



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE UN SISTEMA HÍBRIDO CON
ENERGÍA EÓLICA, SOLAR FV, GENERADORES DIÉSEL Y BATERÍAS EN EL ÁREA
DE IRQUIS - SECTOR TARQUI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: LUIS FERNANDO LEON LUCERO

JONNATHAN PATRICIO ZORIA LOJANO

TUTOR: ING. JOHNNY XAVIER SERRANO GUERRERO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Fernando Leon Lucero con documento de identificación N° 1752963346 y Jonnathan Patricio Zoria Lojano con documento de identificación N° 0106789902; 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, 24 de febrero del 2024

Atentamente,



Luis Fernando Leon Lucero

1752963346



Jonnathan Patricio Zoria Lojano

0106789902

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

Nosotros, Luis Fernando León Lucero con documento de identificación N° 1752963346 y Jonnathan Patricio Zoria Lojano con documento de identificación N° 0106789902, 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: “Estudio de factibilidad para el uso de un sistema híbrido con energía eólica, solar FV, generadores diésel y baterías en el área de Irquis - Sector Tarqui”, 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 que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de febrero del 2024

Atentamente,



Luis Fernando Leon Lucero

1752963346



Jonnathan Patricio Zoria Lojano

0106789902

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: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE UN SISTEMA HÍBRIDO CON ENERGÍA EÓLICA, SOLA FV, GENERADORES DIÉSEL Y BATERÍAS EN EL ÁREA DE IRQUIS - SECTOR TARQUI, realizado por Luis Fernando León Lucero con documento de identificación N° 1752963346 y por Jonnathan Patricio Zoria Lojano con documento de identificación N° 0106789902, 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, 24 de febrero del 2024

Atentamente,



Johnny Xavier Serrano Guerrero
0104983382

Ing. Johnny Xavier Serrano Guerrero, PhD.

0104983382

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme permitido ser parte de ella y a su vez abrirme las puertas de su camino científico para poder estudiar la carrera de mis sueños; de la misma forma, agradezco a todos los docentes que a lo largo de estos años me brindaron sus conocimientos y apoyo para avanzar con paso firme a mi meta.

Gracias infinitas a mi madre y a mi padre porque gracias a su apoyo y amor incondicional creyeron en mi potencial por lo que han sido un pilar fundamental en mi formación.

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que, de diversas maneras, contribuyeron al desarrollo de este proyecto de investigación. Agradezco a los que me permitieron recolectar datos, realizaron revisiones y me dieron sugerencias.

Luis Fernando Leon

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por brindarme la oportunidad de poder cumplir esta meta anhelada, por la salud y sabiduría para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a mi familia a mis padres que fueron el pilar y esas ganas de salir adelante y sobre todo por creer en mí.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a la docencia y educación brindada mediante ello logre la meta planteada.

A mi tutor Ing. Xavier Serrano gracias a sus conocimientos, experiencias compartidas y las metodologías para desarrollar todo lo escrito e impulsar a concluir esta meta le agradezco mucho el cual formo parte importante para llegar a ser profesional.

Jonnathan Patricio Zoria Lojano

DEDICATORIA

A mi madre María, el pilar silencioso y eterno de mi vida. Fuiste más que una madre, fuiste mi ejemplo de perseverancia. Me enseñaste, con tu vida y tus acciones, que nunca debemos rendirnos, sin importar las adversidades. Cada piedra que levantaste en busca de un mejor futuro para nuestra familia resonó como un eco en mi propia determinación. Tú, la que me mostró que con nada también se pueden hacer grandes cosas. Tus lecciones de humildad y creatividad han sido faros que iluminaron mi camino. Cada gesto de sacrificio y cada obra de amor han sido la base sobre la cual construí mis sueños. Tus gestos de cariño, incluso en las pequeñas cosas, han sido faros de amor que han iluminado mi camino. Dedico este logro a ti, mi fuente inagotable de inspiración, con profundo agradecimiento y amor.

A mi padre Juan, mi guía y mi inspiración. A pesar de los escasos recursos, siempre alzaste piedras para buscar el sustento de nuestra familia. Tu constante aliento y sabiduría han sido mi faro en este viaje académico. Sin tu apoyo, este logro no sería posible.

