



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO  
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN ZONAS AISLADAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: FERNANDO FABRICIO CALVA PARDO  
GEOVANNY PATRICIO SIGUENCIA CANTOS

TUTOR: ING. JOHNNY XAVIER SERRANO GUERRERO Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Fernando Fabricio Calva Pardo con documento de identificación N° 1104475635 y Geovanny Patricio Sigüencia Cantos con documento de identificación N° 0107577132; manifestamos que::

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que, sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 26 de junio del 2025

Atentamente,



---

Fernando Fabricio Calva Pardo  
1104475635



---

Geovanny Patricio Sigüencia Cantos  
0107577132

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL  
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA**

Nosotros, Fernando Fabricio Calva Pardo con documento de identificación N° 1104475635 y Geovanny Patricio Siguencia Cantos con documento de identificación N° 0107577132, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: Diseño e implementación de un sistema híbrido de generación de energía en zonas aisladas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento en que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 26 de junio del 2025

Atentamente,



---

Fernando Fabricio Calva Pardo  
1104475635



---

Geovanny Patricio Siguencia Cantos  
0107577132

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johnny Xavier Serrano Guerrero con documento de identificación N° 0104983382, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN ZONAS AISLADAS, realizado por Fernando Fabricio Calva Pardo con documento de identificación N° 1104475635 y por Geovanny Patricio Siguenca Cantos con documento de identificación N° 0107577132, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 26 de junio del 2025

Atentamente,



---

Ing. Xavier Serrano Guerrero, PhD.  
0104983382

# *Agradecimiento*

*Deseo manifestar mi profundo agradecimiento a Dios por su orientación y por brindarme la fortaleza esencial para lograr esta significativa meta en mi vida. También quiero agradecer a mis padres por su amor incondicional y su respaldo en cada etapa de este recorrido. A mis hermanos y amigos por su aliento y motivación constante.*

*Agradezco a la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana por proporcionarme los conocimientos y habilidades necesarias para enfrentar los desafíos de mi formación académica.*

*A mi tutor de tesis, Ing. Xavier Serrano G. M.Sc. Ph.D. por su orientación y valiosos consejos a lo largo de este proceso, así como su dedicación y compromiso en ayudarme a alcanzar mis objetivos.*

*Gracias a todos por ser parte de este logro.*

*Fernando Fabricio Calva Pardo*

# *Agradecimiento*

*Agradezco a Dios por permitirme alcanzar esta meta, brindándome fortaleza, sabiduría y salud a lo largo de estos años para superar cada desafío en mi camino. Expreso mi gratitud a mis padres, familiares y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, en especial de la carrera de ingeniería eléctrica, quienes me brindaron apoyo, consejos y compartieron sus conocimientos durante mi formación académica.*

*Mi reconocimiento especial al Ing. Xavier Serrano G. M.Sc. Ph.D. por su constante interés y disposición para resolver dudas y aportar sugerencias en el desarrollo de este trabajo de grado.*

*Geovanny Patricio Sigüencia Cantos*

# *Dedicatoria*

*Dedico mi tesis a Dios, quien ha sido mi guía y fuente de fortaleza en cada etapa de este proceso. A mis padres, Martha y Francisco, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios, que me han permitido alcanzar mis metas. A mis hermanas y a mi hermano, por ser mi inspiración y por siempre estar a mi lado. Gracias a todos por ser parte fundamental de mi vida y por ayudarme a convertir mis sueños en realidad.*

*Fernando Fabricio Calva Pardo*

# *Dedicatoria*

*Dedico esta tesis a mis padres, Armando y Narcisa, quienes siempre fueron mi mayor apoyo e inspiración para continuar mis estudios universitarios. Confío en que mi padre se sienta orgulloso de este logro. También agradezco a mis familiares, quienes estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles, brindándome su ayuda incondicional. Gracias a ellos aprendí a enfrentar los problemas con perseverancia, manteniendo siempre mis principios y valores, todo ello recibido con amor y sin esperar nada a cambio.*

*Geovanny Patricio Siguencia Cantos*

## RESUMEN

El presente trabajo realiza el diseño e implementación de un sistema híbrido de generación de energía para abastecer un campamento de pequeña minería en zonas aisladas de red eléctrica. El sistema propuesto combina un generador de 50 kVA a diésel, un sistema solar fotovoltaico y sistemas de almacenamiento de energía con el objetivo de reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales. El estudio inicia con un análisis de la carga energética del campamento, considerando las diferentes cargas presentes y sus patrones de uso. Esto permite dimensionar adecuadamente tanto el generador como el sistema fotovoltaico para satisfacer las necesidades energéticas del campamento.

**Palabras clave:** sistema híbrido, generador, sistema fotovoltaico.

## ABSTRACT

This work carries out the design and implementation of a hybrid energy generation system to supply a small mining camp in areas isolated from the electrical grid. The proposed system combines a 50 kVA Diesel generator, a solar photovoltaic system, and energy storage systems with the aim of reducing dependence on conventional energy sources. The study begins with an analysis of the energy load of the camp, considering the different loads present and their use patterns. This allows both the generator and the photovoltaic system to be appropriately sized to meet the energy needs of the camp.

**Key Words:** Hybrid sitem, generator, photovoltaic system.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>CAPITULO 1: Fundamentación Teórica</b>	<b>5</b>
1.1	Marco Teórico . . . . .	5
1.1.1	Sistemas híbridos de generación de energía . . . . .	5
1.1.2	Características del sistema híbrido . . . . .	7
1.1.3	Energía fotovoltaica . . . . .	8
1.1.3.1	Generador fotovoltaico . . . . .	8
1.1.3.2	Reguladores de carga . . . . .	9
1.1.3.3	Inversores . . . . .	9
1.1.3.4	Baterías . . . . .	10
1.1.4	Generadores diésel . . . . .	10
1.1.5	Software HOMER . . . . .	11
1.1.6	Potencial Solar del Ecuador . . . . .	12
1.1.7	Mapas indicadores de irradiación y potencial eléctrico fotovoltaico del Campamento de Macara . . . . .	14
<b>2</b>	<b>CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO</b>	<b>17</b>
2.1	Diseño del sistema fotovoltaico . . . . .	17
2.1.1	Determinación de la cantidad de paneles . . . . .	18
2.1.2	Determinación de la capacidad del banco de baterías en Ah . . . . .	19
2.1.3	Capacidad del Inversor y regulador de carga . . . . .	20
2.1.4	Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico . . . . .	20
2.2	Diseño del sistema híbrido . . . . .	22
2.2.1	Dimensionamiento de cargas conectado al generador . . . . .	23
2.2.2	Descripción de las cargas conectadas . . . . .	24
2.2.3	Esquema del sistema híbrido . . . . .	28
2.2.4	Sistema de protecciones . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Capítulo 3: Funcionamiento y análisis económico</b>	<b>31</b>
3.1	Instalación de los equipos del Sistema Híbrido Diesel - Fotovoltaico . . . . .	31
3.2	Implementación de un sistema fotovoltaico de un sistema híbrido . . . . .	36

3.3	Análisis técnico y económico . . . . .	36
3.3.1	Análisis de los costos de la implementación del sistema híbrido diesel-fotovoltaico . . . . .	36
3.3.2	Evaluación de resultados con ampliación de la red de distribución eléctrica aérea . . . . .	37
<b>4</b>	<b>SIMULACIONES</b>	<b>39</b>
4.1	Velocidad del viento y la radiación solar . . . . .	39
4.2	Modelo de simulación . . . . .	41
4.3	Resultados de optimización . . . . .	43
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>
5.1	Conclusiones . . . . .	45
5.2	Recomendaciones . . . . .	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Diagrama de equipos a considerar.[1]	6
1.2	Esquema del sistema híbrido de generación eléctrica	6
1.3	Esquema básico de un sistema fotovoltaico. [2]	8
1.4	Irradiación Solar Global Horizontal Anual.[3]	12
1.5	Terreno apto para sistemas fotovoltaicos.[4]	13
1.6	Ubicación del Campamento de Macará.	14
2.1	Diagrama FV implementado.	21
2.2	diseño sistema híbrido	22
2.3	Especificaciones de Generador	23
2.4	Especificaciones de motor 7.5HP	24
2.5	Especificaciones de soldador inverter	25
2.6	Bomba sumergible	26
2.7	Detalles técnicos Bomba	26
2.8	Extractor de aire	27
2.9	Esquema conexión generador	28
2.10	Esquema sistema híbrido	29
2.11	Diagrama unifilar protecciones	30
3.1	Dispositivo GPS	31
3.2	Panel solar a ser instalado	32
3.3	Preparación del terreno para la puesta a tierra	32
3.4	Inversor	33
3.5	Generador instalado	33
3.6	Verificación del Generador instalado	34
3.7	Tablero de transferencia	34
3.8	Arrancador suave	35
3.9	Panel solar instalado	36
4.1	Localización del campamento	40
4.2	Velocidad del viento (promedio mensual)	40
4.3	Índice de claridad y radiación solar(promedio mensual)	41

4.4	Diseño del sistema de energía eléctrica . . . . .	42
4.5	Diseño del sistema de energía híbrido. . . . .	42
4.6	Resultado de la simulación del sistema de energía con generador Diésel. . .	43
4.7	Simulación para encontrar el diseño óptimo (Sistema Híbrido). . . . .	44
4.8	Escenario instantáneo de producción y consumo. . . . .	44
4.9	Promedio mensual de generación de electricidad basado en el modelo sugerido	44

# Índice de tablas

1.1	Irradiación Solar Directa Normal Mensual . . . . .	15
1.2	Irradiación Solar Global Horizontal Mensual . . . . .	16
2.1	Información recopilada sobre la irradiación solar global . . . . .	17
2.2	Cálculo de la demanda . . . . .	18
2.3	Cálculo de la demanda . . . . .	18
2.4	Cálculo de número de paneles requeridos . . . . .	19
2.5	Determinación de la capacidad del banco de baterías . . . . .	19
2.6	Capacidad diaria del banco de baterías . . . . .	19
2.7	Cálculo de capacidad del regulador . . . . .	20
2.8	Cálculo de capacidad del inversor . . . . .	20
2.9	Recomendación de Breaker según carga . . . . .	30
3.1	Detalle del presupuesto de la instalación del FV . . . . .	37
3.2	Detalle del presupuesto de la instalación del generador . . . . .	37
3.3	Detalle del presupuesto de la mano de obra . . . . .	37
4.1	Parámetros utilizados en el Software . . . . .	41

## ANTECEDENTES

Satisfacer las demandas energéticas de los campamentos ubicados en áreas remotas es una necesidad crucial. Estos campamentos a menudo enfrentan dificultades para acceder a redes eléctricas convencionales, lo que genera la necesidad de encontrar soluciones de generación de energía autónomas y sostenibles. Las soluciones energéticas sostenibles son fundamentales para áreas remotas, donde la accesibilidad a la infraestructura eléctrica tradicional puede ser un desafío [5].

Históricamente, los generadores diésel o de gasolina han sido utilizados como la principal fuente de energía en campamentos remotos. Aunque son confiables, estos generadores son costosos de operar y mantienen una dependencia de combustibles fósiles, lo que puede resultar en emisiones contaminantes y altos costos de combustible [6]. En sistemas de generación de energía, con el desarrollo de tecnologías de energía renovable, como la energía solar y eólica, se ha explorado la integración de estas fuentes en sistemas híbridos de generación de energía. Esto permite reducir la dependencia de los combustibles fósiles y aprovechar fuentes de energía más limpias y sostenibles [7]. Las ventajas de los sistemas híbridos de generación de energía, en los que los sistemas híbridos combinan múltiples fuentes de energía, generalmente un generador convencional y una fuente renovable, como paneles solares o turbinas eólicas. Estos sistemas ofrecen ventajas como la diversificación de fuentes de energía, mayor eficiencia energética, reducción de costos operativos y menor impacto ambiental [8].

La aplicación de sistemas híbridos en campamentos, como los utilizados en proyectos de construcción, operaciones mineras o actividades de investigación, requiere una fuente de energía confiable para alimentar equipos, iluminación y sistemas de comunicación. Los sistemas híbridos de generación de energía se han utilizado con éxito en estos campamentos, proporcionando una solución eficiente y sostenible [9] [10].

Existen varios estudios de casos y proyectos piloto que demuestran la viabilidad y los beneficios de la implementación de sistemas híbridos de generación de energía en campamentos. Estos proyectos han mostrado reducciones significativas en el consumo de combustible, emisiones de carbono y costos operativos, al tiempo que garantizan un suministro de energía confiable [11]. Todas las fuentes de energía renovable, a excepción de la mareomotriz y la geotérmica, así como la energía de los combustibles fósiles, tienen su origen final en el sol. Este astro emite 100 PWh (Peta =  $10^{15}$ ) de energía hacia nuestro planeta. En términos más concretos, la Tierra recibe aproximadamente  $1361 \text{ W/m}^2$  de radiación solar en la parte superior de la atmósfera. Aproximadamente el 1% de esta energía solar se transforma en energía eólica. Esto implica que la energía eólica producida puede ser significativamente mayor que la convertida en biomasa por todas las plantas de la Tierra, aunque las cifras exactas de esta comparación pueden variar. [12].

Los sistemas de generación de energía híbridos integran diversas fuentes, como la solar, eólica y convencional, con el objetivo de optimizar tanto la producción como el suministro de energía. En los últimos años, estos sistemas han adquirido importancia debido a la necesidad de diversificar las fuentes energéticas y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Además, su implementación contribuye a aumentar la eficiencia energética y a asegurar un suministro más constante, adaptándose a las fluctuaciones en la demanda y las condiciones climáticas. La creciente preocupación por el cambio climático y la búsqueda de alternativas sostenibles han convertido a los sistemas híbridos en una solución viable para afrontar los desafíos energéticos actuales [13]. Los progresos tecnológicos y la disminución de costos han evidenciado que, en años recientes, se han logrado avances importantes en la tecnología de energías renovables. Esto ha resultado en una disminución de los precios de los paneles solares, turbinas eólicas y baterías de almacenamiento de energía. Como consecuencia, los sistemas híbridos se han vuelto más accesibles y económicos para su implementación en campamentos y otras zonas remotas. [14].

