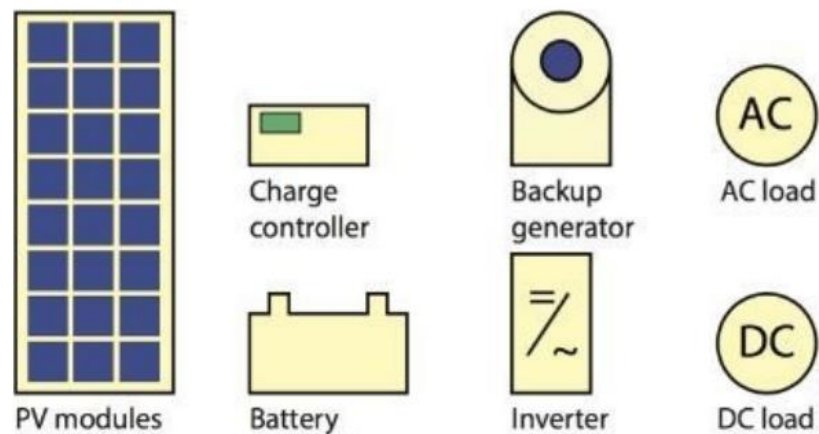


Figura 6: Principales componentes de un sistema fotovoltaico.

Fuente: Smets et al., (2016).

Componentes

- **Panel solar.**

También denominado modulo fotovoltaico conformado por celdas solares que están conectadas entre sí, suelen estar fabricadas de material semiconductor como el silicio. La eficiencia de los módulos fotovoltaicos va según la tecnología aplicada desde 15% al 20%, la capacidad es medida en vatios pico (Wp).

Tienen la siguiente clasificación según su composición (Tyagi et al., 2013):

- Células policristalinas con eficiencia de un 15%.
- Células monocristalinas con eficiencia de más de 20%.
- Amorfos.

El uso de paneles convierten la energía solar en electricidad lo que disminuye la necesidad de combustibles fósiles y ayudando a un desarrollo sostenible de energías renovables o alternativas.

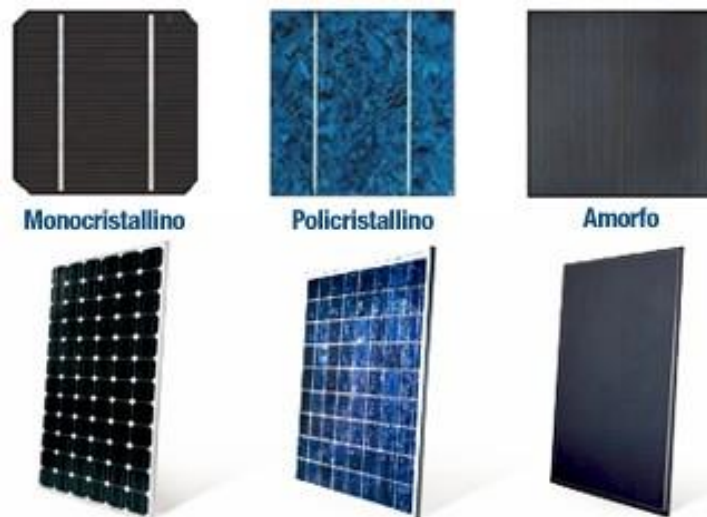


Figura 7: Clasificación de paneles solares según su composición

Fuente: Enersave, (2014)

- **Celdas fotovoltaicas**

También llamadas células solares, semiconductoras y son las responsables de llevar la energía luminosa a energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, las células generan corriente continua que puede ser transformada en corriente alterna. Los cables eléctricos son conectados a las celdas para capturar electrones y generar corriente.

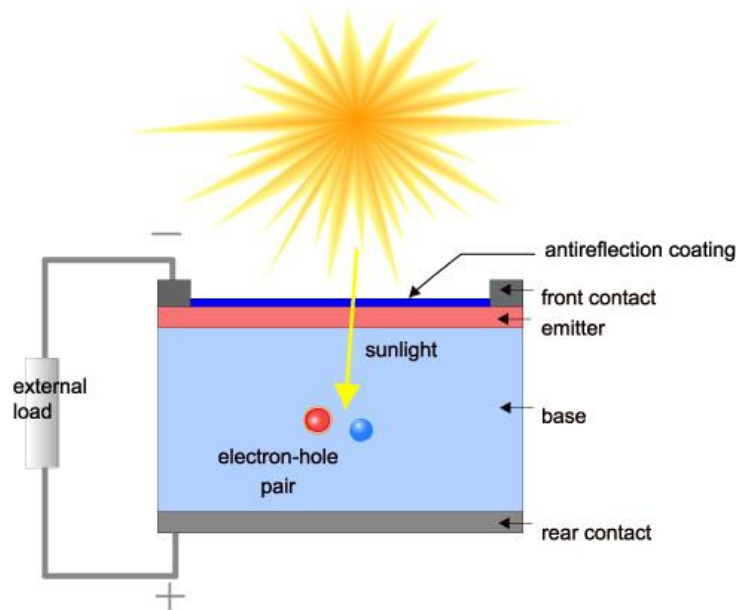


Figura 8: Corte transversal de una célula solar.

Fuente: (PVEducation).

Funcionamiento.

Para que una célula fotovoltaica pueda generar electricidad se deben cumplir las siguientes condiciones (Puig & Jofra, 2007):

- Modificación del número de cargas positivas y negativas.
- Crear cargas que permitan la aparición de una corriente.
- Establecer diferencia de potenciales o campo eléctrico.

- **Baterías.**

En los sistemas energéticos que funcionan de manera independiente, el almacenamiento de energía, lo que garantiza que exista un suministro estable de energía eléctrica. El sistema de almacenamiento es esencial e importante para cuando las condiciones climáticas sean adversas.

Tabla 1: Generación y tecnología de almacenamiento de energías renovables.

ENERGÍAS RENOVABLES	ALMACENAMIENTO
Biomasa	Baterías
Geotérmica	Aire comprimido
Hidráulica	Volantes de Inercia
Mareas	Hidrógeno
Solar fotovoltaica/térmica	Bombeo Hidráulico
Eólica	Superconductor magnético de almacenamiento (SMES)

Fuente: Metodología y software para la optimización multicriterio de sistemas híbridos de energía.

Fuente: URBANO, (2021).



Figura 9: Baterías de GEL y AMG.

Fuente: Enercity S.A, (2019).

- **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.



Figura 10: Convertidor SMA DC-DC.

Fuente: (SMA Solar).

- **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.



Figura 11: Inversor híbrido trifásico.

Fuente: (MUST)

- **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.

La compatibilidad con conectores permite disponer de conexiones eléctricas seguras, fiables y protegidas de condiciones climáticas desfavorables, además que mejora el rendimiento del sistema fotovoltaico también su durabilidad.



Figura 12: Cable solar DC 6mm².

Fuente: Heliostrategia Ecuador.

Efecto de sombras en un sistema fotovoltaico

Cuando una sombra tapa los módulos fotovoltaicos, se produce el bloqueo de entrada de luz solar en las celdas fotovoltaicas interfiriendo en la producción de energía.

Las celdas fotovoltaicas están conectadas en serie por lo que una sombra no solo afectaría a una celda, será afectada la eficiencia del sistema debido al bajo rendimiento de las celdas ocasionando una reducción de la potencia total generada.

Se presenta una lista factores habituales causantes de sombras sobre un sistema fotovoltaico (Autosolar Perú):

- 1) Nubes en movimiento.
- 2) Árboles y hojas secas.
- 3) Estructuras aledañas.
- 4) Aves.
- 5) Polvo y suciedad.
- 6) Colocar paneles muy cercanos.

2.4.3 Mantenimiento de sistemas solares.

Para garantizar que un sistema funcione de manera eficiente es clave realizar mantenimientos estratégicos, con el propósito de prevenir problemas que afecten la integridad del sistema. El mantenimiento necesario para cada sistema fotovoltaico varía según el entorno de operación incluyendo condiciones de lugar y equipos.

El mantenimiento no solo es arreglar lo dañado es prevenir desgastes, fallos y daños lo que disminuye la posibilidad de reparaciones costosas, tiempos no productivos, es decir, mejora el desempeño del sistema.



Figura 13: Componentes del mantenimiento.

Fuente: (Soto et al., 2016).

Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo se caracteriza por tener planificación, y ser repetido tras cierto periodo de tiempo programado, que tiene como objetivo mantener las condiciones operativas que fueron establecidas en la instalación del sistema.

Las principales características del mantenimiento preventivo es que sus tareas son muy accesibles que se pueden ser realizadas por personal operativo para disminuir considerablemente los riesgos de fallos imprevistos que afectan el funcionamiento normal de los equipos , además ayuda a gestionar de manera eficiente y económica al sistema general.

Mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo incluye las siguientes acciones; inspeccionar, reemplazar piezas y solucionar problemas en el sistema. Habitualmente estás tareas son realizadas por personal técnico especializados. Debido a la complejidad de los procesos de mantenimiento de pizas sensibles es recomendable contar con personal cualificado para una reparación eficaz y segura.

Mantenimiento predictivo

Tipo de mantenimiento estratégico que se realiza con la finalidad de predecir cuándo ocurrirá un fallo mecánico y así poder intervenir con antelación al fallo, este ayuda a minimizar los tiempos de inactividad de los equipos, reducir costos a mantenimientos prolongados, optimizar recursos lo que se traduce en maximizar vida útil de los equipos y a su vez mejorar su seguridad.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1.1 Tipo de investigación.

Este trabajo de investigación de tipo descriptivo-explicativo donde se abarca aspectos técnicos como perfiles energéticos, infraestructuras y equipos. Considerando también aspectos económicos incluyendo costos proyectados y los diferentes indicadores financieros involucrados.

La parte descriptiva de este trabajo se basa en registros, desglose de costos, inventarios, cantidad de emisiones como datos que se pueden cuantificar, por el lado explicativo la viabilidad técnica, eficiencia y la sostenibilidad del sistema híbrido.

3.1.2 Enfoque de la investigación.

Investigación metodología mixta, presenta enfoque cuantitativo como cualitativo, los datos de la demanda energética, costos, eficiencia del sistema y emisiones, son factores que se pueden medir numéricamente y la evaluación del impacto ambiental y social como cualidades del presente trabajo de investigación.

Un enfoque mixto desarrolla un análisis en la investigación para lograr una mejor comprensión e interpretación del contexto en estudio y garantiza que llegar a conclusiones apropiadas y recomendaciones adecuadas para desarrollar un proyecto.

3.1.3 Población.

Grupo de individuos u objetos partícipes de una investigación de los cuales se pretende conocer algo (P. López, 2004).

La población dentro de esta investigación son las estaciones de bombeo de hidrocarburos en Ecuador, dedicadas a la transportación de crudo o los derivados de este hacia refinerías, puertos u otros terminales de almacenamiento y distribución de hidrocarburos.

3.1.4 Muestra.

Según López, (2004) se define como un subconjunto del total de individuos conocido como universo o población, seleccionado para ser objeto de estudio en una investigación.

Para esta investigación se tomará en cuenta un conjunto de datos técnicos, económicos y ambientales específicos en la estación de bombeo Cabecera La Libertad que nos permita realizar análisis cuantitativos y cualitativos para la implementación de un sistema energético híbrido.



Figura 14: Estación de bombeo Cabecera La Libertad.

Fuente: EP PETROECUADOR.

3.1.5 Descripción de la metodología.

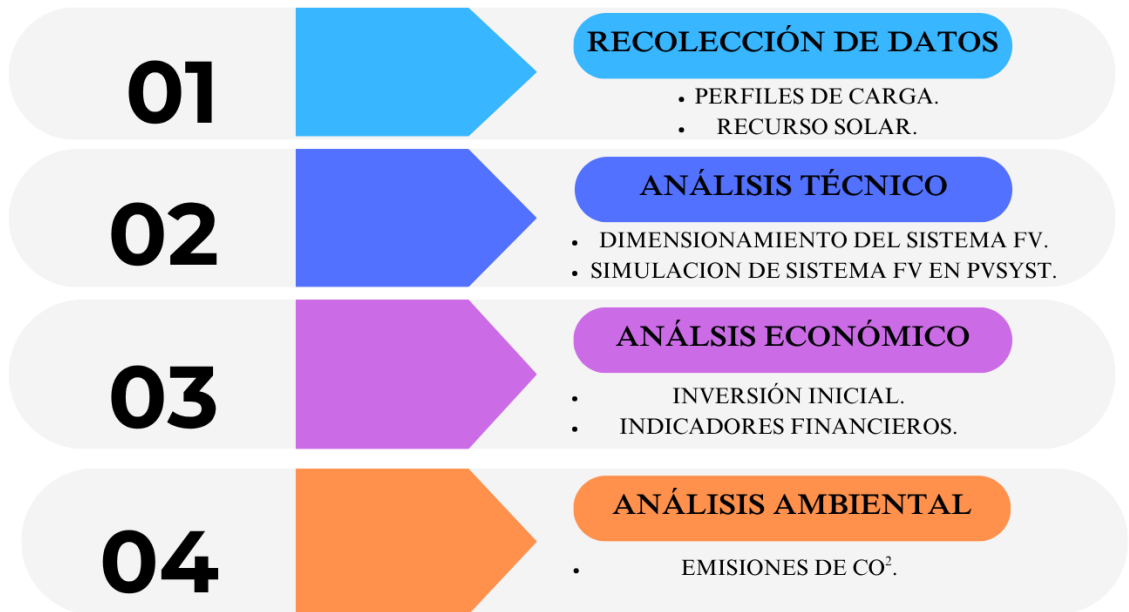


Figura 15: Representación esquemática de la metodología.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

3.2 RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.2.1 Consumo energético.

Tabla 2: Consumo energético por equipos.