A mis hermanos, cómplices de travesuras y confidentes en las alegrías y desafíos. Vuestras ocurrencias han sido mi fuente de inspiración y alegrías en este proceso. Aunque nuestras ropas fueran simples, nuestro hogar estaba lleno de amor. En especial a Edwin, mi compañero de vida, inseparable y fiel. Aunque enfrentamos juntos los desafíos de la vida y a pesar de mis fallas como hermano, nunca me abandonaste. A ti te debo muchas cosas; fuiste mi razón de cambio, la fuerza que me impulsó a ser mejor. Sé que nuestras vidas tomaran rumbos diferentes eso es inevitable, pero siempre llevaremos el lazo indestructible de la familia. Gracias por ser mis compañeros de vida y risas. A Sara, por iluminar cada página de mi trayectoria universitaria. Fuiste la brújula en las tormentas, la luz en las oscuras noches de estudio. Soportaste mis frustraciones, celebraste mis éxitos y compartiste cada paso de este viaje. Tu paciencia, comprensión y amor incondicional son tesoros que atesoro. Este logro lleva tu huella indeleble, y mi agradecimiento hacia ti es inmenso. A ti te dedico con cariño este capítulo de mi vida.

Con amor y gratitud,

Luis Fernando Leon

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a toda mi familia, especialmente a mis padres, Anita Lojano y Leonidas Zoria. Que gracias a ellos nunca me rendí por su apoyo, su confianza y sobre todo a pesar de cada bajón, cada obstáculo presente, vi la motivación en ellos, sus palabras, su historia de vida y esfuerzo que vivieron, fueron el impulso a nunca darme por vencido. A ustedes, mamá y papá dedico mi esfuerzo.

A mis hermanos Gladys y Christian, por ser parte de este proyecto, que con el esfuerzo y la confianza que me brindaron fue significativo para mí, además soy su hermano mayor por el cual siguen mis pasos.

Mi tía Mónica que fue mi apoyo cada día al salir y llegar, cada desvelada en esta trayectoria me impulsó a jamás renunciar por mis sueños. Te dedico este trabajo, gracias por estar presente en este camino.

Dedico mi trabajo a mis tíos y tías familia Lojano, los cuales cada uno de ellos agregaron en mi vida una razón para seguir adelante, siempre tuvieron fe en mis capacidades. Muy agradecido por cada consejo, ayuda, un abrazo brindado, que me ayudo a seguir adelante.

De una manera especial dedico también mi investigación a mis abuelos, quien me vieron crecer y me llenaron de sueños y agradezco a Dios por tenerlos presente y poder compartir con ellos cada logro de mi vida.

Dedico estas líneas a las personas que confiaron en mí, aquellas que con su respeto y su amor me enseñaron a crecer con humildad en el corazón, les agradezco por ser parte de mi historia, por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante.

Con gran emoción, puedo decir que, gracias a su confianza, he logrado cumplir esta meta tan importante.

Este logro no es solo mío, es de todos nosotros, de aquellos que creyeron en mí cuando yo mismo dudaba, de aquellos que me animaron a seguir adelante cuando las cosas se ponían difíciles, de aquellos que me celebraron cada pequeño triunfo.

Su apoyo ha sido invaluable, y me ha permitido llegar hasta donde estoy hoy. Este es solo el comienzo de un nuevo capítulo en mi vida, un capítulo lleno de nuevos retos y metas por alcanzar.