## JUSTIFICACIÓN

El proyecto de diseño e implementación de un sistema híbrido de generación de energía en el campamento de Macará surge de la necesidad de no poseer red eléctrica existente para funcionamiento del campamento. Aprovechando los recursos energéticos renovables disponibles, como la radiación solar, se busca reducir la dependencia de fuentes convencionales y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. La implementación de este sistema proporcionará un suministro de electricidad híbrido, usando un generador eléctrico a Diesel de 50 kVA y un sistema de panel solar, mejorando la calidad de vida de los residentes y visitantes del campamento. Además, tendrá impactos positivos en la comunidad y el medio ambiente al reducir la contaminación y contribuir a la mitigación del cambio climático. El proyecto también tiene un potencial económico significativo al generar ahorros en costos a largo plazo y promover el desarrollo sostenible en la región, este proyecto busca satisfacer la necesidad de energía confiable, aprovechar los recursos renovables, generar impactos positivos y promover el desarrollo sostenible en el campamento de minería artesanal de Macará.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema híbrido de generación de energía para un campamento situado en Macará, Ecuador, con el fin de proporcionar una fuente confiable de energía que cumpla con las demandas energéticas del campamento y reduzca su impacto ambiental.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las características meteorológicas para el campamento ubicado en Macará.
- Diseñar un sistema híbrido que incluya generación diésel y fotovoltaica para el funcionamiento aislado del campamento Macará con una potencia de 50 kVA.
- Implementar el sistema híbrido de generación de energía y evaluar su desempeño.
- Proponer mejoras y ajustes al sistema basado en los resultados obtenidos durante la implementación y evaluación.

# CAPÍTULO 1

## CAPITULO 1: Fundamentación Teórica

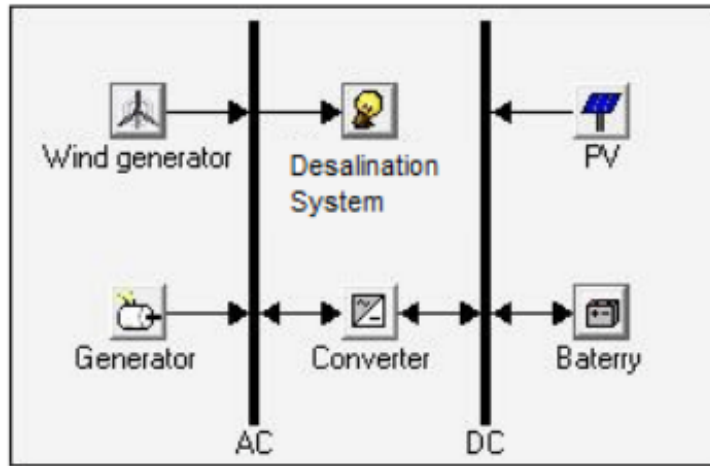
### 1.1 Marco Teórico

En el campamento de Macará, ubicado en una zona remota con limitado acceso a la red eléctrica convencional, se enfrenta a desafíos en el suministro de energía confiable y sostenible. Actualmente, depende principalmente de generadores diésel, lo que resulta en altos costos operativos, emisiones contaminantes y una falta de diversificación en las fuentes de energía utilizadas. Ante esta problemática, surge la necesidad de investigar y diseñar un sistema híbrido de generación de energía que integre fuentes renovables, como la energía solar y eólica, junto con un generador convencional. El objetivo es asegurar un suministro continuo de energía, maximizando la utilización de fuentes limpias y reduciendo los costos operativos y el impacto ambiental.

#### 1.1.1 Sistemas híbridos de generación de energía

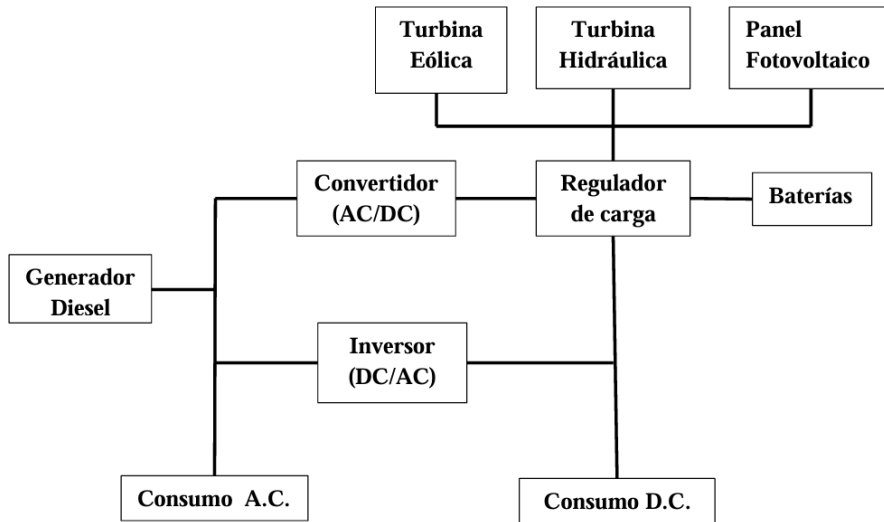
Los sistemas híbridos de generación de energía combinan dos o más fuentes de energía para producir electricidad de manera más eficiente y confiable [15]. Estos sistemas aprovechan las fortalezas de diferentes tecnologías energéticas y pueden incluir combinaciones como solar y eólica, solar y diésel, eólica y diésel, hidroeléctrica y solar, entre otras [1]. En la Figura 1.1 se observa el diagrama de equipos a considerar para el abasto de energía a una máquina.

Un sistema híbrido puede funcionar de manera aislada o conectado a la red eléctrica. Independiente de esto, el sistema generador puede integrar los siguientes equipos: módulos fotovoltaicos, aerogenerador, turbina hidráulica, generador AC [16].



**Figura 1.1:** Diagrama de equipos a considerar.[1]

Se puede integrar uno o más de cada uno de estos equipos en un sistema, y no es obligatorio que estén todos ellos presentes. Complementario a estos equipos, se utiliza un banco de baterías dependiendo de los requerimientos operacionales del sistema, un regulador de carga para las baterías, un inversor y un rectificador para la corriente generada [15]. En la Figura 1.2 se muestra un esquema de un sistema híbrido genérico utilizado para escuelas rurales.



**Figura 1.2:** Esquema del sistema híbrido de generación eléctrica

Los sistemas híbridos de generación de energía permiten realizar varios tipos de combinaciones en los cuales esta investigación tendrá como objetivo el sistema diésel-renovable que combina generador diésel con fuente renovable, como paneles solares. Durante las horas de mayor disponibilidad de energía renovable, los generadores diésel se apagan o se utilizan en menor medida, lo que reduce el consumo de combustible fósil y las emisiones

asociadas [17].

### 1.1.2 Características del sistema híbrido

Un sistema híbrido combina dos o más fuentes de energía, que juntas forman un sistema, para satisfacer las necesidades de consumo. Estos sistemas ofrecen diversificación de fuentes de energía, lo que reduce la dependencia de una sola fuente y aumenta la fortaleza del suministro energético [18]. Además, los sistemas híbridos pueden lograr una mayor eficiencia energética al optimizar el uso de cada fuente según su disponibilidad y eficiencia relativa. Al incorporar fuentes de energía renovable, los sistemas híbridos contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes [16]. La flexibilidad y adaptabilidad son características clave de los sistemas híbridos, ya que pueden adaptarse a diferentes condiciones y necesidades, y ser escalables según el crecimiento de la demanda. Los sistemas híbridos a menudo incluyen sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para aprovechar el exceso de energía generada por las fuentes renovables y garantizar un suministro continuo. En resumen, los sistemas híbridos son una opción atractiva en la búsqueda de una matriz energética más eficiente, sostenible y resistente [19].

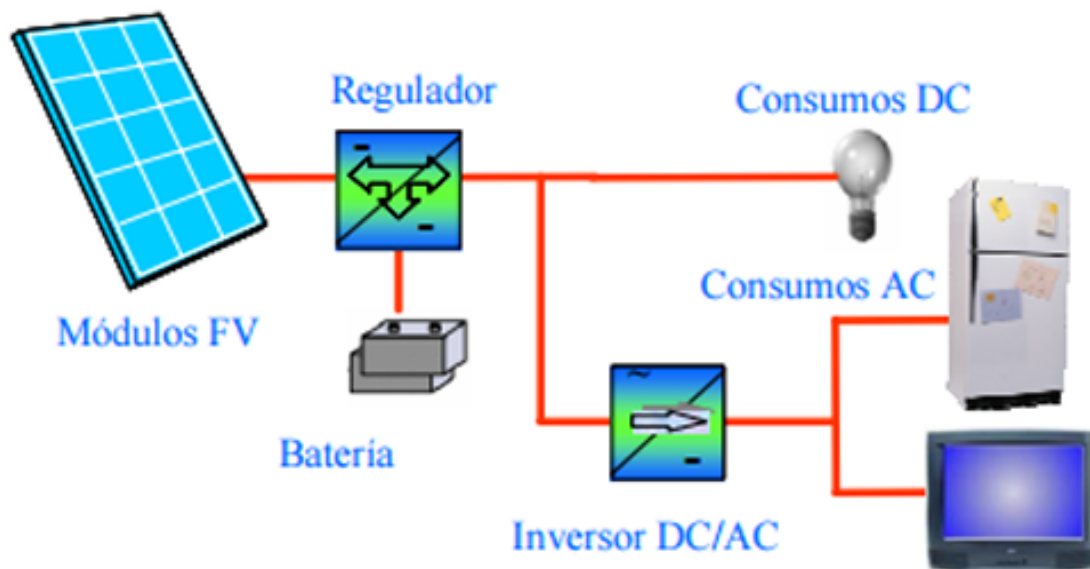
Hay diferentes tipos de sistemas híbridos según la tecnología que emplean:

1. Diésel + Fotovoltaica + Eólico
2. Diésel + Fotovoltaica
3. Diésel + Eólico
4. Diésel + Fotovoltaica + Baterías

Los sistemas fotovoltaicos híbridos, además de integrar paneles solares para capturar energía, emplean un sistema de generación adicional, es decir, una tecnología complementaria. Estas tecnologías complementarias suelen incluir energía eólica o generadores eléctricos, lo que garantiza un suministro de energía constante y disponible las 24 horas del día, los 365 días del año[20].

### 1.1.3 Energía fotovoltaica

Es una forma de generación de electricidad a partir de la radiación solar. La radiación emitida por el Sol atraviesa el espacio vacío en todas direcciones. No sufre pérdidas apreciables por interacción con medios materiales[21]. Emplea paneles solares formados por células fotovoltaicas que transforman la luz solar en energía eléctrica. Es una fuente de energía renovable y limpia, sin emisiones de gases de efecto invernadero[22]. Puede ser aplicada en instalaciones a gran escala, como parques solares, y en sistemas a pequeña escala, como paneles solares en viviendas[23]. La generación distribuida es posible, lo que reduce las pérdidas de transmisión. La cantidad de electricidad producida depende de la radiación solar disponible en un lugar[24].



**Figura 1.3:** Esquema básico de un sistema fotovoltaico. [2]

Los paneles solares tienen una larga vida útil y requieren poco mantenimiento. La energía fotovoltaica desempeña un papel importante en la transición hacia una matriz energética más sostenible [25]. Los sistemas de energía solar fotovoltaica están conformados por:

#### 1.1.3.1 Generador fotovoltaico

Es un dispositivo diseñado para convertir la energía solar en energía eléctrica. Está compuesto por múltiples módulos fotovoltaicos que pueden estar conectados en serie y/o

en paralelo. A su vez, cada módulo fotovoltaico está conformado por varias células fotovoltaicas [26]. Los generadores solares fotovoltaicos son un conjunto de varios módulos que generan, controlan y entregan energía en corriente continua; estos módulos fotovoltaicos están contruidos con semiconductores, generalmente, silicio. Existen en el mercado varios tipos de módulos, siendo los más comunes el monocristalino, policristalino y silicio amorfo [27].

### 1.1.3.2 Reguladores de carga

Los reguladores de carga, esenciales en sistemas solares fotovoltaicos, controlan y regulan la carga de las baterías. Su función principal es prevenir sobrecargas y descargas excesivas, prolongando así la vida útil de las baterías. Optimizan el rendimiento del sistema al asegurar una distribución eficiente de la energía solar generada. Monitorean constantemente el voltaje de las baterías y detienen la carga cuando alcanza niveles críticos. Algunos ofrecen funciones adicionales como visualización del estado de carga y protección contra sobretensiones [26].

Existen diferentes tipos de reguladores de carga, entre ellos los reguladores PWM (Pulse Width Modulation) y los MPPT (Maximum Power Point Tracking). Los reguladores PWM son los más comunes y funcionan reduciendo gradualmente la cantidad de corriente entregada a las baterías a medida que se acercan a su carga completa. Son simples y eficaces para sistemas pequeños [28]. Por otro lado, los reguladores MPPT son más avanzados y eficientes. Maximizan la cantidad de energía extraída de los paneles solares al rastrear continuamente el punto de máxima potencia del sistema. Estos son ideales para sistemas más grandes y en condiciones donde la eficiencia es crucial [29].

### 1.1.3.3 Inversores

Los inversores son componentes fundamentales en los sistemas de energía solar fotovoltaica, ya que convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la que utilizan la mayoría de los dispositivos eléctricos. Su función principal es transformar la electricidad generada por los paneles solares en un formato que sea compatible con la red eléctrica o los aparatos domésticos. Esto es esencial, ya que la mayoría de los electrodomésticos y la red eléctrica utilizan corriente alterna. Sin un inversor, la energía generada por los paneles solares no podría ser utilizada directamente en la mayoría de los hogares o negocios[30]. Los inversores pueden

ser de varios tipos, como inversores de conexión a red, inversores híbridos o inversores autónomos, cada uno adaptado a diferentes tipos de sistemas y necesidades [26]. Algunos inversores están equipados con tecnología de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), que optimiza la eficiencia de los paneles solares al ajustar dinámicamente la carga para extraer la máxima energía posible en diversas condiciones ambientales[31].