Unidad	Equipo	Potencia (kW)	Horas de trabajo (mes)	Consumo mensual (kW)
1	Bomba 2354	7,46	290,00	2162,53
2	Bombas inhibidoras	0,97	150,00	145,41
2	Bombas sistema de agua	0,75	100,00	74,57
2	Actuadores de válvulas	0,10	25,00	2,42
13	Actuadoras de válvulas	0,22	25,00	5,41
2	Actuadoras de válvulas	7,10	25,00	177,48
3	Motores de compresores	0,86	4,00	3,43
2	Moto-bomba	2,98	13,00	38,78
2	Moto-bomba	29,83	114,00	3400,39
2	Motobomba	111,85	110,00	12304,05
Total				18314,46

Fuente: EP PETROECUADOR.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

3.2.2 Recurso solar.

Tabla 3: Radiación solar - La Libertad, Ecuador.

Mes	Radiación mensual (HSP)
Enero	4,48
Febrero	4,37
Marzo	4,65
Abril	4,53
Mayo	3,88
Junio	3,71
Julio	3,82
Agosto	4,75
Septiembre	4,88
Octubre	4,97
Noviembre	4,98
Diciembre	4,89
TOTAL	53,91

Fuente: PVGIS.

La tabla 3 detalla los promedios mensuales de las horas solar pico, los meses de mayo, junio y julio presentan los valores más bajos con respecto a los demás meses ya que son los meses donde hay mayor nubosidad.

Radiación promedio anual: 4,49 HSP.

Radiación total anual: 53,91 HSP.

3.3 MODELO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.

3.3.1 Hora solar pico (HSP).

Unidad que se encarga de la medida de la radiación solar que se expresa en W/m^2 , la cual puede variar de acuerdo a la ubicación geográfica y estación climática.

$$HSP = \frac{\text{radiacion global } (kWh/m^2/\text{dia})}{1 kW/m^2}, \text{ Ec. (3.1)}$$

$$HSP = \frac{4,49 (kWh/m^2/\text{dia})}{1 kW/m^2}$$

$$HSP = 4,49 h/\text{dia}$$

3.3.2 Cálculo de promedio consumo diario

Se tiene un dato de consumo mensual, se realiza la conversión para tener un dato estimativo de consumo diario.

$$\text{consumo diario} = \frac{\text{consumo mensual}}{30}$$

$$\text{consumo diario} = \frac{18314,46 kW}{30}$$

$$\text{consumo diario} = 610,482 kW/\text{día}$$

Luego se corrige debido a pérdidas de energía que se presentan en un sistema, como cableado, temperatura, suciedad, y las pérdidas sujetas a los componentes del sistema. Se recomienda un 0,20 (20%) de pérdidas de energía.

$$\text{consumo diario} = \frac{610,482 \text{ kW/d}}{0,80} = 763,103 \text{ kW/d}$$

3.3.3 Cálculo de potencia requerida

Se hizo la elección de Panel FV TRINA SOLAR VERTEX N 610 Wp, ya que cuenta con especificaciones técnicas adecuadas para ambientes industriales corrosivos, se presenta la ficha técnica en el Anexo A.



Figura 16: Módulo solar Vertex TSM-DE20.

Fuente: Trina solar.

Para realizar el cálculo de la potencia de generación del sistema, se debe contar necesariamente con datos de consumo diario de la estación, la potencia nominal de cada módulo fotovoltaico, además, de la hora solar pico promediada anualmente, la cual se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{potencia requerida} = \frac{\text{energía necesaria}}{\text{HSP} * \text{PR}}$$

$$\text{potencia requerida} = \frac{763,103 \text{ kW}}{5,02 * 0,8}$$

$$\text{potencia requerida} = 190,02 \text{ kW/día}$$

3.3.4 Cálculo de número de módulos.

$$\text{número de módulos} = \frac{\text{potencia requerida (kW)}}{\text{potencia de cada modulo (kW)}}, \text{ Ec. (3.3)}$$

$$\text{número de módulos} = \frac{190,02 \text{ kW}}{0,61 \text{ kW}}$$

$$\text{número de módulos} = 311,51 \approx 312 \text{ módulos FV}$$

3.3.5 Área requerida.

$$\text{área (m}^2\text{): número de módulos * área por módulo}$$

$$\text{área (m}^2\text{): } 312 * 2,83$$

$$\text{área (m}^2\text{): } 882,96 \text{ m}^2$$

3.3.6 Elección de inversor.

A partir de los datos:

Consumo diario: 763,082 kW

HSP: 5,02

$$\frac{763,103 \text{ kWh}}{5,02} = 152,01 \text{ kWh}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos se elige el inversor con una potencia nominal de 125 KW, debido a que en el mercado ecuatoriano no hay disponibilidad de inversores de dicha potencia, se ha decidido la implementación de dos inversores **Huawei SUN2000-50KTL-M3** (50 kW), en el anexo B se presenta su ficha técnica.



Figura 17: Inversor Huawei SUN2000-50KTL-M3.

Fuente: HUAWEI.

3.3.7 Soportes de módulos FV.



Figura 18: Soporte de 1 a 4 módulos FV.

Fuente: Almacén fotovoltaico.

Para la elección de los soportes de los módulos fotovoltaicos se deben tener en cuenta ciertas consideraciones como las condiciones climáticas del sitio en estudio, en este caso un ambiente salino y corrosivo. Se opta por seleccionar soportes para múltiples módulos que permiten optimizar costos.

3.3.8 Generación de sistema fotovoltaico.

La tabla 4 presenta una estimación de energía generada de manera mensual y anual y una vez conocidos estos datos podemos realizar el cálculo de producción de energía por los siguientes 25 años de vida útil del sistema con la respectiva degradación lineal del módulo fotovoltaico seleccionado.

La producción mensual se calculará mediante:

$$E_p = HSP * P_s * D * EF$$

Donde:

E_p = Energía producida (kWh).

HSP = Hora solar pico del mes.

D = Días al mes.

EF = Eficiencia del sistema.

Producción anual:

$$E_{pa} = \sum_{t=1}^{t=12} E_{pt}$$

Tabla 4: Producción mensual de sistema fotovoltaico.

Mes	Radiación mensual (HSP)	Producción mensual (kWh)
Enero	4,48	20432,02
Febrero	4,37	19930,34
Marzo	4,65	21207,34
Abril	4,53	20660,05
Mayo	3,88	17474,39
Junio	3,71	16708,76
Julio	3,82	17204,17
Agosto	4,75	21663,41
Septiembre	4,88	22256,30
Octubre	4,97	22666,77
Noviembre	4,98	22712,37
Diciembre	4,89	22301,91
TOTAL		245217,83

Elaborado por: Anthony Gorostiza

Performance Warranty

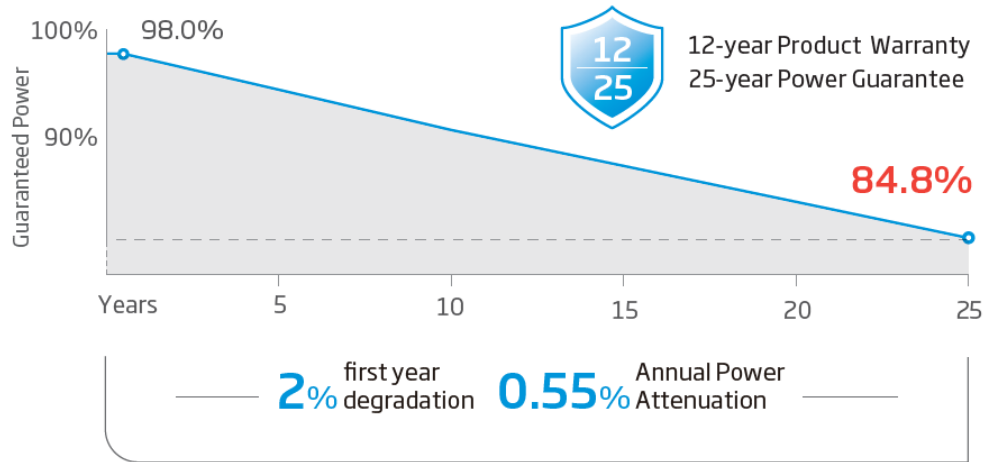


Figura 19: Degradación lineal de módulo Trina Solar Vertex TSM-DE20 610 Wp.

Fuente: Trina Solar.

Producción anual con degradación de módulos:

$$E_{p-D} = E_{pa} * D_a$$

Donde:

E_{p-D} , Energía producida con degradación de módulos.

E_{pa} , Energía producida anualmente.

D_a , Degradación anual de módulos.

Tabla 5: Producción de energía de acuerdo con degradación de módulos fotovoltaicos.

Año	Rendimiento	Producción (kW)
0	100	245217,827
1	98	243869,129
2	97,45	242520,431
3	96,9	241171,733
4	96,35	239823,035
5	95,8	238474,337
6	95,25	237125,639
7	94,7	235776,941
8	94,15	234428,243
9	93,6	233079,545
10	93,05	231730,847
11	92,5	230382,149
12	91,95	229033,451
13	91,4	227684,753
14	90,85	226336,055
15	90,3	224987,357
16	89,75	223638,659
17	89,2	222289,961
18	88,65	220941,262
19	88,1	219592,564
20	87,55	218243,866

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

La figura 20 presenta un diagrama unifilar simple del sistema fotovoltaico dimensionado y simulado en este trabajo.

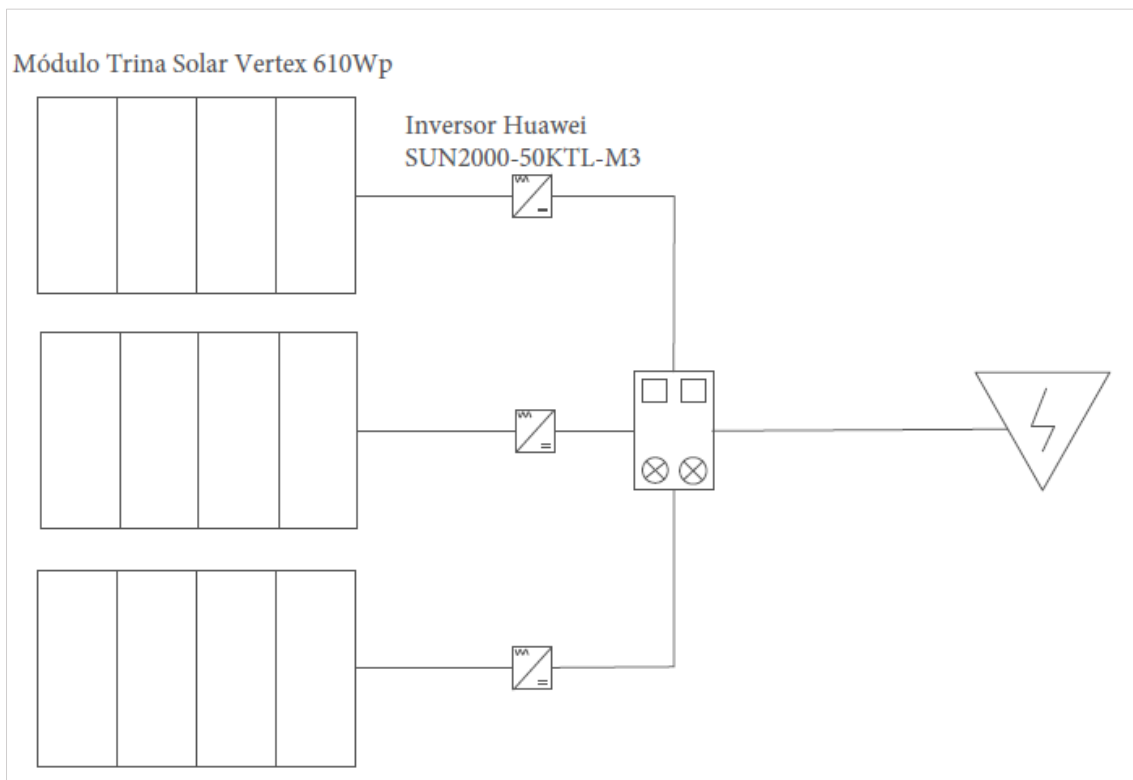


Figura 20: Diagrama simple de sistema fotovoltaico.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

3.4 SIMULACIÓN DE SISTEMA EN SOFTWARE PVSYS.

Se hace la selección del punto de ubicación donde se realiza el estudio para la implementación del sistema fotovoltaico, para este estudio es la estación Cabecera La Libertad que pertenece a la empresa EP Petroecuador.