Jonnathan Patricio Zoria Lojano

Índice

1. INTRODUCCION	10
1.1. Justificación	10
1.2. Estado del arte	10
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo General	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Energías renovables	14
2.2. Tipos de energías renovables	14
2.3. La energía eólica	15
2.3.1. Aerogeneradores	15
2.3.2. Principio de funcionamiento de un aerogenerador	15
2.3.3. Principales partes de un aerogenerador	16
2.3.4. Tipos de Aerogenerador	16
2.4. Sistemas eólicos en el Ecuador	18
2.4.1. Energía eólica y recursos eólicos en el Ecuador	18
2.4.2. Importancia de la energía eólica en el Ecuador	19
2.5. La energía solar	20
2.5.1. Sistemas fotovoltaicos	20
2.5.2. Principales partes de un sistema FV.	20
2.5.3. Tipos de celdas fotovoltaicas	21
2.6. Sistemas de energía solar FV en el Ecuador	22
2.7. Indicadores estadísticos	23
2.7.1. Media	24
2.7.2. Mediana	24
3. DISEÑO, MODELADO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO	25
3.1. Análisis estadístico de datos meteorológicos	25
3.1.1. Análisis del recurso eólico	25
3.1.2. Análisis del recurso solar	27
3.2. Demanda energética para el sistema híbrido	28
3.2.1. Área de estudio	28
3.2.2. Localización	28
3.2.3. Demanda de energía del año 2022 - 2023	30

3.3.	Dimensionamiento del sistema híbrido	33
3.3.1.	Dimensionamiento de la planta eólica	33
3.3.2.	Dimensionamiento de la planta solar FV	36
3.3.3.	Dimensionamiento del generador Diesel	42
3.3.4.	Almacenamiento de energía en baterías	43
3.3.5.	Dimensionamiento del sistema de almacenamiento	43
3.4.	Simulación de la sistema híbrido	46
3.4.1.	Recursos renovables de la ubicación geográfica	48
3.5.	Resultados de simulación	50
3.5.1.	Resultado de la optimización	53
3.6.	Análisis de costos y viabilidad económica	62
3.6.1.	Análisis de resultados	62
3.6.2.	Costo de implementación	63
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1.	Conclusiones	66
4.2.	Recomendaciones	67
5.	ANEXOS	72
A.	Anexo A	72
B.	Anexo B	73
C.	Anexo C	74
D.	Anexo D	75

Índice de tablas

1.	Resumen de velocidad de viento	26
2.	Rango de la velocidad del viento	27
3.	Irradiancia promedio	27
4.	Ubicación de la estación meteorológica Irquis	28
5.	Energía consumida en el año 2022-2023	30
6.	Requerimiento de energía neta proyectada	32
7.	Resultados del aerogenerador	35
8.	Características del panel fotovoltaico	36
9.	Irradiación promedio en base a la inclinación óptima	39
10.	Energía generada sistema solar	42
11.	Características técnicas del generador diésel Kolvok 10kVA	43
12.	Características técnicas de la batería de Gel 150Ah/12VDC	44
13.	Características de voltaje de un inversor	44
14.	Producción de energía	55
15.	Producción de energía caso B	58
16.	Producción de energía	61
17.	Resultados de optimización del sistema híbrido	63
18.	Elementos del sistema de generación híbrido	64

Índice de figuras

1.	<i>Flujo del viento mediante aspas de un generador</i> [1].	16
2.	<i>Aerogenerador de eje vertical BORNAY600</i> [2].	17
3.	<i>Mini-aerogenerador de eje vertical TECHNOWIND 0.35kW</i> [3].	17
4.	<i>La Central Eólica Villonaco Loja - Ecuador</i> [4].	18
5.	<i>Proyecto Eólico Minas de Huascachaca (PEMH)</i> [5].	19
6.	<i>Composición de un sistema solar FV</i> [6].	21
7.	<i>Ejemplo de una celda fotovoltaica</i> [7].	22
8.	<i>Central Fotovoltaica Paragachi - 1 MW Pimampiro, Imbabura</i> [8].	23
9.	<i>Velocidad del viento promedio</i>	26
10.	<i>Diagrama de un sistema híbrido</i>	29
11.	<i>Consumo de energía durante 2022</i>	31
12.	<i>Consumo de energía durante 2023</i>	32
13.	<i>Curva de Potencia del Generador Bornay</i>	34
14.	<i>Potencia consumida en un día</i>	47
15.	<i>Curva de potencia por mes</i>	48
16.	<i>Recursos climáticos de la zona Irquis caracterizada por una radiación global mínima</i>	49
17.	<i>Recursos climáticos de la zona Irquis caracterizada en una temperatura media</i>	49
18.	<i>Recursos climáticos de la zona Irquis caracterizada por veloci- dad promedio del viento</i>	50
19.	<i>Diagrama del sistema híbrido</i>	52
20.	<i>Proyección de costo beneficio del sistema híbrido</i>	53
21.	<i>Estimación de costo del sistema híbrido</i>	54
22.	<i>Flujo de fondos del sistema híbrido</i>	55
23.	<i>Producción de energía por mes</i>	56
24.	<i>Producción de energía por mes</i>	56
25.	<i>Estimación de costo del sistema híbrido</i>	57
26.	<i>Flujo de fondos del sistema híbrido</i>	58
27.	<i>Producción de energía por mes</i>	59
28.	<i>Estimación de costo del sistema híbrido</i>	60
29.	<i>Flujo de fondos del sistema híbrido</i>	61
30.	<i>Producción de energía por mes</i>	62
31.	<i>Características Aerogenerador Eólico</i>	72