#### 1.1.3.4 Baterías

Las baterías son componentes fundamentales en sistemas de energía solar, almacenando la energía generada por los paneles fotovoltaicos para su uso posterior. Funcionan convirtiendo la energía eléctrica en energía química durante la carga y viceversa durante la descarga. Esto permite que la energía solar se utilice cuando no hay luz solar disponible, proporcionando una fuente de energía constante y confiable. Las baterías vienen en diferentes tipos, como plomo-ácido, de iones de litio y de flujo, cada una con sus propias características de rendimiento, vida útil y costos [26].

Las baterías de plomo-ácido son una de las tecnologías más antiguas y utilizadas en el almacenamiento de energía solar. Aunque tienen una menor densidad de energía y una vida útil más corta en comparación con tecnologías más recientes, su bajo costo y robustez las hacen adecuadas para aplicaciones donde el presupuesto es limitado[32]. Las baterías de Ion de Litio son conocidas por su alta densidad de energía y larga vida útil, las baterías de ion de litio se han convertido en la opción preferida para muchas aplicaciones de energía solar, a pesar de su mayor costo inicial. Su eficiencia y capacidad de carga rápida las hacen ideales para sistemas que requieren un rendimiento constante y confiable[33]. Las baterías de flujo destacan por su habilidad para acumular grandes volúmenes de energía y por su durabilidad prolongada. Esta tecnología resulta atractiva para el almacenamiento a gran escala en sistemas de energía solar[34].

#### 1.1.4 Generadores diésel

Son dispositivos que convierten la energía química del combustible diésel en energía eléctrica. Son eficientes, duraderos y adecuados para aplicaciones de alta potencia. Además, el combustible diésel es ampliamente disponible y tiene una mayor densidad energética. Los generadores diésel se utilizan como respaldo de energía en instalaciones críticas, así como en actividades móviles al aire libre. También pueden ser la principal fuente de

generación en áreas remotas [35]. Aunque emiten gases contaminantes y generan ruido, los generadores diésel modernos cumplen con regulaciones más estrictas. En resumen, los generadores diésel proporcionan una fuente confiable de energía eléctrica, son versátiles y ampliamente utilizados en diversas aplicaciones [36]. El rendimiento del motor diésel, la eficiencia de combustión y las emisiones están directamente relacionados con el diseño y las características operativas del motor, así como con las cualidades del combustible [37].

### 1.1.5 Software HOMER

El uso de software especializado para la modelación de sistemas energéticos proporciona una notable ventaja en cuanto a la eficiencia del tiempo. En el contexto de la modelización de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica para suministrar energía a un campamento de minería artesanal en el sector Macará, se ha optado por el programa conocido como HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables). Este software, desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL), es reconocido como uno de los modelos de optimización más efectivos para sistemas híbridos eléctricos que utilizan energías renovables [38].

HOMER es una herramienta valiosa que permite modelar y comparar múltiples opciones de diseño de sistemas energéticos renovables, teniendo en cuenta sus características técnicas y económicas. Mediante este software, es posible evaluar el impacto de cambios en las variables de entrada y obtener resultados presentados en forma de tablas y gráficos [39].

El software HOMER se fundamenta en tres funciones principales: simulación, optimización y análisis de sensibilidad. La simulación se encarga de evaluar cómo se comportaría una configuración particular del sistema, que comprende una combinación de componentes de tamaños específicos y una estrategia operativa, en un escenario determinado a lo largo de un período de tiempo. Esta simulación cumple dos objetivos: verificar la viabilidad del sistema y calcular los costos a lo largo de su ciclo de vida mediante la suma algebraica del valor actual de todos los ingresos y gastos futuros, aplicando el método del Valor Actual Neto (VAN).

Durante el proceso de optimización, HOMER evalúa todas las configuraciones posibles del sistema con el fin de identificar aquella que cumpla de la mejor manera con las necesidades técnicas y que represente el menor costo económico. Este procedimiento tiene como



fuentes de energía más costosas y menos sostenibles [40]. En los Andes se crean múltiples microclimas, lo que provoca una disminución de potencial en ciertos lugares [3]. En la región Andina, la radiación solar es mayor en comparación con los niveles más bajos que se encuentran en la costa y el oriente, debido a la altitud.

La irradiación global horizontal anual del Ecuador va desde los 2,8 kWh/m<sup>2</sup> día a 6,4 kWh/m<sup>2</sup> día, con estos datos se puede determinar que los niveles de radiación solar en el Ecuador son altos, como para tener la posibilidad de implementar plantas solares que lleguen a generar potencias de 312 GW que es equivalente a 1.679 MWh por año por metro cuadrado, este valor equivale aproximadamente a quince veces el potencial eléctrico técnico y económicamente aprovechable del país, sin embargo en la matriz energética solar es muy baja[3][41].

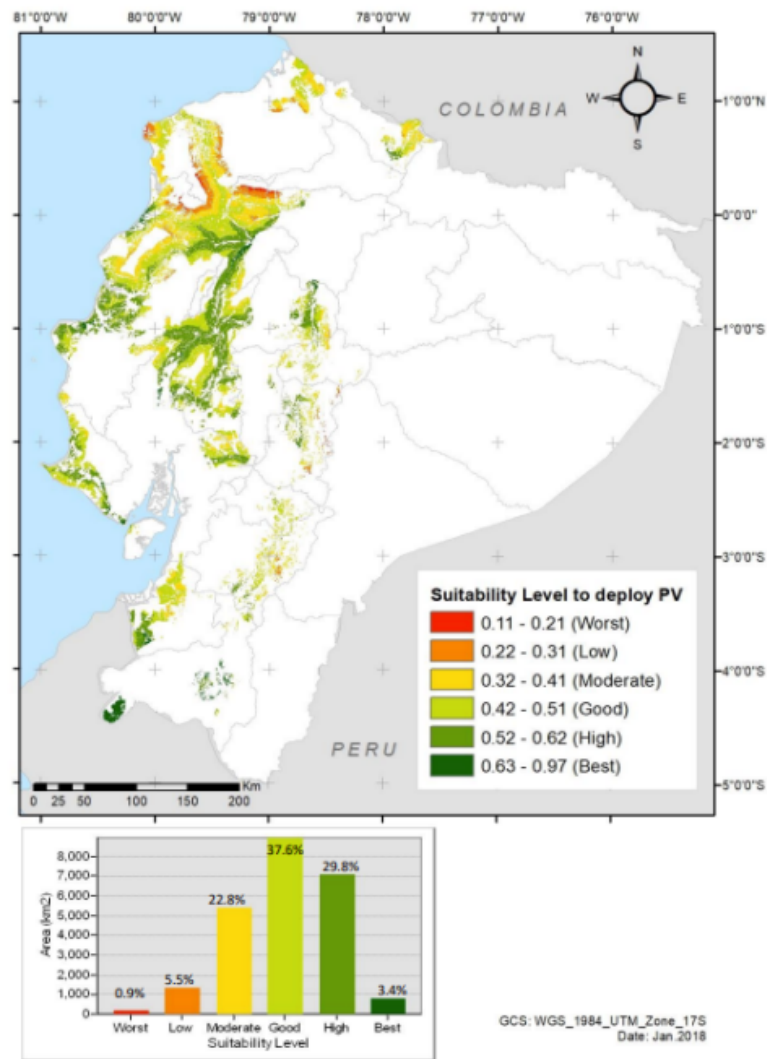
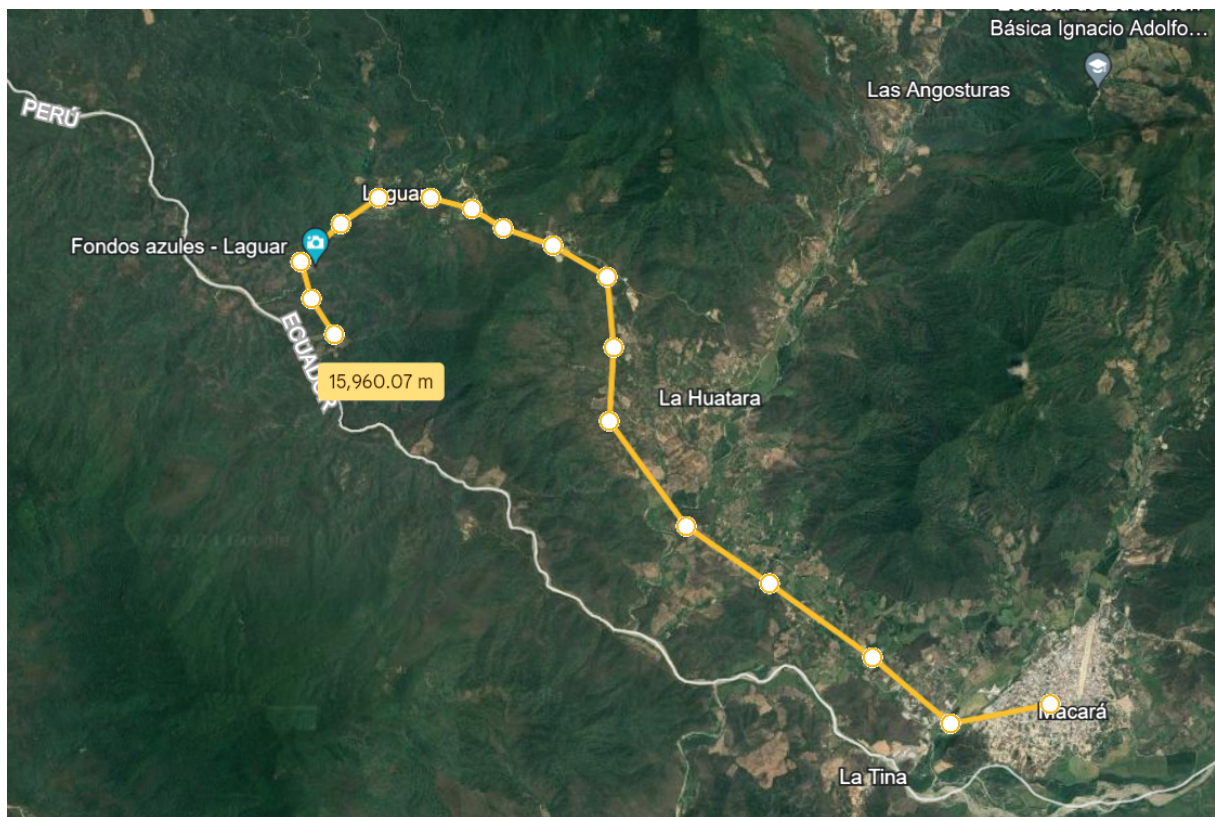


Figura 1.5: Terreno apto para sistemas fotovoltaicos.[4]

En la Figura 1.5 se muestran los lugares más adecuados para la instalación de sistemas fotovoltaicos; esto se obtuvo en un ejercicio de investigación que tenía como objetivo identificar el potencial fotovoltaico para compensar la estacionalidad hidroeléctrica, realizado por Jara Alvear José. El mapa resultante muestra los valores máximos de 0.97 y mínimos de 0.11 del terreno apropiado para los sistemas fotovoltaicos [4].

El área adecuada para la instalación de sistemas fotovoltaicos abarca 805 km<sup>2</sup>, lo que representa el 3,4 % del territorio de Ecuador. Esta área incluye 10 provincias, de las cuales 5 están en la región de los Andes: Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, y Loja. Y las otras 5 provincias restantes se encuentran en la región costera: Manabí, Guayas, El Oro, Santa Elena, y Los Ríos [3].

### 1.1.7 Mapas indicadores de irradiación y potencial eléctrico fotovoltaico del Campamento de Macara



**Figura 1.6:** Ubicación del Campamento de Macará.

En la Figura 1.6 se encuentra el campamento que está ubicado en una zona remota a 15 km de la ciudad de Macará, con acceso limitado a la red eléctrica convencional. Este

grupo incluye tanto a los residentes permanentes del campamento como a aquellos que lo visitan de forma temporal, como trabajadores, turistas o investigadores.

Mes	kWh/(m <sup>2</sup> /día)
Enero	3.60
Febrero	2.79
Marzo	3.58
Abril	4.34
Mayo	4.63
Junio	4.82
Julio	5.49
Agosto	5.91
Septiembre	5.81
Octubre	5.81
Noviembre	6.26
Diciembre	4.94
Promedio Anual	4.84

**Tabla 1.1:** Irradiación Solar Directa Normal Mensual

Los valores de la Tabla 1.1 representan la irradiación solar directa normal medida en kWh/m<sup>2</sup> día para cada mes y el promedio anual. Los valores oscilan entre 2.79 en febrero y 6.26 en noviembre, con un valor anual promedio de 4.84. Estos datos son cruciales para evaluar el potencial solar de una región específica, en este caso, el campamento de Mácara, con una elevación de 878.1 metros. Los valores de irradiación directa normal (DNI) son especialmente útiles para el diseño y evaluación de sistemas de energía solar fotovoltaica y térmica, ya que indican cuánta energía solar directa está disponible en la ubicación específica durante diferentes meses del año.

Los valores de la Tabla 1.2 están en kWh/m<sup>2</sup>día y representan la cantidad de energía solar total que llega a una superficie horizontal en cada mes y el promedio anual. Los valores oscilan entre 4.95 en enero y 6.47 en octubre, con un valor anual promedio de 5.58. Estos datos representan la irradiación solar global horizontal (DWN) en kWh/m<sup>2</sup>día en el campamento de Macará del año 2022. La irradiación solar global horizontal incluye tanto la irradiación directa como la difusa que llega a una superficie horizontal, lo cual es crucial para el diseño y evaluación de sistemas de energía solar fotovoltaica.