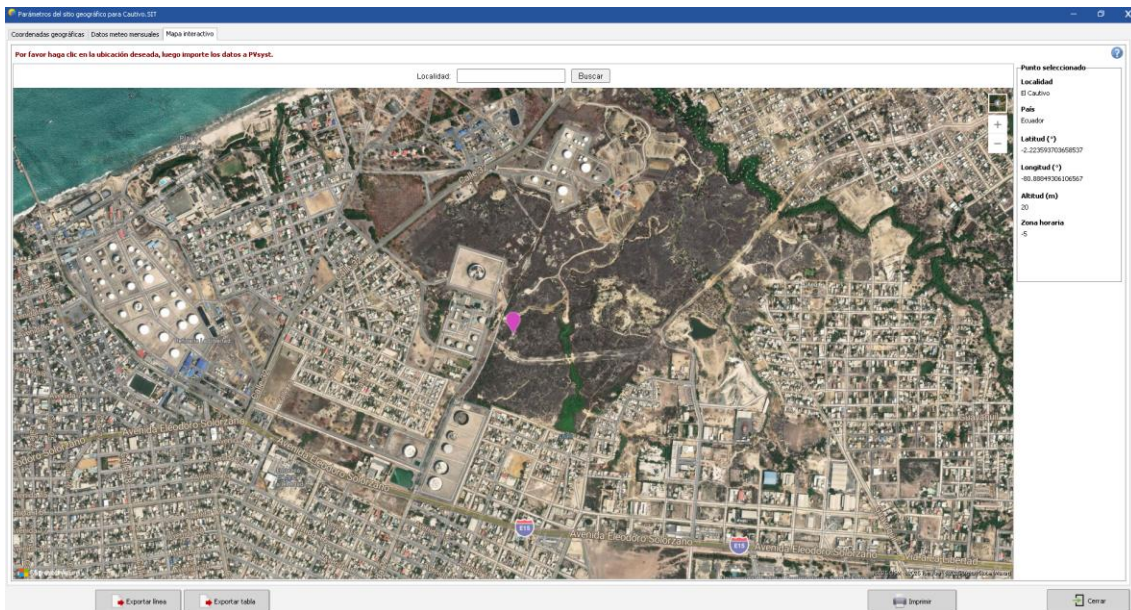


Figura 21: Selección de ubicación para sistema fotovoltaico.

Fuente: PVSyst.

Se procede con la lista de los datos meteo para las coordenadas pertenecientes a la ubicación seleccionada, desde PVGIS como se muestra en la figura 22, ya que es el mismo sitio donde se extrajeron los datos para realizar los cálculos del dimensionamiento matemático.

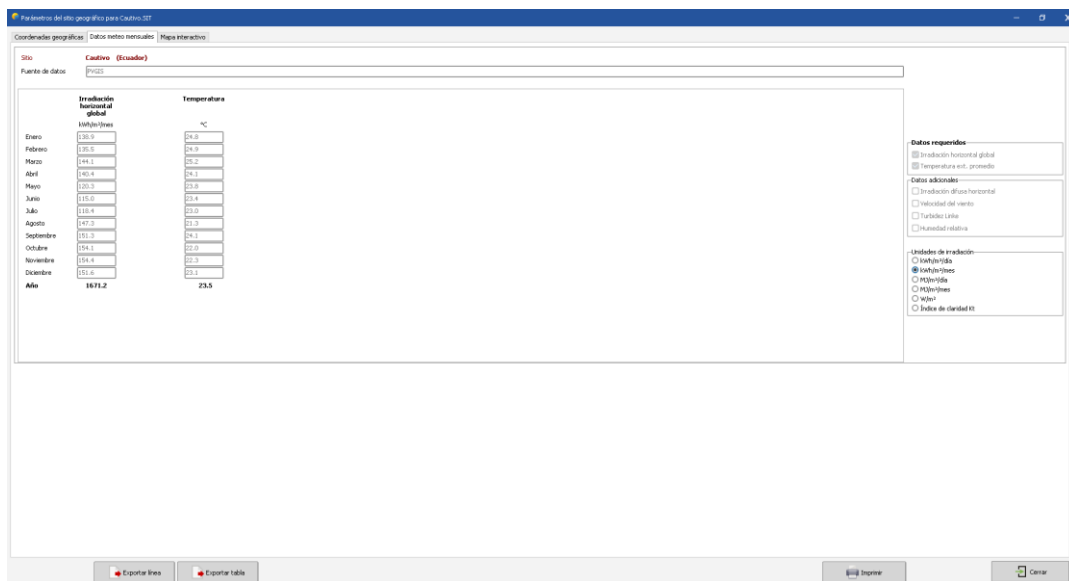


Figura 22: Importación de datos meteo.

Fuente: PVSyst.

Como siguiente punto se procede a configurar los parámetros para el sistema fotovoltaico a simular, en la pestaña de orientación se colocan datos de inclinación de plano y azimut de acuerdo a la ubicación geográfica del lugar de instalación del sistema fotovoltaico.

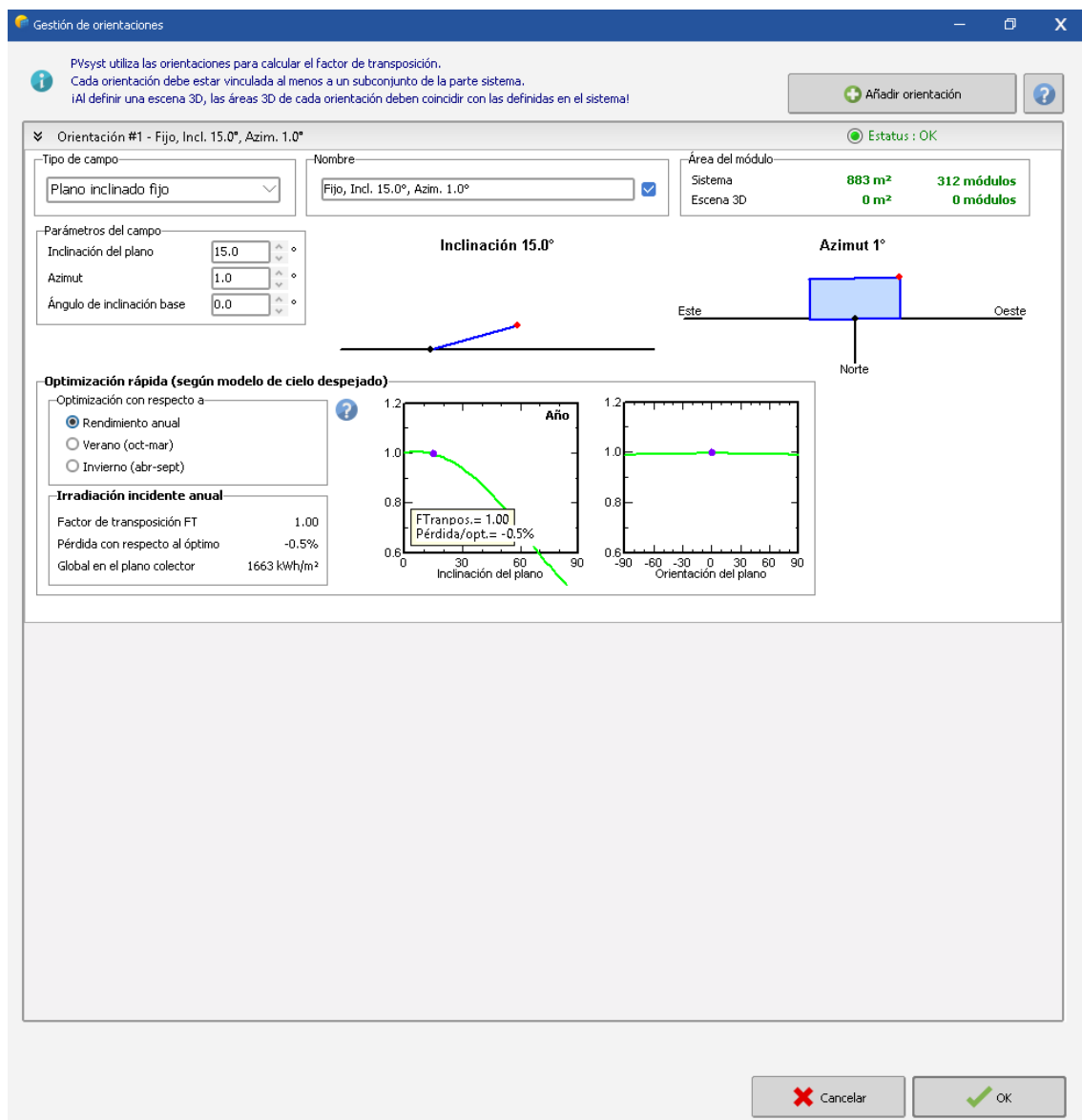


Figura 23: Orientación de plano.

Fuente: PVSystem.

En las herramientas de sistema, opción sistema se colocan modelo de módulos FV e inversor seleccionado en el dimensionamiento matemático con sus especificaciones técnicas encontrados en el mercado local, se detalla el número de módulos FV, configuración en serie y cadenas, potencia nominal del sistema (ver imagen 24).

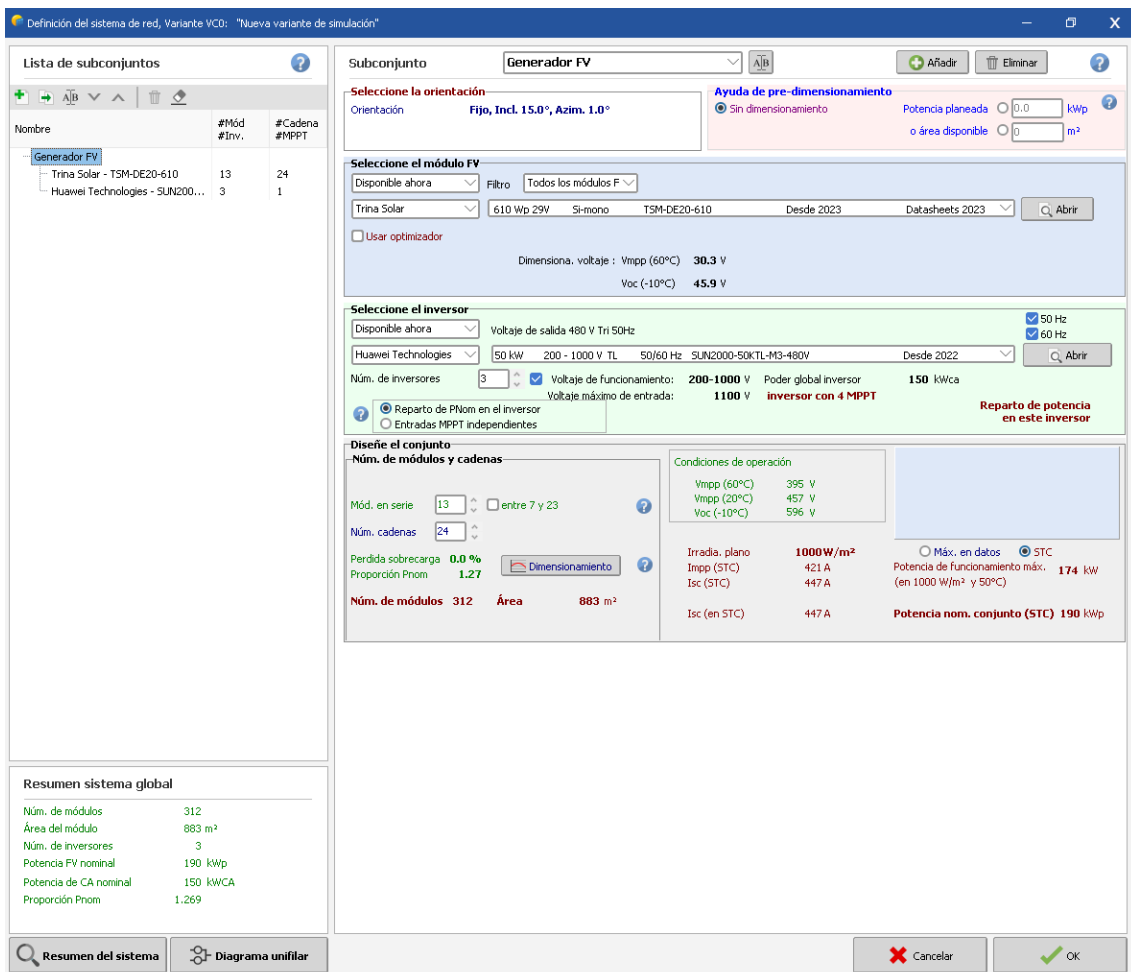


Figura 24: Parámetros de sistema fotovoltaico.

Fuente: PVSystem.

Luego se procede a realizar la simulación para obtener resultados de generación energía fotovoltaica, el rendimiento del sistema, etc. Resultados que deben ser iguales o cercanos a los resultados matemáticos.

3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO.