32.	Características Panel fotovoltaico	73
33.	Características del grupo Electrógeno	74
34.	Características de las baterías	75

”ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DE UN SISTEMA HÍBRIDO CON ENERGIA EÓLICA, SOLAR FV, GENERADORES DIÉSEL Y BATERIAS EN EL ÁREA DE IRQUIS - SECTOR TARQUI.”

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1. Justificación

El estudio estadístico de datos meteorológicos de la zona Irquis, para la introducción de un sistema híbrido, va dirigida primordialmente para los habitantes de la zona Irquis, debido a que puede significar mejoras considerables en ámbito eléctrico en la zona, lo cual permitirá innovar la expansión de generación eléctrica futura. Además, contribuirá a futuros estudiantes tesistas, a grupos académicos de investigación, y a docentes, los cuales tendrán una base para el mejor entendimiento del manejo de datos meteorológicos enfocado al uso de energías renovables a pequeña escala que brinda el sistema híbrido. Por otra parte, ayuda a fomentar el uso de energías renovables dentro de la zona, el cual contribuye significativamente a la inclusión de sistemas de microrredes eléctricas aisladas para un mejor desarrollo del sector.

1.2. Estado del arte

Energía renovable en Ecuador En Ecuador, al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos, se ha iniciado un proceso de cambio en la matriz energética en la última década, orientándose hacia soluciones más sostenibles. Este cambio en la conversión de energía está en línea con el Plan Maestro de Energía 2016-2025, además el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035. El objetivo principal es la sustitución paulatina de fuentes de combustibles y energías de impacto ambiental significativo por otras de bajo o nulo contenido de carbono, aprovechando los abundantes recursos hídricos disponibles en el país [9].

En Ecuador, el consumo final de energía depende principalmente del transporte, ocupando el segundo lugar en un gran sector y el tercero en el sector

industrial. En América Latina, el sector del transporte está fuertemente vinculado a los combustibles fósiles derivados del petróleo. En Ecuador, la tasa de penetración de energía primaria en 2017 se situó en un 79 %, siendo solo un 16 % proveniente de fuentes renovables y un 5 % de gas natural. El desarrollo energético del país durante la última década ha demostrado un aumento considerable en la capacidad hidroeléctrica instalada del país, mientras que la energía solar y eólica siguen siendo escasas [10].

Los planes energéticos del Mundo, incluyendo Ecuador, se utilizan cada vez más las energías renovables en su matriz de energía. En 2015, el 12 de diciembre, la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático alcanzó un acuerdo histórico, por lo que la comunidad internacional tiene como objetivo común fortalecer los esfuerzos para combatir el cambio climático, sobre la base de un desarrollo sostenible con bajas emisiones de gases de efecto invernadero [11].

Tomando en cuenta el Acuerdo de París, define la mitigación de gases de efecto invernadero a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a los efectos del calentamiento global, que entró en vigor el 22 de abril de 2016 y obliga a todos los estados miembros a publicar sus emisiones cada 5 años, Estos son algunos de los factores clave para mitigar el cambio climático [12].