Mes	kWh/(m <sup>2</sup> día)
Enero	4.95
Febrero	4.97
Marzo	5.47
Abril	5.50
Mayo	5.12
Junio	5.04
Julio	5.34
Agosto	5.82
Septiembre	6.16
Octubre	6.47
Noviembre	6.46
Diciembre	5.62
Promedio Anual	5.58

**Tabla 1.2:** Irradiación Solar Global Horizontal Mensual

## CAPÍTULO 2

### CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO

#### 2.1 Diseño del sistema fotovoltaico

En este capítulo se detalla el desarrollo del sistema fotovoltaico (FV) autónomo en la zona remota de la ciudad de Macará, particularmente en el sector de Laguar, en Ecuador, cuyas coordenadas geográficas son  $-4.32819^\circ$  de latitud y  $-80.04761^\circ$  de longitud en grados decimales. Utilizando el atlas solar de 2019, se recolectaron datos sobre la irradiación global horizontal de la región. Para obtener información sobre la irradiación en distintos ángulos, se empleó el software PVGIS, que dispone de una base de datos meteorológica específica para el área. A continuación, se presentan los resultados en la siguiente tabla.

IRRADIACIÓN GLOBAL (kWh/m <sup>2</sup> día)				
	0°	10°	20°	30°
Enero	5.094	5.317	5.424	5.409
Febrero	4.910	4.991	4.968	4.838
Marzo	4.838	4.767	4.599	4.337
Abril	4.992	4.732	4.373	3.923
Mayo	5.067	4.612	4.057	3.426
Junio	5.164	4.590	3.914	3.183
Julio	5.490	4.912	4.225	3.460
Agosto	5.960	5.515	4.943	4.259
Septiembre	6.207	6.001	5.656	5.179
Octubre	5.974	6.014	5.918	5.685
Noviembre	5.997	6.235	6.329	6.273
Diciembre	5.549	5.851	6.020	6.048

**Tabla 2.1:** Información recopilada sobre la irradiación solar global

Los valores de la Tabla 2.1 incluyen la demanda de energía que el sistema fotovoltaico debe satisfacer.

Equipo	Pot. inst (W)	Cant.	Tiempo (h)	Fact. simult.	Potencia (W)	Energía (Wh/día)
Starlink	50	1	3	1	50	150
Refrigerador	60	1	4	1	60	360
Focos led	9	4	3	1	36	108
TOTAL					146	618

**Tabla 2.2:** Cálculo de la demanda

Equipo	Pot. inst (kW)	Cant.	Tiempo (h)	Fact. simult.	Potencia (kW)	Energía (kWh/día)
Motor (Wincha)	11	1	2	1	11	22
Soldadora Inverter 1000	22	1	1	1	22	22
Bombas de agua	2.2	2	1	1	4.4	4.4
Motor (extracción de aire)	5.5	1	0.5	1	5.5	2.75
TOTAL					42.9	56.1

**Tabla 2.3:** Cálculo de la demanda

Con base en la información recopilada anteriormente, se ha establecido la cantidad de paneles solares, el banco de baterías, el regulador de carga y el inversor necesarios para el proyecto. Para realizar este cálculo, se ha tomado un valor de irradiación solar de  $7.719 \text{ kW/m}^2$ , correspondiente al mes de junio y con una inclinación de 10 grados, dado que este mes se considera el más crítico en la región.

### 2.1.1 Determinación de la cantidad de paneles

En el siguiente análisis se desarrolla una expresión que permite obtener un valor estimado para el diseño del inductor en función de algunas variables conocidas. Las potencias de entrada y salida en el rectificador se pueden relacionar mediante

$$N_{\text{módulos}} = \frac{\text{Energía necesaria}}{\text{Potencia}_{\text{módulos}} \cdot \text{Rendimiento}_{\text{campo}} \cdot \text{Radiación solar}} \quad (2.1)$$

NÚMERO DE MÓDULOS		
Potencia	W	350
Radiación Solar	kWh/m <sup>2</sup> día	7.72kWh/m <sup>2</sup>
Tensión de funcionamiento del panel solar	V	12
Eficiencia del campo	%	0.8
Corriente	A	15.08
Cantidad de Paneles		1

**Tabla 2.4:** Cálculo de número de paneles requeridos

### 2.1.2 Determinación de la capacidad del banco de baterías en Ah

Para el dimensionamiento del banco de baterías del sistema, se consideró un período de autonomía de 3 días, utilizando una tensión nominal de 12V. Esta elección se debe a que la potencia instalada en el sistema es inferior a 1500W. Adicionalmente, en el diseño se empleó una profundidad de descarga de 0.7. A partir de estos cálculos, se concluyó que el banco de baterías estaría formado por 2 baterías de 200Ah.

$$\text{Baterías} = \frac{\text{Energía necesaria} \cdot \text{días autonomía}}{\text{Voltaje} \cdot \text{Profundidad descarga}} \quad (2.2)$$

CAPACIDAD DE BATERÍAS		
Días de autonomía	día	3
Profundidad de descarga	DoD	0.7
Voltaje	V	12
Energía Necesaria	Wh/día	618
Capacidad	Ah	236.55
Número de baterías		2
200Ah		

**Tabla 2.5:** Determinación de la capacidad del banco de baterías

REQUERIMIENTO ELÉCTRICO EN AH			
Requerimiento en AC y DC	Wh/d		618
Profundidad del sistema en corriente continua (DC)	Vdc		12
Horas de amperios	Ah		55.19
Desgaste del sistema	%		5
Horas de amperios efectivas	Ah		58.10
Total de horas de amperios de carga	Ah/día		58.10

**Tabla 2.6:** Capacidad diaria del banco de baterías

### 2.1.3 Capacidad del Inversor y regulador de carga

Para calcular el regulador de carga, se inició determinando la corriente máxima que pasa por este dispositivo. Para asegurar un funcionamiento óptimo del equipo, se aplicó un margen de seguridad del 125% sobre la corriente máxima estimada. Como se muestra en la Tabla 2.6, este procedimiento llevó a la elección de un regulador de carga de 30A.

$$\text{Regulador} = \text{Porcentaje seguridad} \cdot \text{Corrient max.} \cdot \text{número de paneles} \quad (2.3)$$

REGULADOR DE CARGA		
N de paneles	u	1
Intensidad max. módulo	A	4.74
% seguridad	%	1.25
$I_{max}$ regulador	A	23.7
Comercial	A	30
Número regulador 30A		1

**Tabla 2.7:** Cálculo de capacidad del regulador

$$\text{Inversor} = 1.25 \cdot \frac{\text{Demanda}}{\text{Eficiencia}_{\text{inversor}}} \quad (2.4)$$

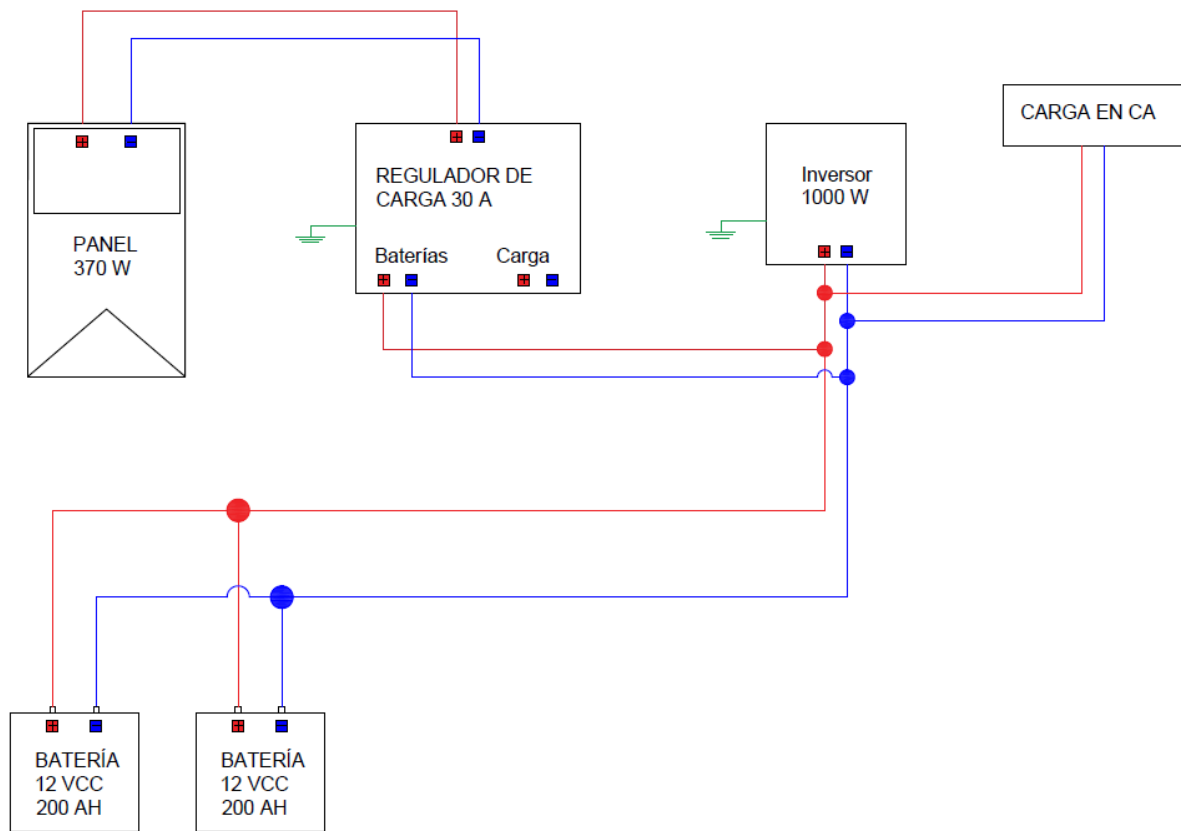
INVERSOR		
Carga conectada en corriente alterna (AC)	W	1000
Índice de demanda	%	100
Demanda	W	146
Eficacia del inversor	%	95
Capacidad determinada	W	618
% de seguridad	%	1.25
Capacidad nominal	KW	1.05

**Tabla 2.8:** Cálculo de capacidad del inversor

### 2.1.4 Esquema eléctrico del sistema fotovoltaico

Se ha desarrollado un diagrama que representa el sistema fotovoltaico implementado. Este diagrama muestra de manera gráfica los principales componentes y las conexiones entre

ellos dentro del sistema de energía solar.



**Figura 2.1:** Diagrama FV implementado.

El diagrama incluye los siguientes elementos:

- Paneles solares: Convierten la energía solar en energía eléctrica.
- Regulador de carga: Responsable de gestionar y mejorar la carga de las baterías.
- Banco de baterías: Almacena la energía eléctrica producida por los paneles solares.
- Inversor: Convierte la corriente continua producida en corriente alterna para su utilización.
- Cargas: Son los aparatos o equipos que utilizan la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico.

## 2.2 Diseño del sistema híbrido

El campamento minero está situado en la ciudad de Macará, en la provincia de Loja, al sur de Ecuador. Macará se caracteriza por tener un clima cálido y seco, con una alta radiación solar a lo largo del año. La región cuenta con recursos energéticos limitados, y el acceso a la red eléctrica en campamentos aislados puede ser desafiante.

El sistema híbrido combina un sistema fotovoltaico con un generador diésel que funciona como fuente de energía principal; el propósito del sistema híbrido es reducir las horas de funcionamiento del generador para cubrir la demanda de energía básica de uso del campamento. El sistema fotovoltaico tiene una capacidad instalada de 370 W, compuesto por un panel solar. El generador diésel tiene una potencia de 50 kVA y utiliza combustible diésel suministrado localmente. Se implementó un sistema de almacenamiento de energía con baterías de ión-litio para mejorar la estabilidad y la continuidad del suministro eléctrico.

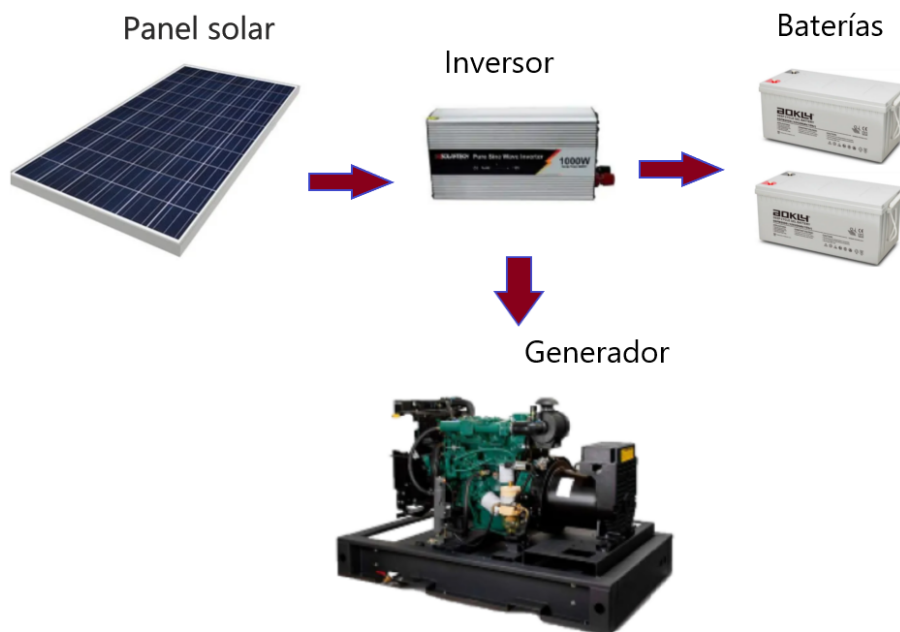


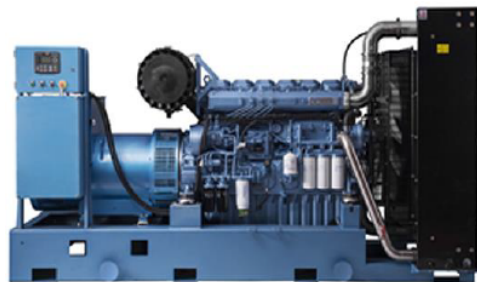
Figura 2.2: diseño sistema híbrido

## 2.2.1 Dimensionamiento de cargas conectado al generador

Es necesario conocer las cargas conectadas al generador para el abastecimiento del campamento de pequeña minería, ya que con el dimensionamiento conocemos la capacidad a utilizar y poder hacer recomendaciones de incrementar a futuro un sistema fotovoltaico de más capacidad y así reducir aún más el consumo del generador.