3.5.1 Inversión inicial.

En la siguiente tabla 6 se detallan los costos de los componentes para el sistema FV, para hacer una estimación de la inversión inicial y llevar a cabo la implementación del sistema fotovoltaico en la estación de bombeo Cabecera La Libertad.

El material de la estructura de soporte debe ser elegido de acuerdo con las condiciones ambientales del lugar de instalación, en este caso un ambiente salino y corrosivo, lo que nos lleva a seleccionar soportes de acero inoxidable con coste de \$140 por unidad, para optimizar los costos se seleccionó soportes donde se pueden ubicar hasta 4 módulos fotovoltaicos (ver imagen 18).

En Ecuador no existe un valor exacto por el costo de mano de obra para la instalación del sistema fotovoltaico, hay el dato de costos variables por kW instalado a partir de ese dato se realizó una estimación promedio del valor total de acuerdo con la potencia (190 kWh) del sistema fotovoltaico dimensionado para este proyecto.

Los valores de los demás componentes se obtuvieron desde tiendas o importadoras con presencia en el mercado ecuatoriano.

Tabla 6: Detalles de inversión inicial de sistema fotovoltaico.

Componente	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Módulos	312	135	42120
Inversor	3	5000	15000
Cables	1	3100	3100
Sistema	1	5000	5000
Puesta tierra	1	330	330
Soporte	78	140	10920
Mano de obra	1	20000	20000
Total			96470

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

3.5.2 Ahorro energético.

Los cálculos del análisis de ahorro económico respecto a la energía están en dependencia de la generación de energía del sistema fotovoltaico y la demanda energética en este caso de la estación de bombeo Cabecera La Libertad, se ha considerado una tarifa de energía para industrias consumidoras de alta tensión en Ecuador de USD 0,0867 tomando en consideración los costos adicionales del consumo eléctrico de la red eléctrica en los meses de mayo, junio y julio. Se detalla un análisis mensual de ahorro y totalidad anual en la tabla 7.

Tabla 7: Análisis de ahorro económico.

Mes	Radiación mensual kWh	Producción mensual kWh	Remanente de energía	Ahorro (USD)
Enero	4,48	20432,02	2116,17	1838,88
Febrero	4,37	19930,34	1614,49	1793,73
Marzo	4,65	21207,34	2891,50	1908,66
Abril	4,53	20660,05	2344,21	1859,40
Mayo	3,88	17474,39	-841,45	-67,32
Junio	3,71	16708,76	-1607,08	-128,57
Julio	3,82	17204,17	-1111,67	-88,93
Agosto	4,75	21663,41	3347,57	1949,71
Septiembre	4,88	22256,30	3940,46	2003,07
Octubre	4,97	22666,77	4350,92	2040,01
Noviembre	4,98	22712,37	4396,53	2044,11
Diciembre	4,89	22301,91	3986,07	2007,17
TOTAL		245217,83	25427,71	17159,93

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

3.5.3 Indicadores económicos

V.A.N.

Indicador financiero que permite determinar la viabilidad económica del proyecto en el cual intervienen variantes como ingresos, egresos e inversión inicial.

Para el cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{(1+r)^t} - I_i$$

Donde:

V_i = flujo de caja de efectivo para cada periodo.

R = tasa de interés.

T = periodo de flujo de caja.

I_i = inversión inicial.

Para el cálculo del VAN es importante que se determine la tasa de interés, para esto se considerará el valor mínimo de tasas de inversión a largo plazo en Ecuador siendo 5,25% valor que lo brinda el Banco Central de Ecuador.

Tabla 8: Criterio para toma de decisión VAN.

Valor	Criterio
$VAN < 0$	Proyecto rechazado por incapacidad de recuperación de inversión inicial.
$VAN > 0$	Proyecto aceptable por generar rentabilidad y cubrir inversión inicial al cabo de pocos años.
$VAN = 0$	Sin generación de ganancias económicas solo recuperando la inversión inicial.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

Se conoce que según el resultado del VAN pueden ocurrir tres escenarios (ver tabla 8)

T.I.R.

Indicador financiero que ayuda a determinar viabilidad económica de un proyecto en el cual intervienen valores de inversión inicial y flujos de caja anuales dando como resultado un valor porcentual que está dentro de las siguientes tres posibilidades presentes en la tabla 9:

Tabla 9: Criterio de decisión, TIR.

Valor	Criterio
TIR < 0	Proyecto no rentable no produce ganancias económicas, al contrario genera de pérdidas económicas.
TIR > 0	Proyecto rentable con viabilidad de recuperación la inversión inicial y generar ganancias.
TIR = 0	Sin pérdidas ni ganancias económicas, se puede o no realizar la inversión en el proyecto.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

El TIR se calcula mediante la siguiente formula:

$$0 = I_i + \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{(1 + TIR)^t}$$

Donde:

V_i = flujo de caja de efectivo para cada periodo

R = tasa de interés

T = periodo de flujo de caja

I_i = inversión inicial

Tabla 10: Cálculo de VAN. y TIR.

Año	Inversión inicial	Ahorro anual	Operaciones y mantenimiento	Balance	Valor presente	valor presente acumulado	TIR %
0	96470	0	0	-96470			
1		17159,93	1500	15659,93	14878,79	-81591,21	-83,77%
2		17159,93	1500	15659,93	14136,62	-67454,59	-50,78%
3		17159,93	1500	15659,93	13431,47	-54023,12	-28,87%
4		17159,93	1500	15659,93	12761,49	-41261,63	-15,29%
5		17159,93	1500	15659,93	12124,93	-29136,70	-6,58%
6		17159,93	1500	15659,93	11520,12	-17616,58	-0,75%
7		17159,93	1500	15659,93	10945,49	-6671,09	3,30%
8		17159,93	1500	15659,93	10399,51	3728,42	6,20%
9		17159,93	1500	15659,93	9880,77	13609,19	8,34%
10		17159,93	1500	15659,93	9387,91	22997,10	9,94%
11		17159,93	1500	15659,93	8919,63	31916,73	11,17%
12		17159,93	1500	15659,93	8474,70	40391,43	12,12%
13		17159,93	1500	15659,93	8051,98	48443,41	12,87%
14		17159,93	1500	15659,93	7650,33	56093,74	13,46%
15		17159,93	1500	15659,93	7268,72	63362,46	13,94%
16		17159,93	1500	15659,93	6906,15	70268,61	14,33%
17		17159,93	1500	15659,93	6561,66	76830,28	14,64%
18		17159,93	1500	15659,93	6234,36	83064,64	14,90%
19		17159,93	1500	15659,93	5923,38	88988,02	15,11%
20		17159,93	1500	15659,93	5627,92	94615,94	15,29%

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

Como podemos observar en la tabla 10, tanto el cálculo del valor presente neto y el cálculo de la tasa interna de retorno a partir del año 8 ambos son positivos lo que indicaría la viabilidad económica del proyecto ya que se da la recuperación total de la inversión inicial

y posteriormente la generación de ganancias económicas lo que da al proyecto fiabilidad para su implementación.

LCOE.

El costo nivelado de electricidad se refiere al precio mínimo de venta de la energía generada por un sistema de generación eléctrica para lograr que se cubran los diferentes costos presentes en la producción en toda la vida útil del sistema.

El LCOE se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{\sum_i^t \frac{egresos_t}{(1+r)^t}}{\sum_i^t \frac{producción_t}{(1+r)^t}}$$

El dimensionamiento y la simulación se realizó para 20 años, misma situación para el cálculo de costo nivelado de energía (LCOE) que para el año 20 corresponde a 0,020 cUSD/kW, resultado que se muestra en la tabla 11. Resultado que indicaría un menor precio de producción de energía por kW a comparación de la tarifa para sector industrial 0,0867 cUSD/kW que ofrece la distribuidora de energía eléctrica.

Tabla 11: Cálculo de LCOE.

Año	Rendimiento	Egresos	Producción acumulada (kWh)	LCOE (USD)
0	100	96470	245217,827	0,393
1	98		489086,957	0,197
2	97,45		731607,388	0,132
3	96,9		972779,121	0,099
4	96,35		1212602,156	0,080
5	95,8		1451076,494	0,066
6	95,25		1688202,133	0,057
7	94,7		1923979,074	0,050
8	94,15		2158407,317	0,045
9	93,6		2391486,862	0,040
10	93,05		2623217,709	0,037
11	92,5		2853599,857	0,034
12	91,95		3082633,308	0,031
13	91,4		3310318,061	0,029
14	90,85		3536654,116	0,027
15	90,3		3761641,472	0,026
16	89,75		3985280,131	0,024
17	89,2		4207570,091	0,023
18	88,65		4428511,354	0,022
19	88,1		4648103,918	0,021
20	87,55		4866347,785	0,020

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

3.6 ANÁLISIS AMBIENTAL.

3.6.1 Análisis de regulación: Nro. ARCONEL – 005/24 (Codificada).

La sostenibilidad de la diversificación de la matriz eléctrica ha llevado a integrar un marco normativo para sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento (SGDA), la regulación Nro. ARCONEL-005/24 (codificada) es emitida por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) donde se establecieron las disposiciones para habilitación, instalación, conexión, operación y mantenimiento de los sistemas, de acuerdo a su categoría tienen procedimiento y requisitos para garantizar la seguridad y estabilidad del sistema y la red eléctrica.

Categoría 1: SGDA con potencia nominal menor o igual a 100 kW.

Categoría 2: SGDA con potencia nominal mayor a 100 kW.

Solicitud y factibilidad.

Presentar la solicitud ante la distribuidora de energía eléctrica, dicha solicitud debe incluir información técnica del proyecto basada en la regulación para sistemas fotovoltaicos mencionada anteriormente.

Certificación.

Una vez aceptada la solicitud y factibilidad del proyecto fotovoltaico donde se aprueban los requisitos establecidos en la regulación, la distribuidora debe emitir el respectivo certificado de habilitación el cual permite ejecutar la etapa de construcción y la conexión del sistema de generación distribuida de autoabastecimiento.

Operación y mantenimiento.

Es la responsabilidad que asume el titular, la operación del sistema y mantenimientos sujetos a las condiciones normadas de calidad y seguridad.

Medición y facturación.

El registro del consumo de energía como la inyección de energía a la red se debe llevar a cabo mediante un sistema de medición para llevar un balance neto en la generación del sistema y que la facturación sea adecuada al consumo.

Esta regulación tiene como principal objetivo validar que las condiciones de los SGDA cumplan con ciertos requisitos, los SGDA deben cubrir la demanda de uno o varios consumidores, debe estar conectada en sincronización con el sistema de distribución o en su defecto a las redes internas del establecimiento. Los equipos para protecciones y equipos para almacenamiento de energía pueden ser opcionales.

3.6.2 Ciclo de vida.

Los sistemas fotovoltaicos suelen tener un promedio de vida útil de 20 a 25 años, no así sus componentes que presentan variaciones considerables.

Tabla 12: Inventario de vida útil de los componentes del sistema fotovoltaico.

Componente	Cantidad	Material	Vida útil
Módulos FV	312	Silicio	25 años
Inversores	3	Aluminio	15 años
Cables	1	Cobre	25 años
Soporte	78	Acero inoxidable	25 años

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

El ciclo de vida de un sistema fotovoltaico es un proceso que integra materiales, instalación y operación de cada uno de los componentes que lo conforman. La eficiencia y eficacia de los sistemas va disminuyendo progresivamente con una tasa que va de acuerdo al material y tipos de mantenimientos realizados periódicamente.

El inversor seleccionado difiere en el ciclo de vida con respecto a los demás componentes lo cual se toma en consideración al realizar el análisis económico siendo un costo adicional la adquisición de nuevos inversores para el año 15 de funcionamiento del sistema fotovoltaico.

3.6.3 Emisiones de CO².

En la generación eléctrica, Ecuador ha presentado una crisis energética por varios meses del año (desde abril hasta diciembre) debido a la escasez hídrica en el país, afectando directamente en la producción de energía en las hidroeléctricas que son las que generan el 80% de la energía. En el año 2024 aquello afectó a todos los sectores consumidores de energía que dependen de la red eléctrica provocando la generación mediante termoeléctricas y también el autoabastecimiento que se refiere a la adquisición de generadores cuyo funcionamiento es a base de combustibles fósiles, situación que tubo un impacto ambiental negativo aumentado a gran escala.