El Estado ecuatoriano, guiado por la responsabilidad de brindar servicios públicos de energía eléctrica de manera ambientalmente equilibrada, ejecutó un plan maestro para el período 2016-2025. Este plan tiene como objetivo principal la promoción de la sostenibilidad y el Buen Vivir, implementando iniciativas como la transformación de la matriz energética, la ampliación de la producción y transmisión hidroeléctrica, y la edificación de una red de interconexión eléctrica con naciones vecinas. Se promueve el intercambio de energía y la integración de fuentes renovables al Sistema Nacional de Interconexión (SNI), asegurando la futura cobertura del sistema eléctrico sin comprometer la continuidad, confiabilidad y desarrollo sustentable del país [10].

Las energías renovables con mayor desarrollo en la actualidad son la energía hidroeléctrica, eólica, solar y de biomasa, el objetivo entre estos recursos es el de aumentar la capacidad instalada de las principales fuentes de energía renovable en los últimos años, donde la energía hidroeléctrica es con mayor tendencia, sin embargo, la energía solar es el más rápido crecimiento en los últimos 10 años, seguida por la energía eólica [13].

Las fuentes renovables se presentan como una solución a la generación de

electricidad basada en combustibles fósiles. A finales de 2019, aproximadamente el 95 % de la capacidad instalada a nivel mundial provenía de fuentes renovables, como la energía solar, hidroeléctrica y eólica.. Al tener en funcionamiento un sistema renovable compuesto por una sola fuente podría ocasionar un sobre dimensionamiento, provocando costos elevados, debido a la intermitencia de los recursos renovables como la energía solar y eólica [14]. Para garantizar altos niveles de calidad, confiabilidad, rendimiento, reducir costos en la instalación y operación del sistema, la alternativa son los sistemas híbridos renovables, el cual se clasifican combinando tecnologías como generación hidroeléctrica (Hidro), fotovoltaica (PV), eólica (WT), generador diesel (DG), un sistema de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo (PH), almacenamiento por baterías (BAT), entre otros [14].

En el año 2020, se llevó a cabo una tesis en la Universidad Técnica de Ambato que abordó el diseño y construcción de un sistema de control para un generador híbrido de energía renovable, tanto eólica como fotovoltaica. Este generador estaba ubicado en el distrito de Río Blanco, específicamente en la comunidad de Yatsapotzan, perteneciente al distrito de Tungurahua. La iniciativa de este proyecto de ingeniería surgió debido a la necesidad de implementar un sistema de control que mejorara el almacenamiento de energía en la mencionada localidad.

El enfoque principal del proyecto se centró en el diseño, la construcción y las pruebas de rendimiento del generador híbrido, así como en la selección de la placa de adquisición de datos. Esta elección se basó en los parámetros de control, las conexiones del programa y los componentes capaces de gestionar tanto la carga como la descarga de las baterías incorporadas. Además, se incorporó un control adicional para el calentamiento de agua en los hogares [15].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar la viabilidad técnica y económica para la introducción de un sistema híbrido, con energía eólica, solar FV, generadores diesel, y baterías, a partir de un análisis estadístico obtenido por datos meteorológicos de la zona Irquis, parroquia Tarqui.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis estadístico de los datos meteorológicos obtenidos por la estación meteorológica Irquis.
- Modelar un sistema híbrido con energía eólica, solar FV, generadores diesel y baterías para la producción de energía eléctrica.
- Determinan la demanda de energía eléctrica de la zona y cuantificar la cantidad de energía aproximada a ser generada por el sistema híbrido.
- Estimar los costos para la implementación de este tipo de energía a la base de usuarios en la zona.
- Realizar un estudio de viabilidad económica para la generación de electricidad a partir del sistema híbrido de la zona de análisis.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Energías renovables

Las energías renovables son cada vez más competitivas, limpias e inagotables. Destacan por su amplia presencia y factibilidad de aprovechamiento en cualquier punto del planeta, en comparación con los combustibles fósiles. Tal vez su característica más importante es que no producen emisiones contaminantes de CO_2 , las cuales contribuyen al efecto invernadero. Además, sus costes disminuyen de forma sostenida, mientras que la tendencia general del precio de los combustibles fósiles es generalmente creciente [16].