Las cargas conectadas a un generador diésel con capacidad de 50 kVA, para el campamento de pequeña minería, en los cuales tenemos conectado 1 motor de 5.5 kW que funciona como wincha durante un tiempo de dos horas diarias, una soldadora inverter de 3.5 kW, que funcionará aproximadamente por una hora, 2 bombas de agua vertical de 2.2 kW que funcionarán aproximadamente por una hora, y un motor de 5.6 kW que funcionará para extracción de aire funcionando media hora por día.

### TB50LS 60Hz POWERED BY PERKINS SERIES



#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

##### DIESEL GENERATING SET 220/127V-60Hz-3Phase

Model	TB50LS	
Power(ESP)	kVA/kw	51/41
Power(PRP)	kVA/kw	47/37
Starter Voltage	V	12
Rated Current	A	134
Rated rotation speed	r/min	1800
Power Factor		0.8
Fuel Consumption	L / h	10.9
Fuel Tank Capacity	L	STACK SILENT: 90L
Noise level	dB(A)@1m	≤82

#### WEIGHT AND DIMENSIONS

GEN-Set	Dimension ( L*W*H )	Weight
Silent Type	2300mm*1126mm*1250mm	910KG

Figura 2.3: Especificaciones de Generador

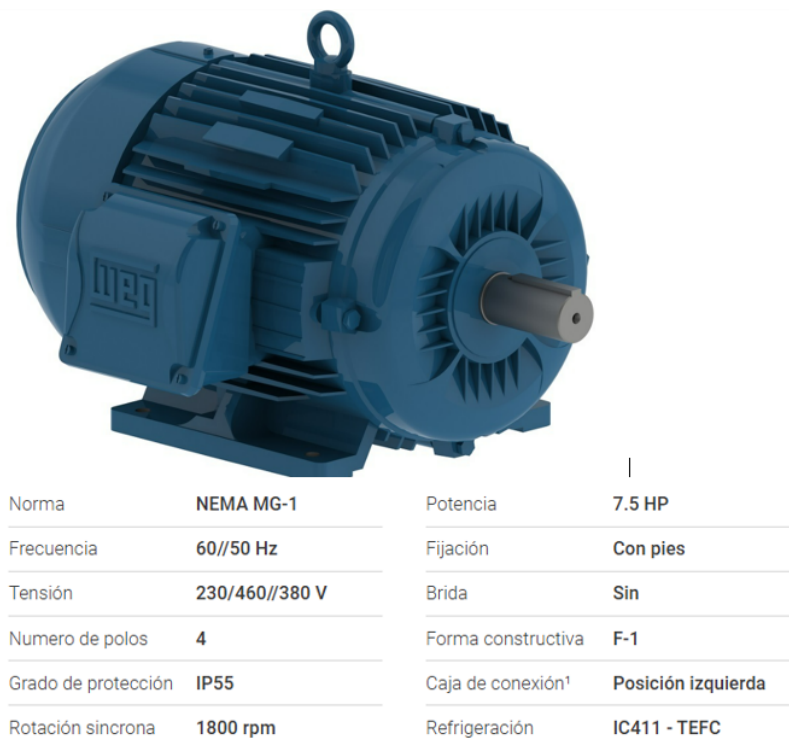
## 2.2.2 Descripción de las cargas conectadas

El campamento cuenta con diversas cargas que se conectan al generador diésel de 50 kVA. Estas cargas son las siguientes:

Motor de 5.5 kW (Wincha): Utilizado para labores de elevación, opera durante 2 horas diarias.

- **Potencia nominal:** 5.5 kW
- **Tiempo de operación:** 2 horas/día
- **Consumo diario:**

$$\text{Consumo} = 5.5 \text{ kW} \times 2 \text{ horas} = 11 \text{ kWh}$$



**Figura 2.4:** Especificaciones de motor 7.5HP

Soldadora inverter de 3.5 kW: Usada para trabajos de soldadura, opera aproximadamente 1 hora diaria.

- **Potencia nominal:** 3.5 kW

- **Tiempo de operación:** 1 hora/día
- **Consumo diario:**

$$\text{Consumo} = 3.5 \text{ kW} \times 1 \text{ hora} = 3.5 \text{ kWh}$$

**TA200**



#### ESPECIFICACIONES

<b>Voltaje de entrada</b>	110 - 220 V / Monofásico
<b>Consumo corriente</b>	49.2 A @ 110V
<b>Rango de trabajo</b>	20 - 200 A
<b>Peso</b>	4.5 Kg
<b>Dimensiones</b>	30 x 24 x 11.5 cm
<b>Díámetro alambre</b>	1.6 - 5 mm

**Figura 2.5:** Especificaciones de soldador inverter

Bombas de agua verticales de 2.2 kW (x2): Empleadas para el suministro de agua, cada una funciona durante 1 hora diaria.

- **Potencia nominal:** 2.2 kW cada una
- **Número de bombas:** 2
- **Tiempo de operación:** 1 hora/día
- **Consumo diario:**

$$\text{Consumo} = 2 \times (2.2 \text{ kW} \times 1 \text{ hora}) = 4.4 \text{ kWh}$$



**Figura 2.6:** Bomba sumergible

## Detalles técnicos

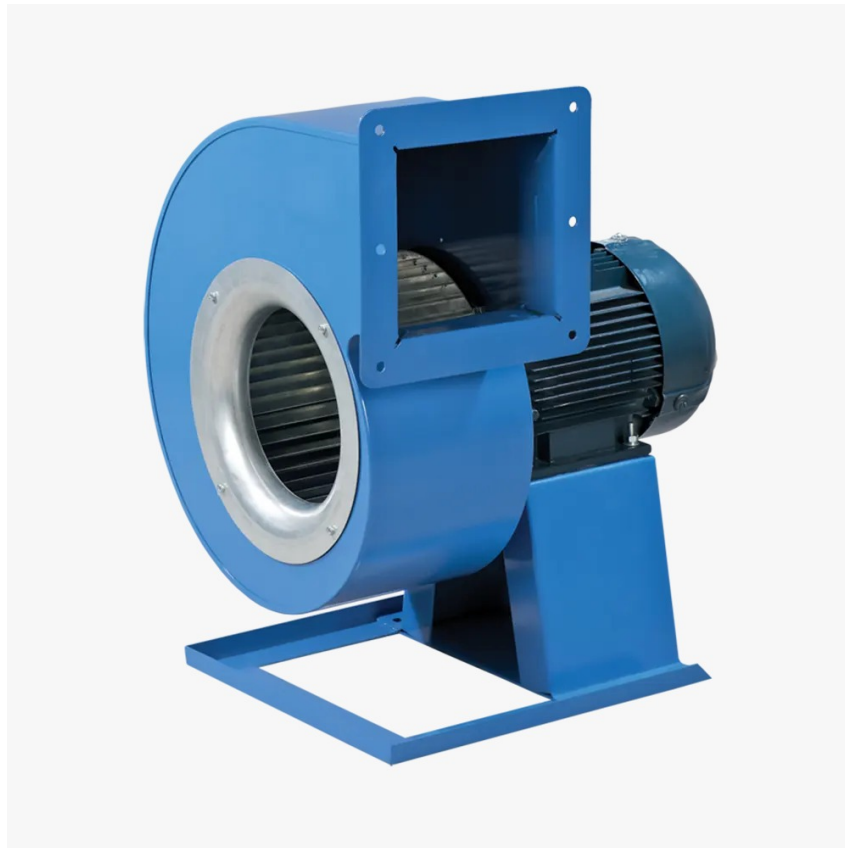
<b>Potencia:</b>	7.5 HP
<b>Voltaje:</b>	NA NA
<b>Descarga (pulg.):</b>	2
<b>Caudal (máx.):</b>	450 lpm
<b>Altura (máx.):</b>	92 m
<b>Diam. min. Pozo:</b>	4 pulg.
<b>Límites de uso:</b>	Temperatura del líquido hasta +35 °C; Profundidad de uso hasta 200 m bajo el nivel del agua; Uso en vertical.
<b>Aplicaciones:</b>	Agrícola,Civil,Doméstico,Industrial

**Figura 2.7:** Detalles técnicos Bomba

Motor de 5.6 kW: Utilizado para extracción de aire, opera media hora diaria.

- **Potencia nominal:** 5.6 kW
- **Tiempo de operación:** 0.5 horas/día
- **Consumo diario:**

$$\text{Consumo} = 5.6 \text{ kW} \times 0.5 \text{ horas} = 2.8 \text{ kWh}$$



**Figura 2.8:** Extractor de aire

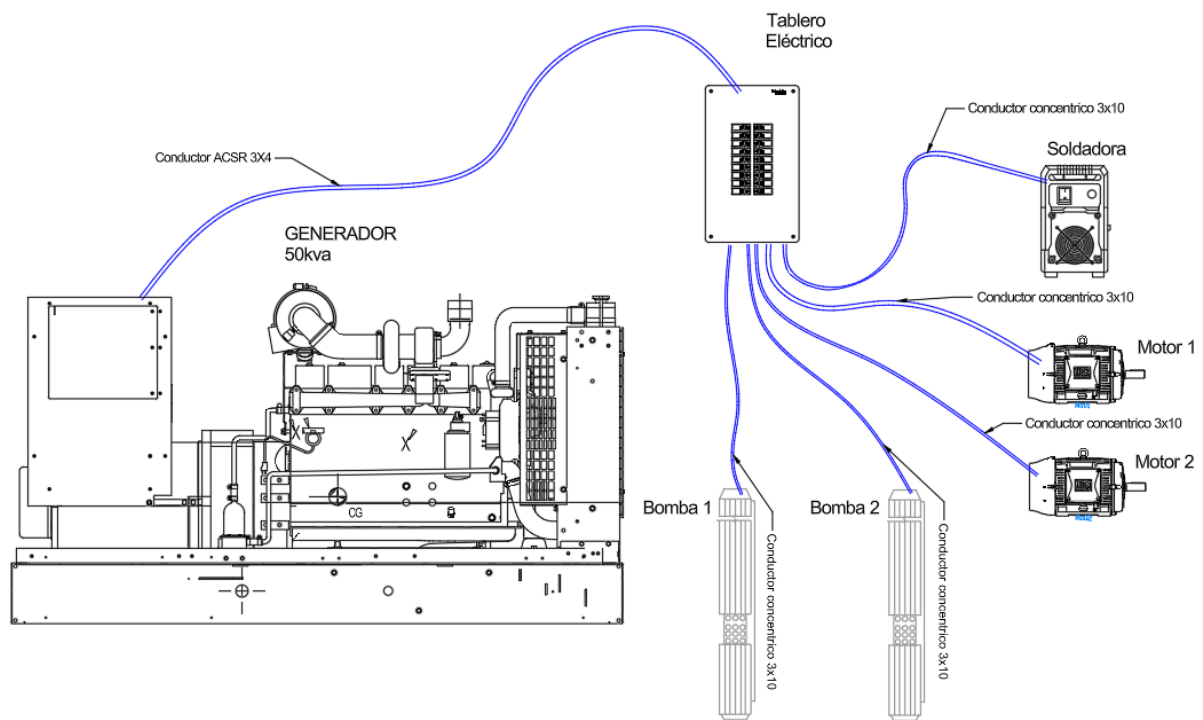
Sumando todos los consumos diarios:

$$\text{Consumo total} = 11 \text{ kWh} + 3.5 \text{ kWh} + 4.4 \text{ kWh} + 2.8 \text{ kWh} = 22.7 \text{ kWh}$$

La potencia total requerida por las cargas se calcula sumando las potencias nominales individuales de cada dispositivo considerando sus factores de utilización. Para los cálculos preliminares, se asume que el factor de potencia ( $\phi$ ) promedio es 0.8, y que las cargas no operan simultáneamente en su máxima capacidad.

El generador de 50 kVA tiene una capacidad suficiente para atender las demandas energéticas del campamento. La potencia total conectada de 22.7 kWh representa un 47.5% de su capacidad nominal. Esto permite una operación eficiente, dejando margen para picos de demanda o la conexión de nuevas cargas.

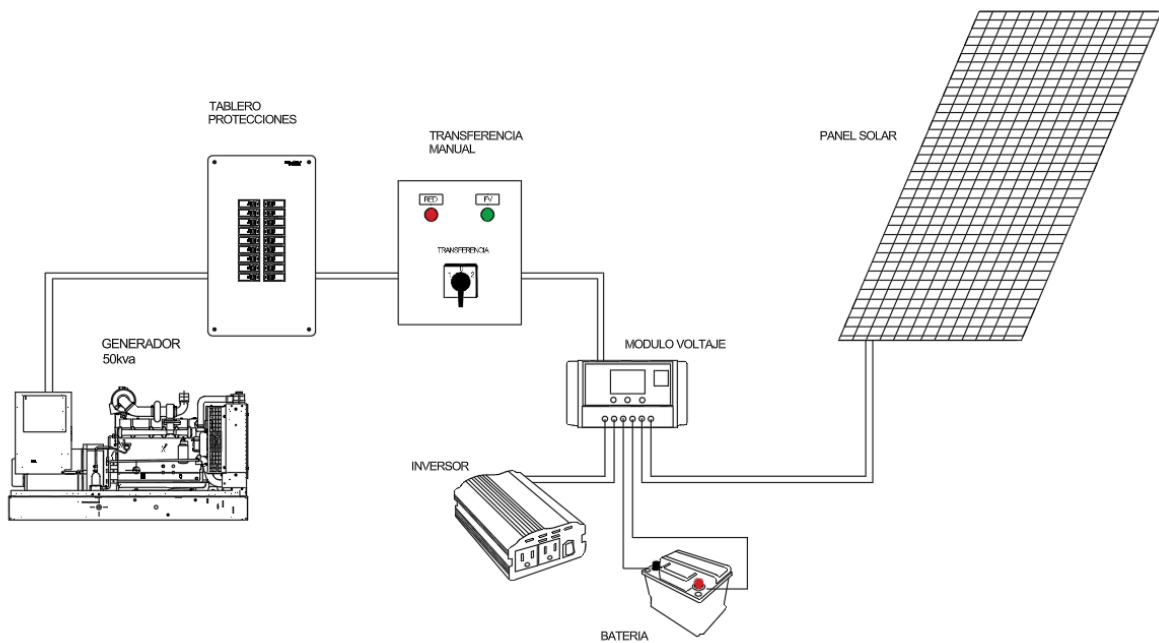
### 2.2.3 Esquema del sistema híbrido



**Figura 2.9:** Esquema conexión generador

El sistema eléctrico implementado permite una operación confiable de los equipos esenciales, garantizando la continuidad del suministro eléctrico y la protección adecuada de los componentes.