Producción Mensual Neta [GWh]

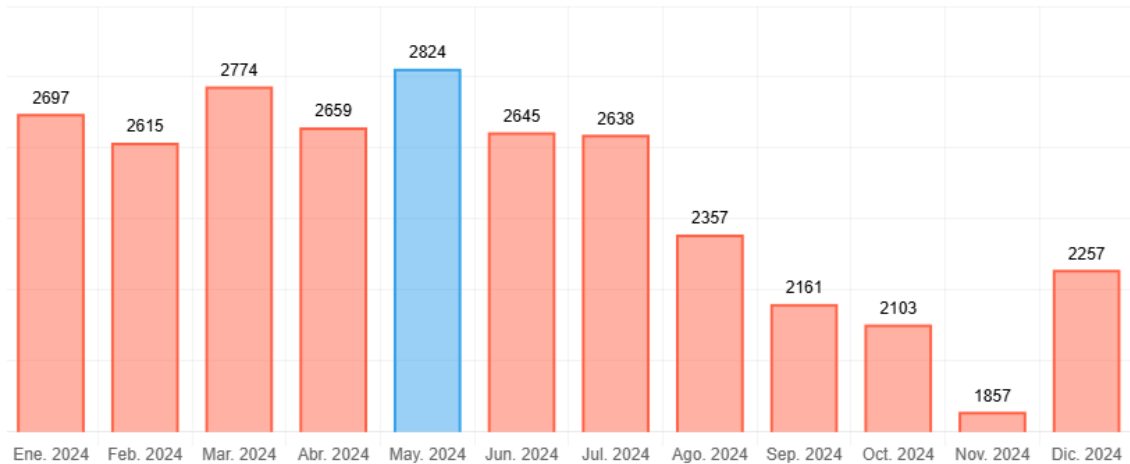


Figura 25: Generación energética nacional.

Fuente: CENACE.

En la estación de bombeo Cabecera La Libertad se cuenta con generador a diésel para abastecimiento de energía y evitar la para de operaciones que pueden generar pérdidas económicas, esto trae consigo emisiones de CO₂ siendo los meses de septiembre, octubre y noviembre los peores en la crisis energética (ver imagen 25). No se descarta un nuevo periodo de sequía para los meses mencionados, esto podría incurrir en el autoabastecimiento energético a través de generadores a diésel.

La implementación del sistema fotovoltaico en la estación de bombeo Cabecera La Libertad evita el uso de generador a diésel lo que se traduce en emisiones evitadas por el uso de combustibles fósiles, valores que se detallan en la tabla 13 tomando como referencia el factor de emisión de CO₂ para generadores a diésel 0,267 tCO₂/MW o 0,267 kgCO₂/kW emitido por Ministerio de Energía y Minas en el informe (2023) de factores de emisión de CO₂.

Tabla 13: Emisiones de CO2 evitadas para periodo de Septiembre a Noviembre del 2025.

Mes	Radiación solar (HSP)	Demanda (kWh)	Producción (kWh)	kgCO₂/kW
Septiembre	4,88	18315,84	22225,93	5934,32
Octubre	4,97	18315,84	22635,84	6043,77
Noviembre	4,98	18315,84	22681,38	6055,93
TOTAL				18034,02

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Componentes.

Tabla 14: Potencia de principales componentes.

Ítem	Cantidad	Potencia por unidad (kW)	Potencia total (kW)
Módulos	312	0,61	190,32
Inversores	3	50	150

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

En la tabla 14 se presentan las potencias de dos componentes principales del sistema fotovoltaico como son los módulos fotovoltaicos y los inversores, potencia que es determinada por las unidades presentes en el sistema. Las unidades para el sistema se obtuvieron mediante el dimensionamiento matemático el que no es más que una serie de cálculos donde interviene la demanda energética en este caso de la estación de bombeo Cabecera La Libertad y las condiciones climáticas de la zona en estudio.

4.2 Rendimiento de sistema fotovoltaico.

El resultado del rendimiento del sistema fotovoltaico se obtiene mediante la interacción de procesos que van desde su diseño técnico, estudio económico, mantenimientos incluso las condiciones ambientales del lugar de instalación para obtener una buena eficiencia del sistema y también permite que sus componentes cumplan con la vida útil.

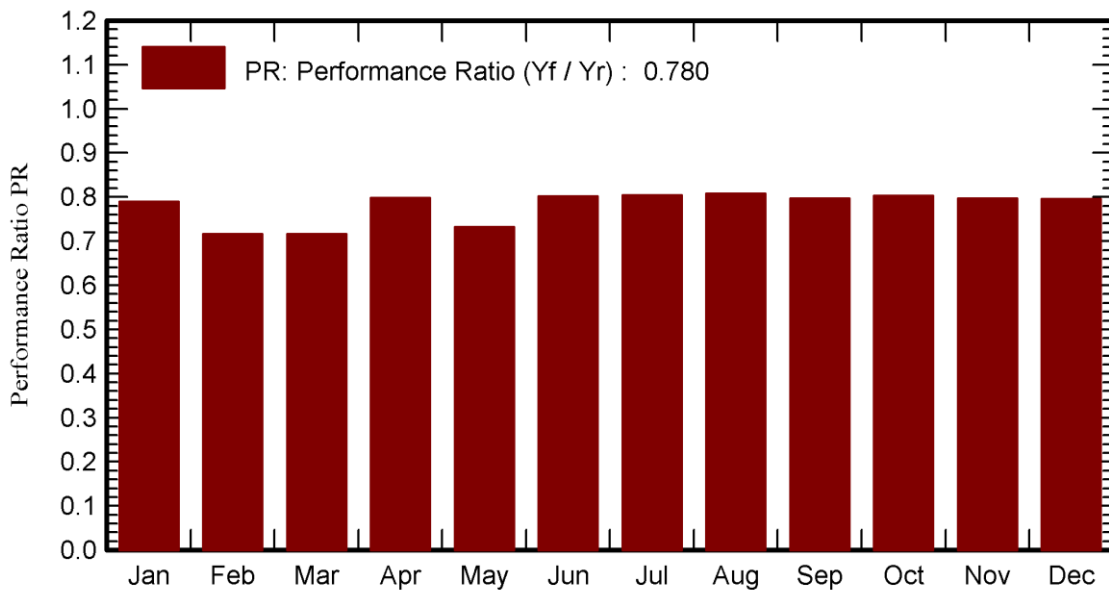


Figura 26: Rendimiento mensual del sistema.

Fuente: PVSyst.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

En la figura 26 podemos observar el rendimiento mensual del sistema fotovoltaico dimensionado para cubrir la demanda energética de la estación de bombeo Cabecera La Libertad, donde el resultado se considera muy bueno debido a que se obtiene un promedio de 0,78 lo que equivale a un aprovechamiento del 78 % de energía efectiva de toda la energía solar recibida, el restante se debe a los diferentes parámetros presentes que generan pérdidas de energía el sistema fotovoltaico correspondiente al 22 %.

El sistema dimensionado tanto matemáticamente y simulado en el software PVSyst en el presente trabajo se da como resultado una generación de energía suficiente que puede cubrir con la demanda energética de la gran mayoría de meses del año del lugar en estudio permitiendo un remanente mensual, esto lo permite las condiciones climáticas y se demuestra una viabilidad y factibilidad, para los meses que cubre la demanda se sustenta con la red eléctrica, permitiendo así ahorros anuales de hasta \$17136,51.

4.3 Entrada y salida de energía diaria.

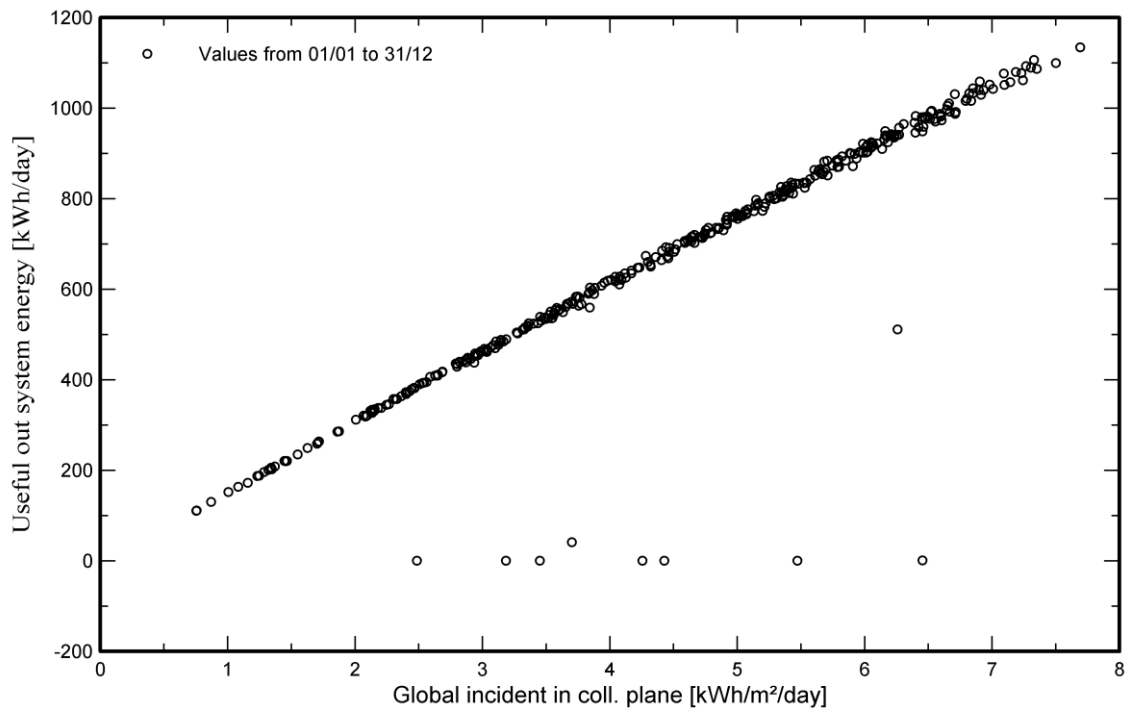


Figura 27: Diagrama de entrada y salida de energía por día.

Fuente: PVSyst.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

En la figura 27 se muestra la generación de energía del sistema fotovoltaico en función de la irradiancia global de la zona en estudio, los efectos de variación de temperatura se denotan en la pequeña curvatura, además de los puntos alejados de la curva son lecturas de los días donde existen niveles de irradiancia alta lo que significa que podría existir sobrecargas de energía en el sistema.

4.4 Generación de energía.

Realizando un balance de energía entre la producción del sistema fotovoltaico y la demanda existe un remanente positivo debido a las condiciones climáticas que permiten una generación de energía adecuada para las instalaciones de la estación de bombeo

Cabecera La Libertad. En la figura 28 se realiza la comparativa entre generación mensual y la demanda energética.

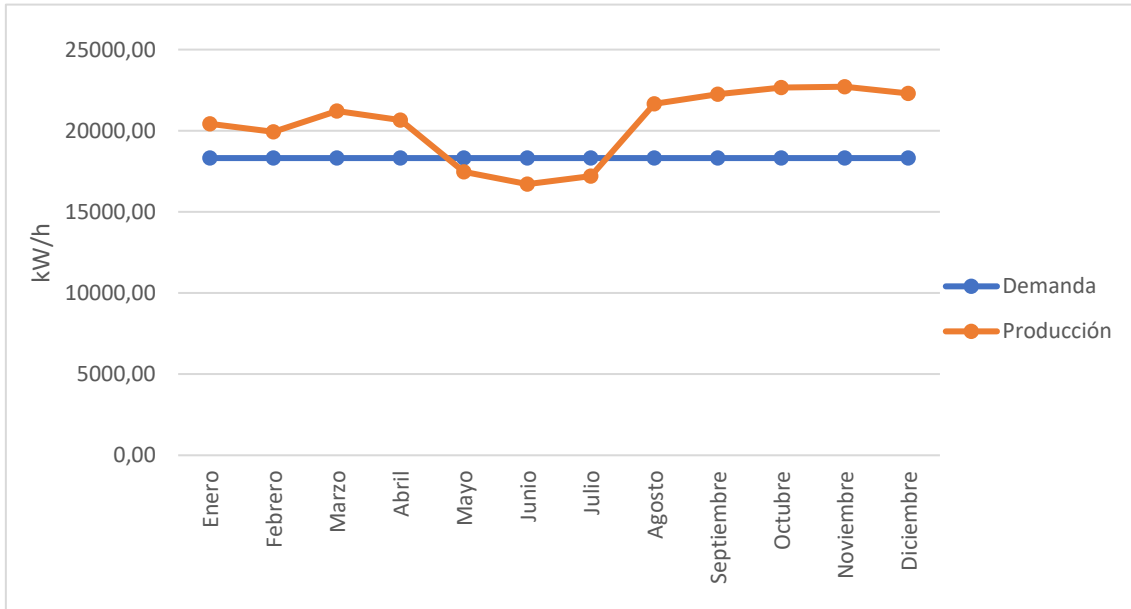


Figura 28: Comparativa de generacion mensual vs demanda.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

La generación fotovoltaica del sistema dimensionado y simulado en software PVSyst no cubre con la demanda de los meses de mayo, junio y julio debido a que son los meses del año donde existe alta nubosidad, es allí donde se genera la hibridación del sistema energético en la estación para la sustentación de la demanda haciendo uso de la red eléctrica nacional eso incluirá costos sujetos a la tarifa de venta al sector industrial.

4.5 Indicadores económicos.

El cálculo de los indicadores económicos importantes para la determinación de la factibilidad económica del proyecto fotovoltaico, en la tabla 15 se indican los resultados favorables para su desarrollo.

Tabla 15: Indicadores económicos.