2.2. Tipos de energías renovables

El conjunto de las energías renovables, también conocidas como energías limpias, abarca las siguientes fuentes:

- **Energía eólica:** conocida como energía del viento, se define como la energía que se obtiene del aprovechamiento del movimiento del aire.
- **Energía solar:** proveniente de la radiación solar, se puede aprovechar de dos maneras principales: la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica.
- **Energía hidroeléctrica:** se basa en el aprovechamiento del flujo de agua dulce, almacenada en embalses o ríos, para la producción de electricidad.
- **La Biomasa y el biogás:** derivados de la materia orgánica, son dos fuentes de energía renovable que, si bien liberan CO_2 , se consideran sostenibles por la constante reposición de la materia prima.
- **Energía geotérmica:** proveniente del interior del planeta, se considera una fuente de energía renovable y sostenible por su constante reposición.
- **La Energía mareomotriz:** aunque no es tan explotada como otras fuentes renovables, ofrece un gran potencial energético a partir de las mareas.

- **Energía undimotriz:** aunque aún en desarrollo, ofrece un gran potencial para aprovechar la fuerza de las olas del mar.
- **Bioetanol:** es un biocombustible líquido derivado de la fermentación de biomasa vegetal, como caña de azúcar, maíz o celulosa. Se utiliza como alternativa renovable a los combustibles fósiles en el sector automotriz.
- **Biodiésel:** se define como un biocombustible líquido derivado de aceites vegetales o grasas animales. Se utiliza como alternativa renovable a los combustibles fósiles en el sector automotriz y en otras aplicaciones como la generación de calor o la producción de energía eléctrica.

2.3. La energía eólica

La energía eólica se posiciona como una de las alternativas más prometedoras para un futuro sostenible. Su abundancia, madurez y eficiencia la convierten en una fuente de energía limpia y renovable con un gran potencial para reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles.

2.3.1. Aerogeneradores

Las turbinas eólicas, también conocidas como aerogeneradores, son máquinas que aprovechan la energía del viento para generar electricidad. Funcionan capturando la energía cinética del viento y transformándola en energía mecánica de rotación, que luego se convierte en electricidad mediante un generador. Las palas de un aerogenerador sirven para hacer mover el eje de un rotor que giran entre 12 y 20 rpm, dependiendo de su tecnología: a velocidad constante o variable, donde este parámetro se ajusta dependiendo de la velocidad del viento, con el objetivo de optimizar el rendimiento del recurso eólico [16].

2.3.2. Principio de funcionamiento de un aerogenerador

En una turbina eólica en presencia de viento, entran en juego dos fuerzas aerodinámicas sobre las aspas del rotor: una denominada empuje, que es perpendicular a la dirección del flujo del viento y otra denominada arrastre, que es paralela a la dirección del flujo [17]. Prácticamente el viento mueve las

palas o aspas del aerogenerador, desarrollando un par que se traduce en potencia mecánica y esta a su vez, es transmitida al generador para convertirla finalmente en energía eléctrica [18].

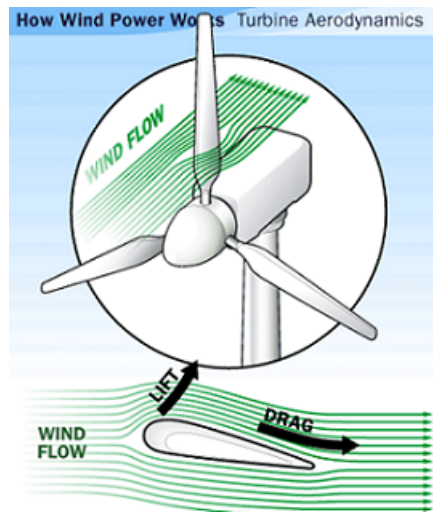


Figura 1: *Flujo del viento mediante aspas de un generador*[1].

2.3.3. Principales partes de un aerogenerador

- Sistema de acople.
- Multiplicador o caja de cambios.
- Motor de orientación.
- Mástil de soporte.
- Veleta y Anemómetro.
- Electrónica de control.
- Generador.