El sistema híbrido de generación implementado combina un generador diésel de 50 kVA con un sistema fotovoltaico para optimizar el suministro eléctrico. A través de un tablero de transferencia manual con un conmutador, se permite cambiar entre ambas fuentes de energía según la disponibilidad y necesidad operativa. El sistema fotovoltaico consta de un panel solar de 370 W, un inversor de 1000 W y dos baterías de 200 Ah, que almacenan la energía generada para su uso posterior. Esta configuración garantiza mayor eficiencia energética, reducción del consumo de combustible y una alternativa más sostenible para la generación de electricidad en la instalación.

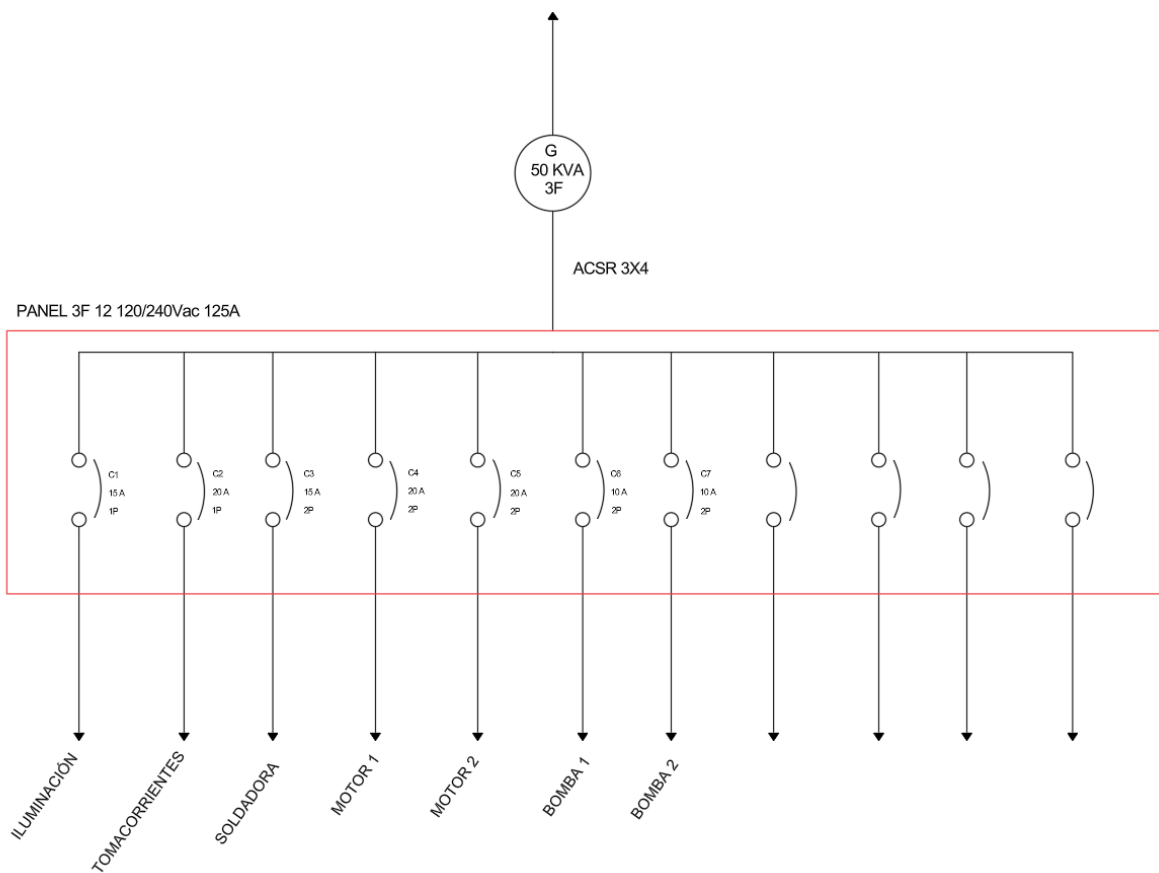


**Figura 2.10:** Esquema sistema híbrido

#### 2.2.4 Sistema de protecciones

El sistema de protección establecido para la instalación eléctrica en un generador diésel trifásico de 50 kVA (220V/127V, 60Hz) está diseñado para asegurar la seguridad y el adecuado funcionamiento de los equipos conectados. Se emplea una caja de breakers Square D sobrepuesta, que alberga interruptores termomagnéticos dimensionados según la corriente nominal y el factor de servicio de cada carga. Se han seleccionado breakers individuales para el motor de 5.5 kW (wincha), la soldadora inverter de 3.5 kW, las bombas de agua verticales de 2.2 kW cada una y el motor de 5.6 kW destinado a la extracción de aire, con un breaker principal de 60 A para la protección general del sistema. Además, se han considerado conductores de cobre con aislamiento THHN, dimensionados de acuerdo con la capacidad de corriente y la disposición sobrepuesta.

Para cada carga, seleccionamos breakers térmicos magnéticos basándonos en el 125 % de la corriente nominal de operación, como se indica en los estándares de protección.



**Figura 2.11:** Diagrama unifilar protecciones

Recomendación de Breaker según carga	
Carga	Breaker recomendado (A)
Motor de 5.5 kW	20 A
Soldadora inverter de 3.5 kW	15 A
Bomba de agua (2.2 kW cada una)	10 A cada una
Motor de 5.6 kW	20 A

**Tabla 2.9:** Recomendación de Breaker según carga

## CAPÍTULO 3

### Capítulo 3: Funcionamiento y análisis económico

#### 3.1 Instalación de los equipos del Sistema Híbrido Diesel - Fotovoltaico

Para la planificación de la instalación de un sistema híbrido diésel-fotovoltaico, es fundamental utilizar un dispositivo GPS que proporcione datos críticos. Este dispositivo debe indicar la altitud, la precisión y la ubicación exacta.



**Figura 3.1:** Dispositivo GPS

En la Figura 3.1 la pantalla del GPS muestra una altitud de 257,6 metros, una precisión de 12,3 metros, una hora de 09:50:46 y una ubicación UTM de 17M 0605682 9521530. Estos datos son esenciales para determinar la ubicación exacta y las condiciones del sitio,

que son factores cruciales para la instalación y optimización del sistema híbrido. La atmósfera de la imagen es neutral y funcional, reflejando un enfoque práctico en el proceso de instalación.



**Figura 3.2:** Panel solar a ser instalado

En la Figura 3.2 se muestra un panel solar compuesto por celdas solares de color oscuro, conectado a dos baterías mediante una serie de cables. Las baterías están configuradas en paralelo, lo que permite una distribución uniforme de la carga y una mayor capacidad de almacenamiento de energía.



**Figura 3.3:** Preparación del terreno para la puesta a tierra

En la Figura 3.3 la instalación de puesta a tierra para el generador diésel de 50 kVA es fundamental para garantizar la seguridad eléctrica y la protección del equipo. Consiste

en enterrar una varilla de cobre, a una profundidad mínima de 2.5 metros, asegurando un buen contacto con el suelo. Se colocó un conductor de cobre que conecta este electrodo a la estructura del generador, y se utilizó soldadura exotérmica para evitar la corrosión. Tras la instalación, se realizaron pruebas de continuidad y resistencia, asegurando que la resistencia de tierra sea menor de 5 ohmios. Las inspecciones periódicas ayudarán a mantener la efectividad del sistema, protegiendo así tanto a los usuarios como al equipo conectado.



**Figura 3.4:** Inversor

Este inversor de carga tiene una capacidad nominal de 1000 W, lo que lo hace adecuado para manejar las cargas del campamento y así asegurar un suministro de energía. En la Figura 3.4 se encuentra el inversor que está operando.



**Figura 3.5:** Generador instalado

En la Figura 3.5 muestra el generador diésel de 50 kVA instalado y operando.



**Figura 3.6:** Verificación del Generador instalado

En la Figura 3.6 se muestra el generador diésel de 50 kVA completamente instalado y en proceso de comprobación. Se están llevando a cabo pruebas para verificar su funcionamiento adecuado y asegurar que cumpla con las especificaciones técnicas. Durante la comprobación, se revisan parámetros clave como la capacidad de carga, la estabilidad del voltaje y el desempeño del sistema de arranque.



**Figura 3.7:** Tablero de transferencia

En la Figura 3.7 el montaje del tablero de transferencia manual con llave conmutada para el campamento que permite la conmutación segura entre el sistema fotovoltaico y el generador diésel de 50 kVA, brindando flexibilidad en el suministro de energía. El tablero incluye una llave conmutada de tres posiciones (“Generador”, “Sistema Fotovoltaico” y

“Apagado”), protecciones eléctricas y señalización visual para identificar la fuente seleccionada. El diseño es fabricado en un gabinete metálico, asegura un funcionamiento confiable en condiciones exigentes del ambiente minero. Durante el montaje, se realizan conexiones de entrada y salida adecuadas al sistema, verificaciones eléctricas, y pruebas funcionales para garantizar la continuidad de la energía. El tablero se instala en el sitio y el personal es capacitado para su operación segura.



**Figura 3.8:** Arrancador suave

En la Figura 3.8 se incorporó un tablero con un arrancador suave para el funcionamiento de los motores de 5.5 kW. Esta solución reduce la corriente de arranque del motor, minimizando el impacto en el generador y evitando caídas bruscas de tensión que podrían afectar otros equipos conectados. Además, el arrancador suave protege el motor contra tensiones excesivas y picos de corriente, prolongando su vida útil y reduciendo el riesgo de daños. Al suavizar el inicio del motor, también se disminuye el estrés en el generador, mejorando su rendimiento y fiabilidad. Asimismo, permite una operación más controlada al facilitar arranques y paros, lo que es especialmente beneficioso en aplicaciones con cargas sensibles a cambios bruscos de velocidad.

La Figura 3.9 muestra el panel solar completamente instalado y listo para empezar a operar. El panel, con su caja de conexiones ubicada en la parte posterior, alberga los cables de salida, garantizando una conexión segura y eficiente. Esta instalación exitosa está ahora preparada para contribuir a la producción de energía limpia y sostenible.



**Figura 3.9:** Panel solar instalado

## **3.2 Implementación de un sistema fotovoltaico de un sistema híbrido**

La implementación del panel solar en conjunto con un generador diésel se justifica para aprovechar el uso de energía renovable para el campamento. El generador diésel se utilizará durante el día para maquinaria de alta capacidad y el sistema fotovoltaico se destinará a producir energía eléctrica para la iluminación del campamento. De esta forma, la energía se distribuye de forma más eficiente, lo que aumenta el rendimiento y reduce el consumo de combustibles fósiles.

## **3.3 Análisis técnico y económico**

En esta evaluación económica se evidencia que la implementación del sistema híbrido diésel-fotovoltaico representa una inversión estratégica y factible, ofreciendo múltiples beneficios financieros y ambientales a largo plazo.

### **3.3.1 Análisis de los costos de la implementación del sistema híbrido diesel-fotovoltaico**

Un sistema híbrido diésel-fotovoltaico es una inversión sólida y ofrece numerosos beneficios a largo plazo. Tras realizar los cálculos en el capítulo anterior, es fundamental establecer

los costos de los equipos que se instalarán en el campamento, y se han obtenido los valores que se presentan en la Tabla 3.2 .

### 1. Evaluación de costos de la instalación del sistema fotovoltaico

Item	Recurso	Cantidad	Costo Unit	Total US\$
1	Panel Solar 370 watts	1	370	370
2	Bateria 200 Ah	2	450.00	900.00
3	Inversor Convertidor 1000 watts, 30 amp	1	320.00	320.00
Total del presupuesto				1.590

**Tabla 3.1:** Detalle del presupuesto de la instalación del FV

### 2. Evaluación de costos del Generador a Diesel

Item	Recurso	Cantidad	Costo Unit	Total US\$
1	Generador Díesel 50 kVA	1	12.500	12.500
Total del presupuesto				12.500

**Tabla 3.2:** Detalle del presupuesto de la instalación del generador

### 3. Evaluación de costos de la mano de obra

Item	Recurso	Cantidad	Costo Unit	Total US\$
1	Montaje Generador	1	450.00	450.00
2	Sistema Fotovoltáico	1	200.00	200.00
3	Puesta a tierra	1	300.00	300.00
4	Transporte	6	30.00	180.00
5	Alimentación	6	12.00	72.00
Total del presupuesto				1.202

**Tabla 3.3:** Detalle del presupuesto de la mano de obra

En la Tabla 3.1, Tabla 3.2 y Tabla 3.3 se presentan los costos que son financiados por la COMPAÑÍA MINERA ORO SÓLIDO CONMIORSO S.A.