Indicador	Resultado
VAN	\$94.615,94
TIR	15,29%
LCOE	0,020 cUSD/kW

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

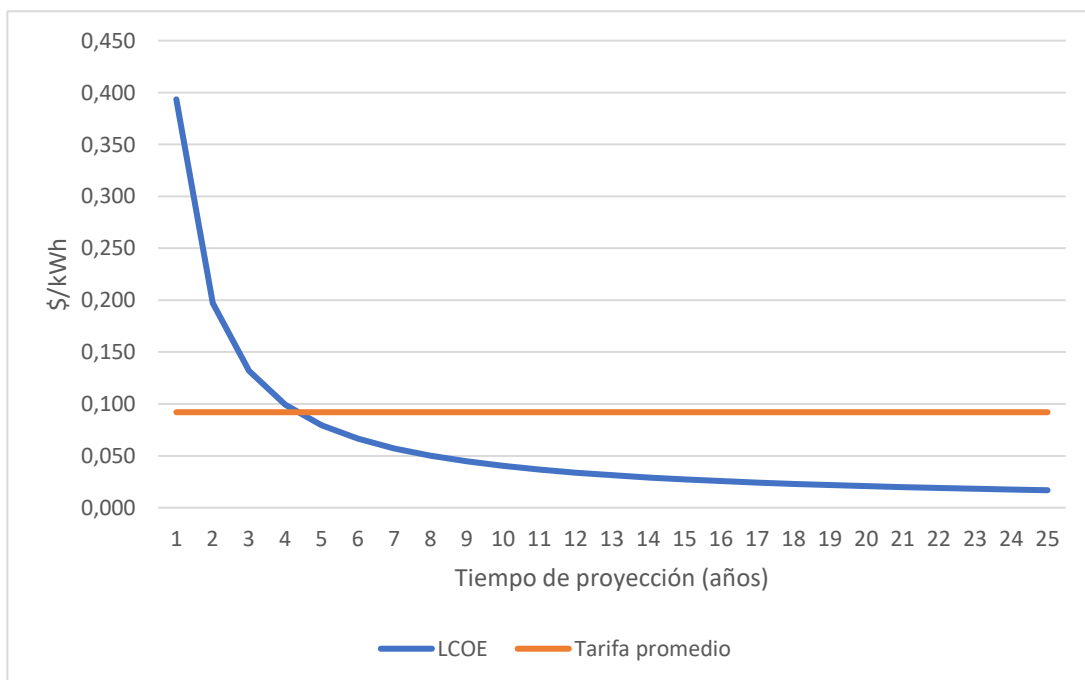


Figura 29: Comparativa de tarifa pública y LCOE.

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

El costo de producción de energía mediante sistema fotovoltaico del presente trabajo LCOE de 0,020 cUSD/kW indica un considerable menor costo con respecto a la tarifa pública 0,0867 cUSD/kW. En la figura 29 observamos que la paridad de los costos llega aproximadamente en el año 4 después de la implementación del sistema fotovoltaico.

4.6 Impacto ambiental.

La implementación de un sistema fotovoltaico resulta en un impacto ambiental positivo al no generar emisiones de CO₂ por cada kWh generado, en cambio evita el uso de generadores a diésel en épocas de sequía donde la generación por hidroeléctricas no abastece para la demanda energética nacional.

La prevista sequía para el año 2025 llevaría a que la estación de bombeo Cabecera La Libertad haga uso de generador a diésel y emitir CO₂, pero al implementarse el sistema fotovoltaico eso no sería necesario ya que el suministro energético estaría garantizado, entonces se puede cuantificar las emisiones de CO₂ evitadas.

Tabla 16: Total de emisiones de CO2 evitas.

Mes	Producción (kWh)	kgCO ₂ /kW
Septiembre	22225,93	5934,32
Octubre	22635,84	6043,77
Noviembre	22681,38	6055,93
TOTAL		18034,02

Elaborado por: Anthony Gorostiza.

El resultado de las emisiones evitadas es solo para el año 2025, este puede aumentar en caso de existir mas periodos con crisis energética en al lapso de los 20 años de funcionamiento del sistema fotovoltaico.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

La ubicación geográfica de Ecuador le permite contar con muy buenas condiciones climáticas para llevar a cabo implementaciones de sistemas fotovoltaicos, los valores de radiación solar van desde los 3,5 hasta los 6 kWh/m²/día y manejar un sistema híbrido entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico para evitar la dependencia a un solo sistema para suministro energético.

Para selección de los componentes del sistema fotovoltaico se consideran parámetros ambientales para garantizar el funcionamiento adecuado, el dimensionamiento debe estar sujeto a la regulación Nro. ARCONEL-005/24 (codificada) que determina requisitos y procesos para su implementación de acuerdo con la categoría correspondiente a la potencia nominal del sistema.

Uno de los beneficios que ofrecen los sistemas de generación energética mediante fuentes renovables es el ahorro económico, las tarifas de consumo establecidas por ARCERNNR suelen tener fluctuaciones debido a escasas hídrica, ajustes de subsidios en materia de producción energética, la comparación entre la tarifa actual y el costo de producción del sistema fotovoltaico da una diferencia de \$0,06 ctvs con el alto consumo de la estación permite un ahorro de \$17.136, 51 incluyendo costos adicionales del uso de la red eléctrica en los meses de baja radiación solar.

El análisis financiero concluye que el proyecto tiene rentabilidad, la recuperación de la inversión inicial se dará tras 8 años de funcionamiento del sistema en comparación con los 20 años de proyección y un margen de 5 años ya que la vida útil de los sistemas fotovoltaicos tiende a los 25 años.

El impacto ambiental es positivo debido a la nula emisión de CO₂ por la generación de energía, en la estación de bombeo Cabecera La Libertad no existen emisiones por generación de energía y la implementación de un sistema fotovoltaico evita emisiones de CO₂ en posibles nuevas épocas de crisis energética nacional como en el pasado año 2024.

5.2 RECOMENDACIONES.

En el mercado ecuatoriano no hay gran variedad de distribución de componentes de sistemas fotovoltaicos, por ello la selección de estos debe tener presencia en el mercado ecuatoriano o con facilidades de importación mediante agencias o empresas.

Debido al ambiente salino y altamente corrosivo los equipos deberán tener características que respalden el trabajo en la zona de trabajo ya que también interviene en el ciclo de vida de estos, revisar si cuentan con certificación o que cumplan con las respectivas normativas.

Los mantenimientos al sistema fotovoltaico deben tener una programación y se requiere realizarlos de acuerdo con los manuales de mantenimientos correspondientes a los equipos para garantizar el funcionamiento del sistema y evitar pérdidas de energía durante los años de proyección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autosolar Perú. (n.d.). *Efecto de las sombras en paneles solares: Guía definitiva*. Retrieved April 16, 2025, from <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/efecto-de-las-sombras-en-paneles-solares-guia-definitiva>
- Díaz Rodríguez, J., Pabón Fernández, L., & Pardo García, A. (2012). *SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR Y RED ELÉCTRICA*.
- ELUM ENERGY. (2023, October 16). *¿Qué es un sistema híbrido solar-diesel? - Elum*. <https://elum-energy.com/es/blog/sistema-hibrido-fv-diesel/>
- Enercity S.A. (2019, November 5). *Baterías Fotovoltaicas | Enercity S.A.* <https://enercitysa.com/blog/baterias-fotovoltaicas/#>
- Enersave. (2014). *Energía Solar*. <http://enersave.es/medicion-neta/energia-solar>
- Granda, S. (2021). *El contrato de transporte internacional de hidrocarburos y sus derivados y sus dimensiones jurídicas en el Ecuador*.
- Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. In *Results in Engineering* (Vol. 20). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621>
- Heliostrategia Ecuador. (n.d.). *CABLE SOLAR DC 6mm² - Heliostrategia Ecuador*. Retrieved April 15, 2025, from <https://heliostrategiaecuador.com/catalogo/cable-solar-dc-6mm%20b2/>
- Jamjachi Rojas, J. J. (2021). *Diseño de un sistema eléctrico híbrido para una vivienda residencial*.
- Korevaar, M. A. N. (2022). *Measuring Solar Irradiance for Photovoltaics*. www.intechopen.com
- Li, C. H., Zhu, X. J., Cao, G. Y., Sui, S., & Hu, M. R. (2009). Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy

- storage technology. *Renewable Energy*, 34(3), 815–826.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.018>
- López, O. (2015). *La Eficiencia Energética En La Industria: Una Solución Efectiva Para Ahorrar Energía*.
- López, P. (2004). *POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO*.
- Maka, A. O. M., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476–483.
<https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023a). *BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2023b). *Factor de emision de CO2*.
- Munuswamy, S., Nakamura, K., & Katta, A. (2011). Comparing the cost of electricity sourced from a fuel cell-based renewable energy system and the national grid to electrify a rural health centre in India: A case study. *Renewable Energy*, 36(11), 2978–2983. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2011.03.041>
- MUST. (n.d.). *PH1100 EU Series: High-Performance Three-Phase Hybrid Inverter for European Solar Solutions*. Retrieved May 12, 2025, from <https://www.mustenergy.com/InverterCharge/29>
- OCPEcuador. (2025). *¿Cómo funciona una Estación de Bombeo?*
<https://www.ocpecuador.com/funcionamiento/transporte-crudo-pesado/estacion-sardinas/>
- Olmedo González, J. (2018). *Diseño de un sistema híbrido solar-hidrógeno de baja potencia con administración de energía*.
- Puig, P., & Jofra, M. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN*.
- PVEducation. (n.d.). *Estructura de la Célula Solar | PVEducation*. Retrieved April 15, 2025, from <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/estructura-de-la-c%C3%A9lula-solar>

- SMA Solar. (n.d.). *SMA DC-DC Converter* | SMA Solar. Retrieved April 15, 2025, from <https://www.sma.de/es/productos/tecnica-de-corriente-continua/sma-dc-dc-converter>
- Smets, A., Jager, K., Isabella, O., Van Swaaij, R., & Zeman, M. (2016). *Solar energy The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*.
- Soto, G., Hernández, J., & Almarza, D. (2016). *guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*.
- Tyagi, V. V., Rahim, N. A. A., Rahim, N. A., & Selvaraj, J. A. L. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 20, pp. 443–461). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.028>
- URBANO, P. A. (2021). *METODOLOGÍA Y SOFTWARE PARA LA OPTIMIZACIÓN MULTICRITERIO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍA*.
- Zanek, F. (2024). Optimización de la integración de energías renovables en sistemas eléctricos, utilizando un algoritmo genético. *Revista Científica de Informática ENCRIPtar*, 13(13), 1–20. <https://doi.org/10.56124/encriptar.v7i13.001>

ANEXOS

Anexo A.- Ficha técnica de modulo solar.



P-type PERC

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

TSM-DE20 590-610W

610W / MAXIMUM POWER OUTPUT

21.6% / MAXIMUM EFFICIENCY



High customer value

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance Of System) cost, shorter payback time
- Lower guaranteed first year and annual degradation
- Designed for compatibility with existing mainstream system components



High power up to 610W

- Up to 21.6% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection



High reliability

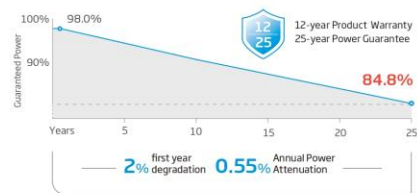
- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load



High energy yield

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.34%) and operating temperature

Performance Warranty



* Please refer to product warranty for details

Comprehensive Products and System Certificates

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL61730
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 © 2024 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
 The right of final interpretation belongs to Trina Solar Co., Ltd.
 Version number: TSM_EN_2024_A



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- $P_{MAX}(W_p)^*$	590	595	600	605	610
Power Selection (W)**			0 ~ +5		
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	34.0	34.2	34.4	34.6	34.8
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.35	17.40	17.44	17.49	17.53
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	41.1	41.3	41.5	41.7	41.9
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	18.42	18.47	18.52	18.57	18.62
Module Efficiency η_m (%)	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5. *Measuring tolerance: ±3%. **Power selection up to: +3%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Peak Power Watts- $P_{MAX}(W_p)$	447	451	454	458	461
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	31.7	31.9	32.0	32.2	32.4
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	14.09	14.13	14.18	14.22	14.25
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	38.7	38.9	39.1	39.3	39.5
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	14.85	14.88	14.92	14.96	15.00

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

TEMPERATURE RATINGS

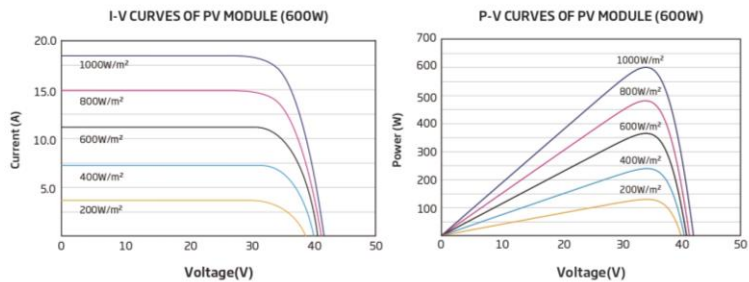
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.34% /°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.25% /°C
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.04% /°C

Due to different testing methods, the actual performances might differ from the declared specifications.