#### 3.3.2 Evaluación de resultados con ampliación de la red de distribución eléctrica aérea

El sistema híbrido diésel-fotovoltáico instalado en el campamento proporciona una mayor independencia energética. Se reduce la dependencia externa, ya que el punto más cercano a la red de distribución eléctrica se encuentra a 5 km de distancia y garantiza un suministro

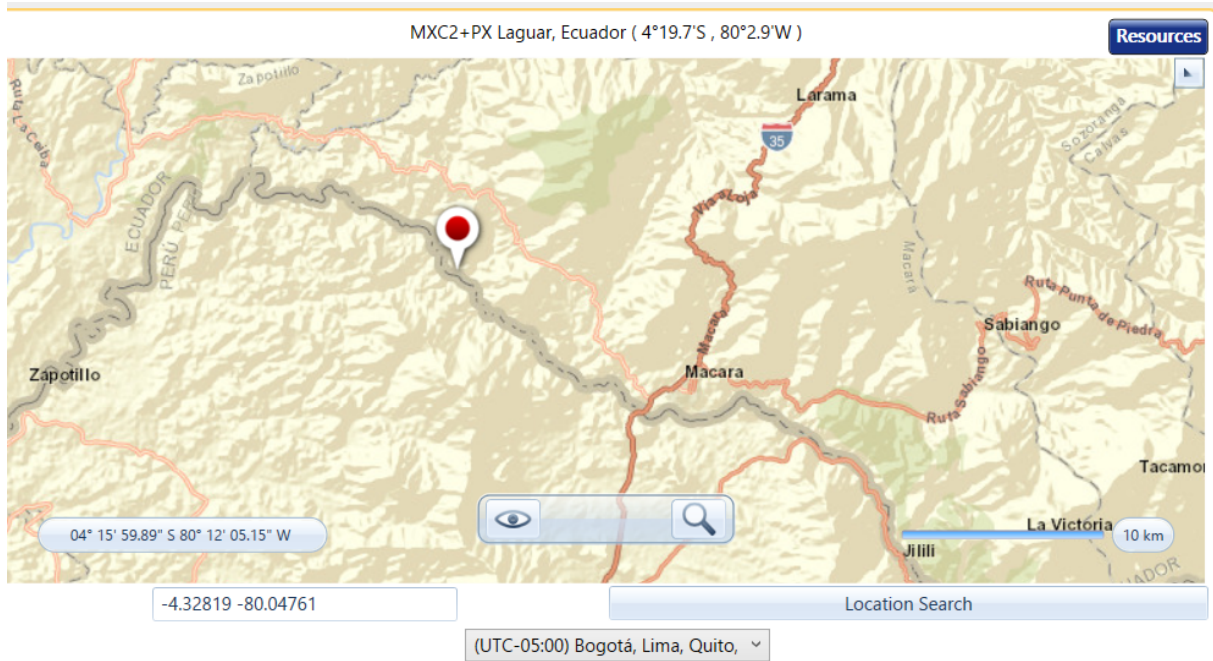
eléctrico ininterrumpido en caso de fallas en la red. La energía solar también reduce significativamente el combustible diésel y los costos de mantenimiento, proporcionando un retorno de la inversión favorable a largo plazo. Mientras tanto, esta implementación ayuda a reducir los gases de efecto invernadero y otros contaminantes, mejorando la calidad del aire y alineando el campamento con prácticas sostenibles y objetivos de responsabilidad ambiental.

## CAPÍTULO 4

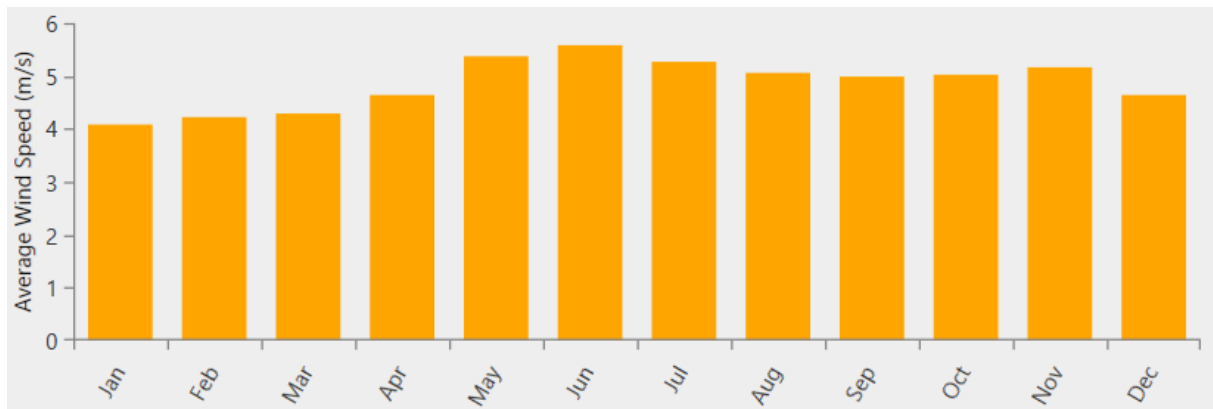
### SIMULACIONES

#### 4.1 Velocidad del viento y la radiación solar

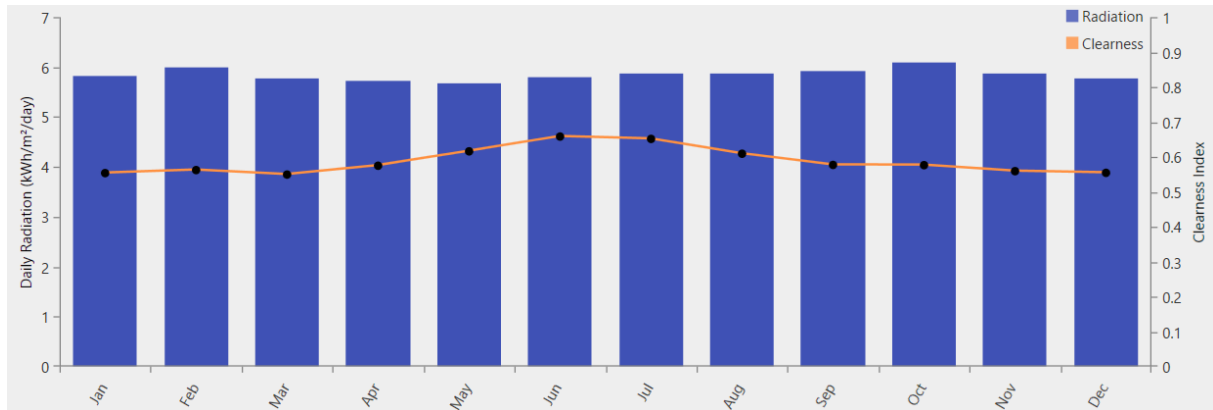
Los datos sobre la velocidad del viento y la radiación solar fueron obtenidos de la base de datos de meteorología de superficie y energía solar de la NASA. La información sobre la velocidad del viento se recopiló a 357.6 metros sobre el nivel del mar en la ubicación del campamento en Laguar, como se ilustra en la Figura 4.2. Esta figura muestra que la velocidad del viento fluctúa entre 4.07 y 5.58 m/s, siendo junio el mes con mayor velocidad registrada, lo que resulta en un promedio anual ajustado de 4.86 m/s. Los datos mensuales de la radiación solar promedio se presentan en la Figura 4.3. Empleando el software HOMER, se utilizaron las coordenadas geográficas de la parroquia Laguar, Ecuador (4°19.77'S, 80°2.9'W). Se estima que la radiación solar media anual es de 5.85 kWh/m<sup>2</sup> por día.



**Figura 4.1:** Localización del campamento



**Figura 4.2:** Velocidad del viento (promedio mensual)



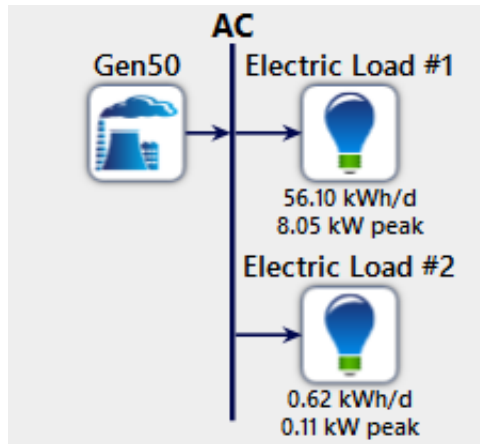
**Figura 4.3:** Índice de claridad y radiación solar(promedio mensual)

## 4.2 Modelo de simulación

Para la simulación, se seleccionan los componentes disponibles en HOMER. En la simulación, se ha optado por un sistema de energía que incluye únicamente un generador diésel. Cabe señalar que, en una explicación previa, se mencionó que el sistema no está conectado a la red eléctrica debido a que se encuentra en una zona remota a 15 kilómetros de la ciudad de Macará. Esta ubicación aislada hace que la conexión a la red no sea viable, por lo que el sistema debe funcionar de manera independiente para satisfacer las necesidades energéticas en el área. En la Figura 4.4 se ilustra el diseño del sistema de energía, que en este caso está compuesto únicamente por un generador diésel.

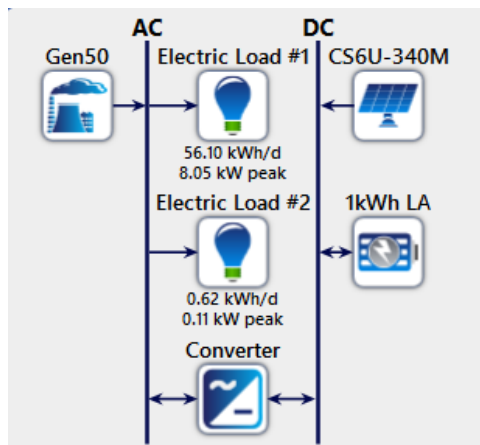
PARÁMETROS INGRESADOS EN EL SOFTWARE		
CARGA		
Consumo diario del campamento	56.72	<i>kWh</i> /día
GENERADOR		
Capital inicial	12 500	\$
Reemplazo	12 500	\$
Costo de hora de Operación	1.958	\$
Combustible (Diésel)	0.44	\$
PANEL SOLAR		
Panel Solar (370 W)	370	\$
Mantenimiento	40	\$
BATERIAS		
Baterias (200 Ah)	900	\$
Mantenimiento	100	\$
INVERSOR		
Inversor (1000 W, 30 Amp)	320	\$
Mantenimiento	60	\$

**Tabla 4.1:** Parámetros utilizados en el Software



**Figura 4.4:** Diseño del sistema de energía eléctrica

El diseño presentado en la Figura 4.5 incorpora paneles solares adicionales, transformando el sistema en una configuración híbrida que combina energía solar y diésel. Este enfoque permite una optimización del uso de recursos energéticos, mejorando la sostenibilidad y la estabilidad del suministro en comparación con un sistema exclusivamente basado en diésel.



**Figura 4.5:** Diseño del sistema de energía híbrido.

Para analizar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones, HOMER simula ambos arreglos mencionados en la misma ubicación y con la misma carga, teniendo en cuenta diversos costos, como el costo estimado de instalación, los gastos de operación y mantenimiento, el costo de reemplazo, los intereses y el costo de energía. Los elementos clave del sistema híbrido diseñado para satisfacer las necesidades del campamento de Macará incluyen el generador diésel, los paneles solares fotovoltaicos, el banco de baterías y un inversor de corriente. Los valores utilizados para el análisis económico se encuentran en la Tabla 3.1 y Tabla 3.2.

### 4.3 Resultados de optimización

Los resultados de la optimización entre el sistema de generación totalmente diésel y el sistema híbrido diésel-fotovoltaico revelan diferencias importantes en cuanto a costos y eficiencia. Para el sistema diésel puro, como se muestra en la Figura 4.6, el Costo Nivelado de Energía (LCOE) alcanza un valor considerable de 1,09 \$/kWh, lo que indica un alto costo de operación y mantenimiento debido a la dependencia exclusiva del combustible diésel. Este sistema presenta un costo operativo anual de 21.698,42 \$ y consume 44.347,50 litros de diésel al año, con un costo de combustible asociado de 21.051,76 \$. La falta de una fracción de energía renovable en este modelo contribuye a sus altos costos y a su menor sostenibilidad.

A diferencia, el sistema híbrido diésel-fotovoltaico presenta una reducción considerable de costos operativos y del LCOE. Como se muestra en la Figura 4.7, el LCOE para el sistema híbrido varía entre 0,84 \$/kWh y 0,85 \$/kWh, siendo significativamente más bajo que el del sistema diésel puro. Sin embargo, sigue siendo alto debido al costo por hora de operación del generador y al precio de la gasolina. El costo operativo anual en el sistema híbrido oscila entre 14.820,34 \$ y 14.890,81 \$, lo que representa una reducción radical en comparación con el sistema diésel. Además, el consumo total de combustible se reduce a 24.578,44 litros al año, con costos de combustible reducidos a 11.667,38 \$. Esta disminución en los costos operativos se debe a la integración del sistema solar fotovoltaico que sustituye parcialmente el uso de diésel.

Analizando los datos de producción y capacidad, el sistema híbrido muestra una mayor eficiencia en la generación de energía. La producción anual para las configuraciones híbridas varía entre 60.537,50 kWh y 60.687,50 kWh, en comparación con 109.500,00 kWh del sistema diésel puro. Sin embargo, el sistema híbrido tiene un rendimiento más equilibrado y económico al combinar la generación solar con la generación a diésel, lo que ofrece un balance óptimo entre costo y eficiencia. El tiempo de recuperación simple (payback) para el sistema híbrido es significativamente menor, destacando una recuperación rápida de la inversión inicial a través de la reducción de costos operativos y de combustible.