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	30A

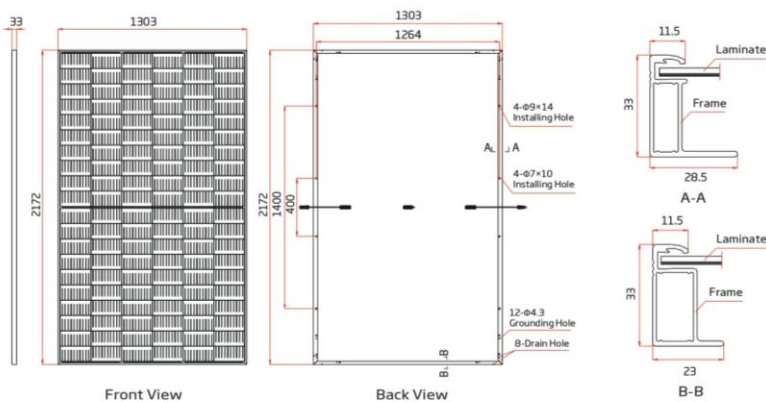
CURVES OF PV MODULE



MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	120 cells
Module Dimensions	2172×1303×33 mm (85.51×51.30×1.30 inches)
Weight	29.3 kg (64.6 lb)
Front Glass	3.2mm (0.13inches), AR Coating Tempered Glass
Backsheet	White
Frame	33mm(1.30 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²) Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4*
Packaging	Modules per box: 33 pieces Modules per 40' container: 594 pieces

*Please refer to regional datasheet for specified connector.



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2024 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
The right of final interpretation belongs to Trina Solar Co., Ltd.
Version number: TSM_EN_2024_A

Anexo B.- Ficha técnica de inversor.

SUN2000-50KTL-M3
Smart PV Controller



Higher Yields

Up to 30% More Energy with Optimizer



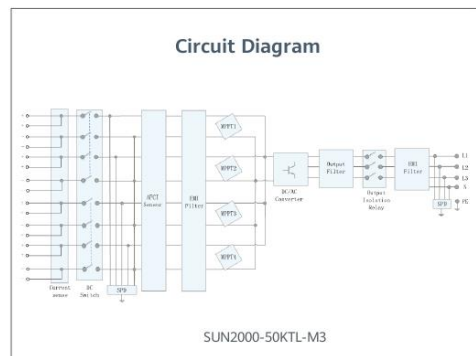
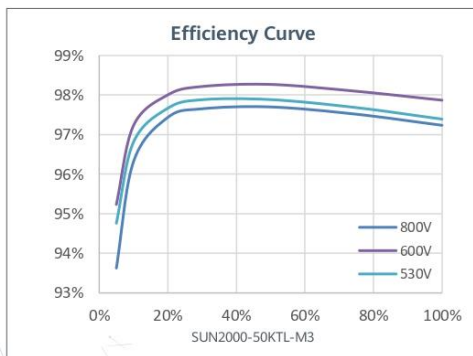
Active Safety

AI Powered
Active Arcing Protection



Flexible Communication

WLAN, Fast Ethernet, 4G
Communication Supported



SUN2000-50KTL-M3
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-50KTL-M3
Efficiency	
Max. Efficiency	98.5%
European Efficiency	98.0%
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	30 A
Max. Current per Input	20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V
Number of Inputs	8
Number of MPP Trackers	4
Output	
Rated AC Active Power	50,000 W
Max. AC Apparent Power	55,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	55,000 W
Rated Output Voltage	400 Vac / 480 Vac, 3W+(N) + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	72.2 A @ 400Vac, 60.1 A @ 480Vac
Max. Output Current	79.8 A @ 400Vac, 66.5 A @ 480Vac
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Arc Fault Protection	Yes
Ripple Receiver Control	Yes
Integrated PID Recovery ³	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (Isolation Transformer required)
Optimizer Compatibility	
DC MBUS Compatible Optimizer	MERC-1100/1300W-P
General Data	
Dimensions (W x H x D)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)
Weight (with mounting plate)	49 kg (108.1 lb)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0% RH ~ 100% RH
DC Connector	Amphenol HH4
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP 66
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	≤ 5.5W

Standard Compliance (more available upon request)

Safety	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, DEWA

1. The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
2. Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.
3. SUN2000-30-50KTL-M3 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly), N-type (PERC, HIT).
4. 50KTL Platform only supports C&I Optimizer (MERC-1100/1300W-P). The current version does not support this function and it can be upgraded to optimizer version via new inverter software version (Dec 30th, 2022). Refer to [HTTP://solar.huawei.com/](http://solar.huawei.com/)

SOLAR.HUAWEI.COM/

Anexo C.- Ficha técnica de soportes de módulos.



SUNFER

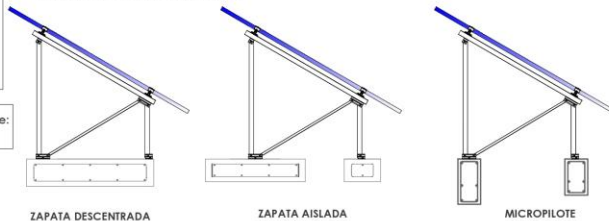
- Soporte inclinado de 1 fila de módulos para terreno.
- Anclaje a hormigón.
- Disposición de los módulos: Vertical.
- Inclinación estándar 30°.
- Inclinaciones disponibles bajo pedido: 5°-10°-15°-20°-25°-35°
- Altura libre en punto más desfavorable 500 mm.
- Válido para espesores de módulos de 30 hasta 45 mm.
- Kits disponibles de 1 hasta 4 módulos.
- Tornillería de anclaje no incluida.

NOTA:
Debido a las tolerancias del producto NO colocar los anclajes en la losa de hormigón antes de tener montado el pórtico. Una vez ensamblado el pórtico, marcar los agujeros de anclaje y perforar la losa para colocar los anclajes.

Se recomienda realizar un estudio geotécnico del terreno

Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades del viento)
Materiales: Perfilera de aluminio EN AW 6005A T6
Tornillería de acero inoxidable A2-70
Comprobar el buen estado y la capacidad portante del terreno antes de cualquier instalación.

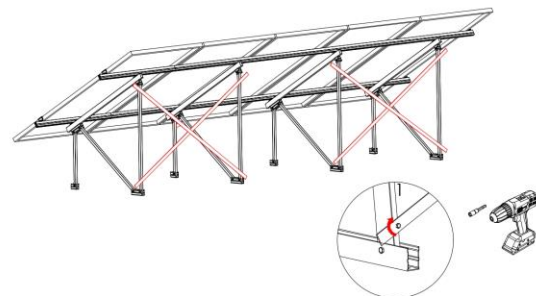
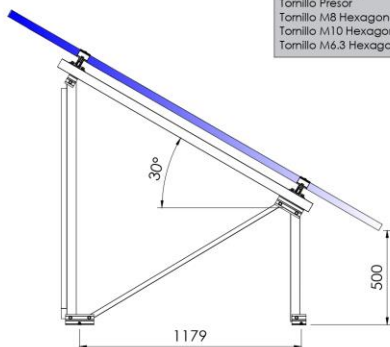
Ejemplos de cimentaciones



Para módulos de hasta 2279x1150 - Sistema Kit
2279x1150

Carga de nieve: 40 kg/m²

Par de apriete:
Tornillo Presor 7 Nm
Tornillo M8 Hexagonal 20 Nm
Tornillo M10 Hexagonal 40 Nm
Tornillo M6.3 Hexagonal 10 Nm



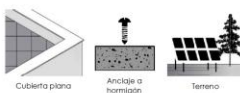
Herramientas necesarias:



Seguridad:



Reservado el derecho a efectuar modificaciones - Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.



Marcado ES19/86524 CE

R1-02/22

Velocidades de viento

Soporte inclinado para terreno para 1 fila de módulos

40V
Sistema kit

SUNFER



- **Cargas de viento:** Según túnel del viento en modelo computacional CFD
- **Cálculo estructural:** Modelo computacional comprobado mediante EUROCÓDIGO 9 "PROYECTO ESTRUCTURAS DE ALUMINIO"

Cuadro de velocidades máx. admisibles de viento					
Tamaño del módulo	1	2	3	4	nº de módulos
2279x1150	150	150	150	130	Velocidad de viento km/h

Tabla 1 - Velocidades máximas de viento admisibles.

- Para garantizar la resistencia a la velocidad máxima de diseño se deberán utilizar anclajes adecuados y utilizar el lastre indicado por el fabricante para cada situación.

Reservado el derecho a efectuar modificaciones. Las ilustraciones de productos son a modo de ejemplo y pueden diferir del original.

Para cumplir con las velocidades máximas admisibles de viento especificadas en la tabla 1, se deberán respetar todas las instrucciones indicadas en los planos de montaje. Se debe comprobar que los puntos de anclaje para los módulos son compatibles con las especificaciones del fabricante.

Marcado
ES19/86524 **CE**



PVsyst V8.0.12

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: EBCLL

Variant: Nueva variante de simulación

No 3D scene defined, no shadings

System power: 190 kWp

Cautivo - Ecuador

| Author



Project: EBCLL

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.12

VC0, Simulation date:
05/06/25 19:21
with V8.0.12

Project summary

Geographical Site Cautivo Ecuador	Situation Latitude -2.22 °(S) Longitude -80.89 °(W) Altitude 20 m Time zone UTC-5	Project settings Albedo 0.20
Weather data Cautivo PVGIS - Sintético		

System summary

Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
Orientation #1 Fixed plane Tilt/Azimuth 15 / 1 °	Near Shadings no Shadings	User's needs Unlimited load (grid)	
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules	312 units	Nb. of units	3 units
Pnom total	190 kWp	Total power	150 kWac
		Pnom ratio	1.27

Results summary

Produced Energy	243.56 MWh/year	Specific production	1280 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	78.04 %
-----------------	-----------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7
Cost of the system	8
CO ₂ Emission Balance	9



Project: EBCLL

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.12

VC0, Simulation date:
05/06/25 19:21
with V8.0.12

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings		Horizon	
Orientation #1		Models used		Free Horizon	
Fixed plane		Transposition Perez			
Tilt/Azimuth	15 / 1 °	Diffuse Perez, Meteorom			
		Circumsolar separate			
Near Shadings		User's needs			
no Shadings		Unlimited load (grid)			

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	TSM-DE20-610	Model	SUN2000-50KTL-M3-480V
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	610 Wp	Unit Nom. Power	50.0 kWac
Number of PV modules	312 units	Number of inverters	3 units
Nominal (STC)	190 kWp	Total power	150 kWac
Modules	24 string x 13 In series	Operating voltage	200-1000 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>35°C)	55.0 kWac
Pmpp	174 kWp	Phom ratio (DC:AC)	1.27
U mpp	411 V	Power sharing within this inverter	
I mpp	424 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	190 kWp	Total power	150 kWac
Total	312 modules	Max. power	165 kWac
Module area	883 m²	Number of inverters	3 units
		Phom ratio	1.27

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		DC wiring losses				
Loss Fraction	5.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	16 mΩ			
		Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.50 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s					
Serie Diode Loss		LID - Light Induced Degradation		Module Quality Loss				
Voltage drop	0.7 V	Loss Fraction	2.0 %	Loss Fraction	-0.38 %			
Loss Fraction	0.2 % at STC							
Module mismatch losses		Strings Mismatch loss						
Loss Fraction	2.00 % at MPP	Loss Fraction	0.05 %					
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.963	0.892	0.814	0.679	0.438	0.000

System losses

Unavailability of the system	
Time fraction	2.0 %
	7.3 days,
	3 periods



Project: EBCLL

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V8.0.12

VC0, Simulation date:
05/06/25 19:21
with V8.0.12

Main results

System Production

Produced Energy

243.56 MWh/year

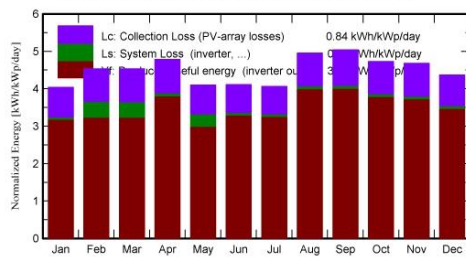
Specific production

1280 kWh/kWp/year

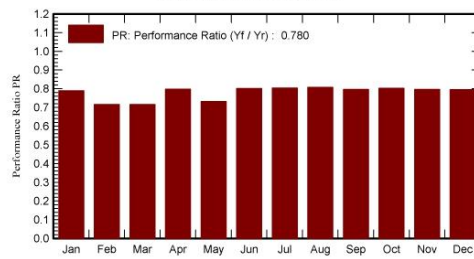
Perf. Ratio PR

78.04 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	138.9	76.84	24.80	125.2	114.8	19.19	18.82	0.789
February	135.5	80.09	24.90	126.9	117.0	19.53	17.28	0.716
March	144.2	84.57	25.20	140.5	130.0	21.56	19.13	0.716
April	140.4	86.65	24.10	143.5	133.1	22.21	21.78	0.798
May	120.3	70.78	23.80	127.1	117.9	19.66	17.71	0.732
June	115.0	67.51	23.40	123.4	114.7	19.21	18.84	0.802
July	118.4	73.11	23.00	126.0	117.0	19.65	19.27	0.804
August	147.3	84.12	21.30	153.6	142.8	24.08	23.62	0.808
September	151.3	86.15	24.10	151.2	140.3	23.36	22.91	0.796
October	154.1	87.62	22.00	146.5	135.4	22.82	22.38	0.802
November	154.4	76.19	22.30	140.4	129.5	21.72	21.30	0.797
December	151.6	83.69	23.10	135.5	124.4	20.93	20.53	0.796
Year	1671.2	957.33	23.49	1639.9	1516.8	253.93	243.56	0.780