Architecture			Cost				System		Project Economics		Gen50			
Gen50 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)	Simple Payback (yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)
50.0	CC	\$293,007	\$1.09	\$21,698	\$12,500	0	44,348			8,760	109,500	44,348	245	21,052

**Figura 4.6:** Resultado de la simulación del sistema de energía con generador Diésel.

Architecture							Cost				System		Project Economics		
PV (kW)	Gen50 (kW)	Bateria (#)	INVERTOR (kW)	Dispatch	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	IRR (%)	Simple Payback (yr)	Hours	Production (kWh)	
0.370	50.0	102	1.39	CC	\$228,765	\$0.855	\$14,891	\$36,264	0	24,578	31	3.0	4,855	60,688	
0.370	50.0			CC	\$293,007	\$1.09	\$21,698	\$12,500	0	44,348			8,760	109,500	
0.370	50.0		0.0677	CC	\$294,321	\$1.10	\$21,770	\$12,892	0	44,348			8,760	109,500	

Figura 4.7: Simulación para encontrar el diseño óptimo (Sistema Híbrido).

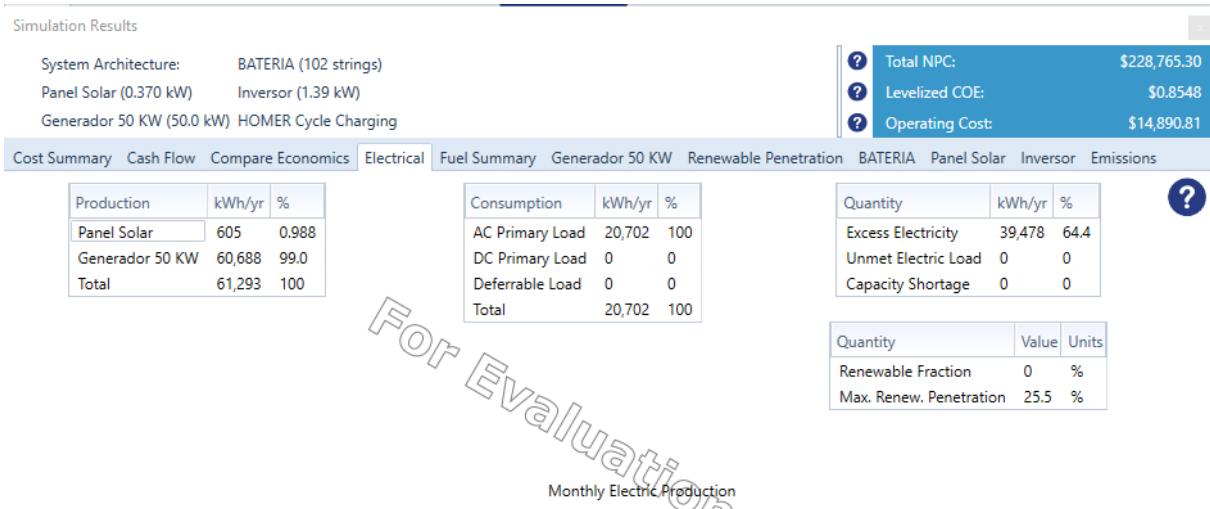


Figura 4.8: Escenario instantáneo de producción y consumo.

El sistema híbrido diésel-fotovoltaico no solo ofrece una mejora considerable en términos de costos operativos y de combustible, sino que también proporciona una opción más sostenible con un LCOE mucho más bajo en comparación con el sistema diésel puro. La integración del panel solar reduce la dependencia del combustible diésel y los costos asociados, haciendo del sistema híbrido la opción más óptima para la generación de energía en comparación con un sistema completamente diésel.

Este análisis destaca claramente los beneficios económicos y operativos del sistema híbrido frente al sistema diésel puro, proporcionando una visión comprensiva de la optimización de costos y la mejora en la sostenibilidad.

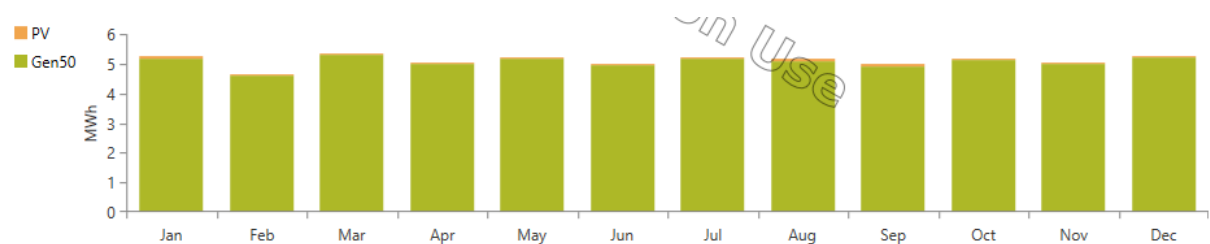


Figura 4.9: Promedio mensual de generación de electricidad basado en el modelo sugerido

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

La implementación del sistema híbrido de generación de energía en el campamento de pequeña minería permite una significativa reducción de costos operativos y horas de funcionamiento, al disminuir la dependencia del generador diésel y los gastos en combustible, lo que permite un ahorro a largo plazo. Este enfoque sostenible no solo contribuye a una operación más amigable con el medio ambiente al reducir la huella de carbono, sino que también mejora la fiabilidad del suministro energético, garantizando la continuidad de las operaciones.

Los resultados de la optimización entre el sistema de generación completamente diésel y el sistema híbrido diésel-fotovoltaico muestran diferencias significativas en términos de costos y eficiencia. En el caso del sistema diésel puro, el Costo Nivelado de Energía (LCOE) alcanza un valor elevado de 1,09 \$/kWh, con un costo operativo anual de 21.698,42 \$ y un consumo de 44.347,50 litros de diésel al año. El sistema híbrido presenta un LCOE entre 0,84 \$/kWh y 0,85 \$/kWh, con un costo operativo anual que oscila entre 14.820,34 \$ y 14.890,81 \$, lo que representa una reducción radical. Además, el consumo total de combustible se reduce a 24.578,44 litros al año, con costos de combustible de 11.667,38 \$.

Analizando los datos de producción y capacidad, el sistema híbrido muestra una producción anual de entre 60.537,50 kWh y 60.687,50 kWh, en comparación con 109.500,00 kWh del sistema diésel puro. Sin embargo, el sistema híbrido ofrece un rendimiento más equilibrado y económico, lo que resalta su viabilidad. El tiempo de recuperación simple (payback) para el sistema híbrido es significativamente menor, destacando una rápida

recuperación de la inversión inicial a través de la reducción de costos operativos y de combustible.

Se estableció un programa de mantenimiento regular para asegurar el óptimo funcionamiento de los componentes, incrementando la productividad y promoviendo una mayor conciencia sobre la gestión energética entre los trabajadores.

## **5.2 Recomendaciones**

Para garantizar el éxito y la sostenibilidad del sistema híbrido de generación de energía, se recomienda cumplir a cabalidad el plan de mantenimiento regular que incluye la inspección y limpieza de los paneles solares, así como la monitorización del estado de las baterías e inversores. Es fundamental capacitar al personal del campamento en el uso y mantenimiento del sistema, promoviendo una cultura de eficiencia energética y responsabilidad ambiental. Además, se sugiere realizar un incremento en el número de paneles solares y baterías para incrementar el aporte energético del sistema solar y reducir la dependencia del generador diésel.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Deivis Avila-Prats, Ramón Alesanco-García, and Juan Veliz-Alonso. Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. *Ingeniería Mecánica*, 14(1):22–30, 2011.
- [2] R. Fajardo Gallo. Dimensionamiento de una red experimental de 5 kw de salida, 2019.
- [3] Diego Vaca Revelo and Freddy Ordóñez. *Mapa Solar del Ecuador 2019*. Yessenia Yaguana, 2020.
- [4] J. Jara Alvear. Potencial solar fotovoltaico para complementar la energía hidroeléctrica en ecuador: un marco de análisis basado en sig. Master's thesis, Tesis de Maestría en Ciencias de la Información Geográfica, 2018.
- [5] Md Rashedul Islam, Homeyra Akter, Harun Or Rashid Howlader, and Tomonobu Senjyu. Optimal sizing and techno-economic analysis of grid-independent hybrid energy system for sustained rural electrification in developing countries: A case study in bangladesh. *Energies*, 15(17):6381, 2022.
- [6] Carlos Rodrigo Carmona Arriagada. Implementación y evaluación de desempeño de un generador diésel conectado a una micro red. Technical report, Universidad de Chile, 2019.
- [7] Luis Merino. Las energías renovables. *Madrid, España: Haya Comunicación*, 2007.
- [8] Carlos J Zapata and Edwin L Campos. Valoración de confiabilidad de sistemas de generación con recursos limitados de energía utilizando simulación de montecarlo. *Scientia et technica*, 3(29):43–48, 2005.
- [9] Carlos Arturo Robles Algarin. Sistemas híbridos: una estrategia para mejorar la eficiencia en los paneles solares. *Ingeniería solidaria*, 7(13):62–67, 2011.

- [10] Alberto Figueroa and Elquin Mejía. Sistemas híbridos: alternativa de energización en zonas no interconectadas. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, 1(1):44–64, 2014.
- [11] Jhonatan Alberto Hervas Moreira and Miguel Fernando Moscoso Noroña. Análisis del potencial eólico y solar para la implementación de un sistema híbrido de generación eléctrica en base al uso de energías alternativas en el páramo chalupas, periodo 2015. B.S. thesis, LATACUNGA/UTC/2015, 2015.
- [12] M. T. HUALPA H. Estudio de factibilidad de sistemas híbridos eólico-solar en el Departamento de Moquegua. Technical report, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ: FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA, 2006.
- [13] Luz Adriana Osorio Gómez. Características de los ambientes híbridos de aprendizaje: estudio de caso de un programa de posgrado de la Universidad de los Andes. Technical report, Universitat Oberta de Catalunya, 2010.
- [14] Jaime González Velasco. *Energías renovables*. Reverte, 2009.
- [15] Fernando Valenciaga. *Control de estructura variable en sistemas híbridos de generación de energía*. PhD thesis, Universidad Nacional de La Plata, 2001.
- [16] Diego Carrión and Leony Ortiz. Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos. *Ingenius*, (10):44–48, 2013.
- [17] Justo J Roberts, Agnelo M Cassula, José L Silveira, and Pedro O Prado. Dimensionamiento de sistemas híbridos de generación de energía. *THE 12th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE 2017, Mar del Plata, Argentina*, 2017.
- [18] Vanessa Catalina Herrera Barros et al. Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de baños de agua santa. B.S. thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas . . . , 2011.
- [19] SM Thibaud, JJ Roberts, and PO Prado. Proyecto de un sistema híbrido de generación con energías renovables para un establecimiento rural aislado. In *Book of Abstracts and Proceedings of 11th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission*, page 73, 2015.
- [20] Mónica Domínguez Domínguez. Análisis de los sistemas híbridos. *Universidad Carlos III de Madrid*, 2015.

- [21] Oscar Perpiñán Lamigueiro. Energía solar fotovoltaica. *Creative Commons ebook. España. 192pp*, 2013.
- [22] Cayetano Espejo Marín et al. La energía solar fotovoltaica en España. *Ediciones Complutense*, 2004.
- [23] Energía Solar. Energía solar fotovoltaica. *Página consultada en la web el*, 26, 2007.
- [24] Javier Méndez and Rafael Cuervo. Energía solar fotovoltaica. *Fundación Confemetal, Madrid*, pages 27–28, 2007.
- [25] Carlos Montoya Rasero et al. Energía solar fotovoltaica. *Energía solar fotovoltaica, situación actual*, 4, 2011.
- [26] José Antonio González Romero and Xavier Andrés Cárdenas Caranguí. Análisis e implementación de un sistema electrónico para alcanzar el punto máximo de potencia en los paneles solares de la universidad politécnica salesiana. B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [27] Kevin Roger Pantaleón Iñiguez and Kevin Andrés Tumbaco Chumo. Generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico off grid en la zona rural de Guayaquil. B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2023.
- [28] Gilbert M Masters. *Renewable and efficient electric power systems*. John Wiley & Sons, 2013.
- [29] Erdem Cuce and Saffa Riffat. *Thermal Energy and Power Engineering*. CRC Press, 2016.
- [30] Soteris A Kalogirou. *Solar energy engineering: processes and systems*. Elsevier, 2023.
- [31] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho. Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays. In *2009 Brazilian Power Electronics Conference*, pages 1244–1254. IEEE, 2009.
- [32] David Linden and T Reddy. Handbook of batteries, mcgraw-hill companies inc, 2002.
- [33] T Nagaura. Lithium ion rechargeable battery. *Progress in Batteries & Solar Cells*, 9:209, 1990.
- [34] J. Kotecha and J. B. Bell. Flow batteries: An overview. *Journal of Energy Storage*, 15:312–323, 2018.

- [35] Santiago Arnalich. *Generadores en proyectos de cooperación: Cómo elegir, dimensionar, instalar y utilizar económicamente generadores diésel*. Arnalich Water and Habitat, 2013.
- [36] R Alarcón Fernández. Sistema híbrido eólico-diesel para el abastecimiento de energía eléctrica de 20 cabañas turísticas en cayo caguamas. //eolic-diesel hybrid system for electric power supply of 20 tourist cabins in caguamas key. *Ingeniería Mecánica. Revista electrónica. ISSN 1815-5944*, 4(4):33–37, 2001.
- [37] AGMB Mustayen, MG Rasul, Xiaolin Wang, Michael Negnevitsky, and JM Hamilton. Remote areas and islands power generation: A review on diesel engine performance and emission improvement techniques. *Energy Conversion and Management*, 260:115614, 2022.
- [38] Roiber Vásquez Tapia. Dimensionamiento y simulación de un sistema fotovoltaico para el caserío tancho jalca en bagua grande usando la herramienta computacional homer. *Ingeniería Mecánica y Eléctrica*, 2019.
- [39] Edison Xavier López Bautista and Diego Fabricio Núñez Aldaz. Simulación en homer de un sistema eléctrico híbrido solar-eólico en la parroquia lasso de la provincia de cotopaxi. B.S. thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2022.
- [40] Gerardo F Velasco and Edgar Cabrera. Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de imbabura. *article*, 2009.
- [41] Jorge Patricio Muñoz-Vizhñay, Marco Vinicio Rojas-Moncayo, and Carlos Raúl Barreto-Calle. Incentivo a la generación distribuida en el ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (19):60–68, 2018.