Legends

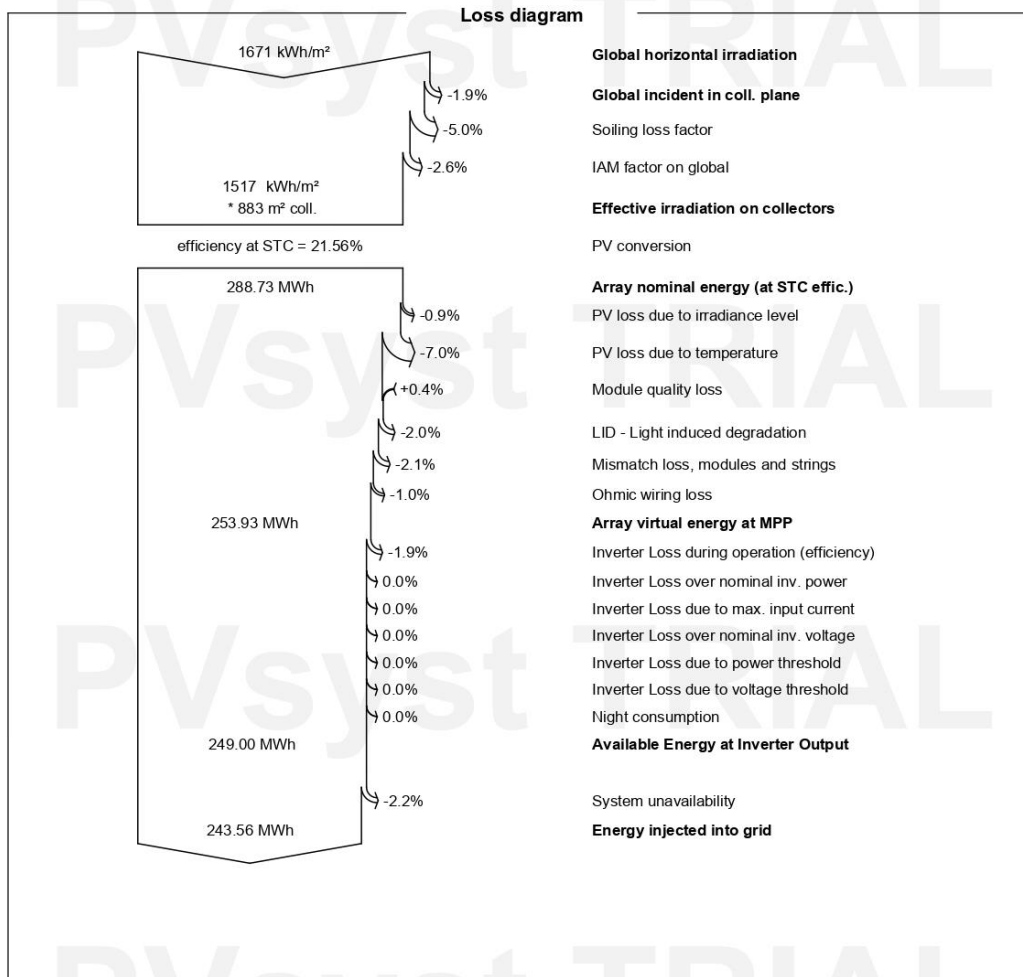
- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



PVsyst V8.0.12
VC0, Simulation date:
05/06/25 19:21
with V8.0.12

Project: EBCLL

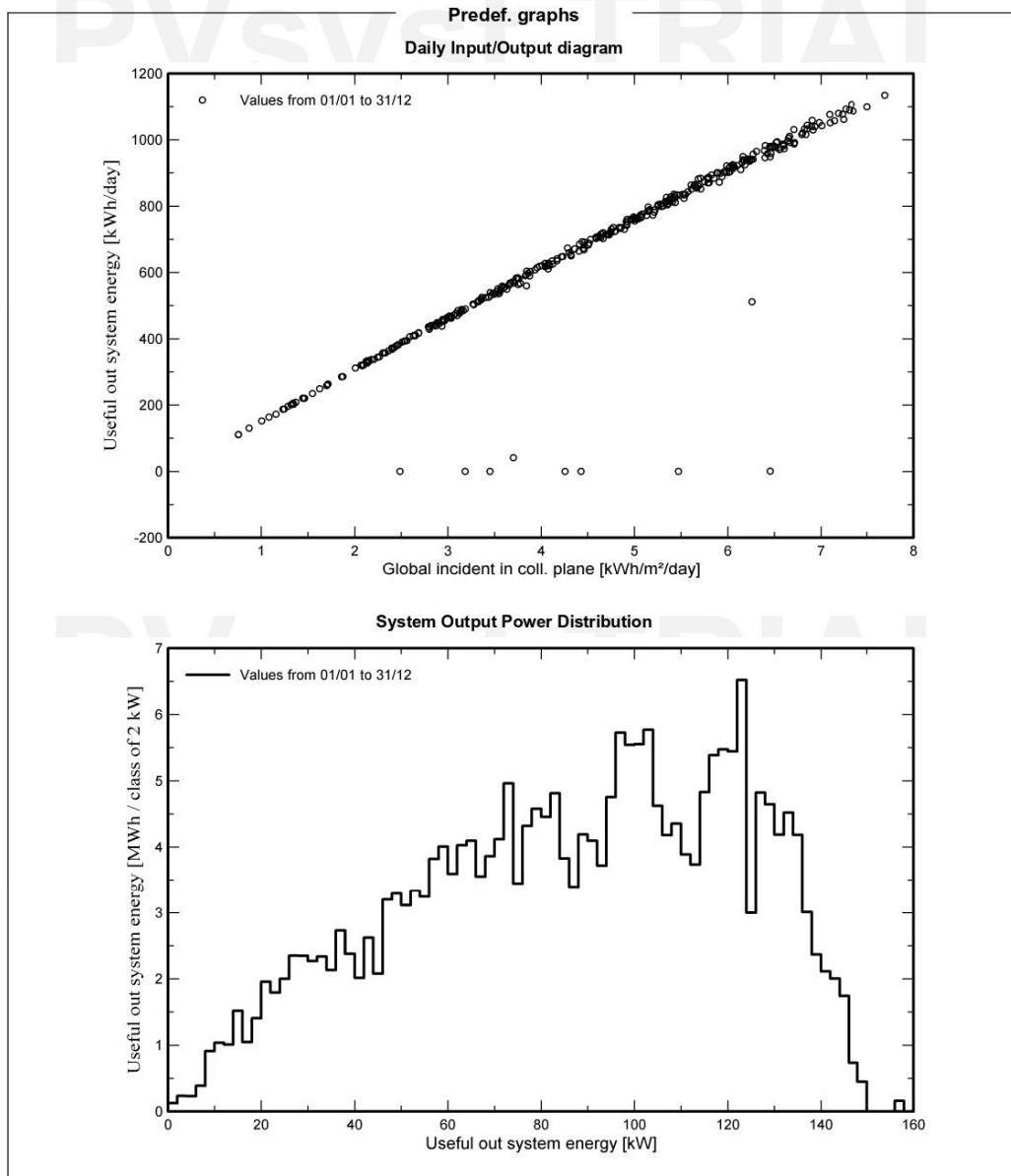
Variant: Nueva variante de simulación

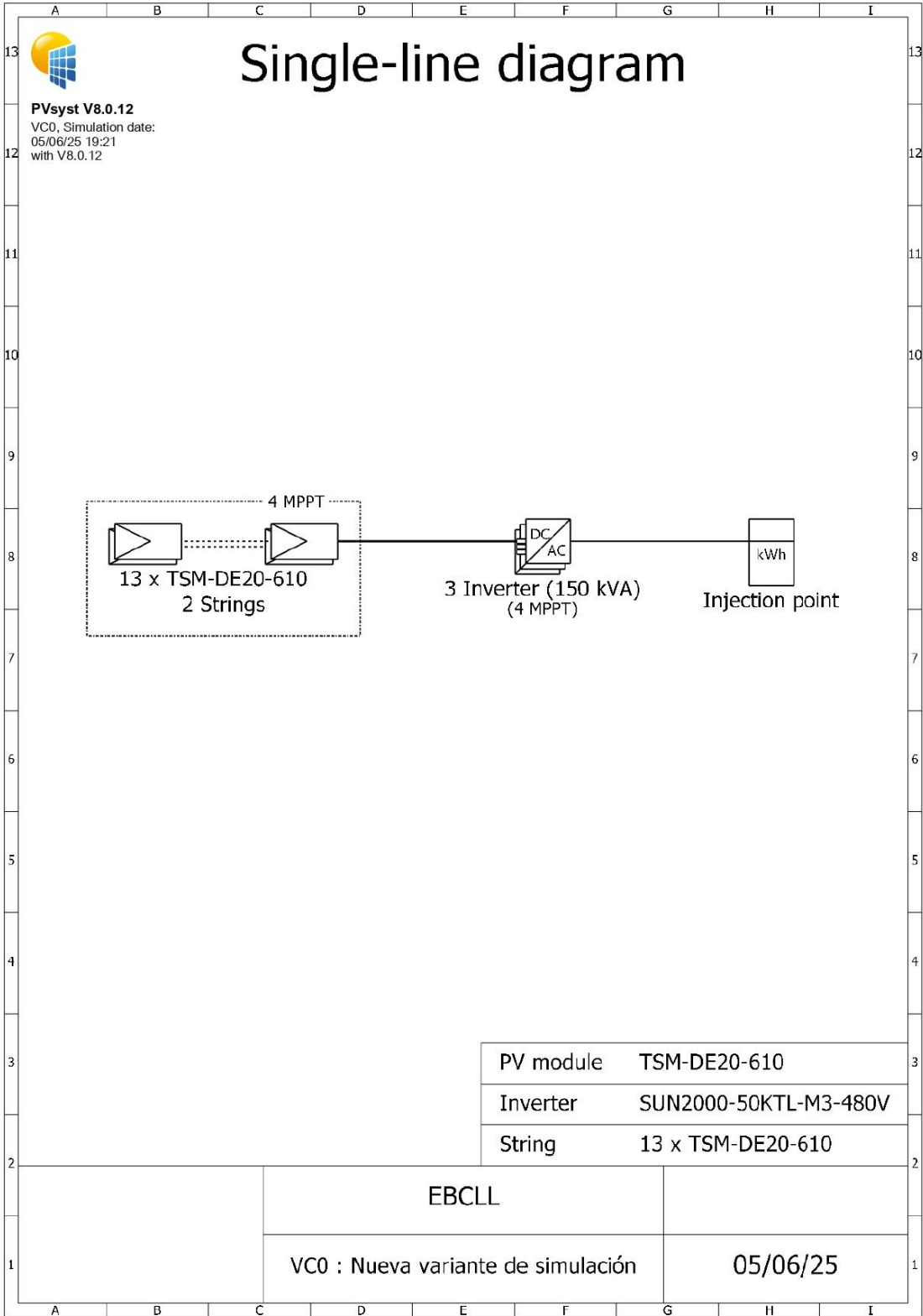




PVsyst V8.0.12
VC0, Simulation date:
05/06/25 19:21
with V8.0.12

Project: EBCLL
Variant: Nueva variante de simulación







Project: EBCLL

Variant: Nueva variante de simulación

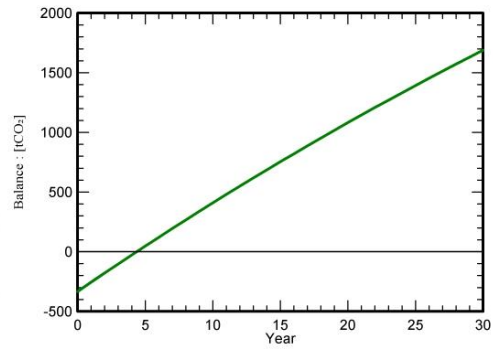
PVsyst V8.0.12

VC0, Simulation date:
05/06/25 19:21
with V8.0.12

CO₂ Emission Balance

Total: 1689.2 tCO₂
Generated emissions
 Total: 333.24 tCO₂
 Source: Detailed calculation from table below
Replaced Emissions
 Total: 2330.8 tCO₂
 System production: 243.56 MWh/yr
 Grid Lifecycle Emissions: 319 gCO₂/kWh
 Source: IEA List
 Country: Ecuador
 Lifetime: 30 years
 Annual degradation: 1.0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal [kgCO ₂]
Modules	1713 kgCO ₂ /kWp	190 kWp	325965
Supports	2.13 kgCO ₂ /kg	3120 kg	6639
Inverters	211 kgCO ₂ /units	3.00 units	632