2.3.4. Tipos de Aerogenerador

Ellos están divididos tecnológicamente en dos grupos: aerogeneradores horizontales y verticales o por sus siglas en inglés, HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) y VAWT (Vertical Axis Wind Turbine). En una turbina eólica horizontal, el eje del alternador o del generador está alineado con respecto al horizonte, por lo tanto, es perpendicular al eje de la torre que lo sostiene en

punta. En el caso de una turbina eólica vertical, el eje del rotor del alternador o del generador se encuentra perpendicular a la torre que lo sostiene [19].

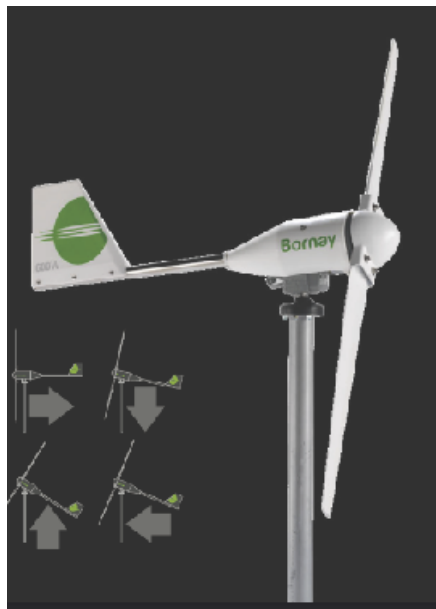


Figura 2: Aerogenerador de eje vertical BORNAY600 [2].



Figura 3: Mini-aerogenerador de eje vertical TECHNOWNIND 0.35kW[3].

2.4. Sistemas eólicos en el Ecuador

2.4.1. Energía eólica y recursos eólicos en el Ecuador

En Ecuador el progreso en el ámbito de energía eólica es muy significativa, algunos ejemplos de los desarrollos recientes son:

- En las estribaciones del cerro Villonaco, a una altitud de 2720 metros sobre el nivel del mar y a solo 14 kilómetros de la ciudad de Loja, se alza imponente la Central Eólica Villonaco. Esta empresa pública estratégica, adscrita al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, se erige como un gigante verde que aprovecha la fuerza del viento para generar energía limpia y renovable. La Central Eólica Villonaco es una de las obras más emblemáticas del Gobierno Nacional, cuenta con 11 aerogeneradores de 1,5 MW de potencia nominal, debiendo aportar, de acuerdo al estudio de factibilidad, 59.57 millones de kWh/año al Sistema Nacional Interconectado[4].



Figura 4: *La Central Eólica Villonaco Loja - Ecuador* [4].

- El Proyecto Eólico Minas de Huascachaca: Un nuevo horizonte energético en Saraguro En el corazón de la provincia de Loja, en el cantón

Saraguro y la parroquia San Sebastián Yuluc, se encuentra en desarrollo el Proyecto Eólico Minas de Huascachaca (PEMH). Este proyecto, que busca aprovechar la fuerza del viento para generar energía limpia y renovable, se emplaza en las mesetas relativamente planas de Uchucay y Yuluc, orientadas de sur a norte, un escenario ideal para la operación de aerogeneradores. Los resultados de los estudios realizados por ELECAUSTRO S.A., definieron que el PEH tendrá una capacidad instalada de 50 MW, una producción bruta media anual esperada de 130 Gw.h, lo que equivale a la energía eléctrica que requieren 90 mil hogares [5].



Figura 5: *Proyecto Eólico Minas de Huascachaca (PEMH)* [5].

- En Imbabura se presenta un estudio de un parque eólico en Salinas con el respaldo de la distribuidora del norte y la empresa Electro Viento, se proyecta tener una potencia de 10 MW [20].

2.4.2. Importancia de la energía eólica en el Ecuador

El Gobierno Nacional está implementando políticas orientadas al fortalecimiento de la confianza de los inversionistas en proyectos ecuatorianos. Las políticas energéticas de Ecuador se cimentan sobre un marco legal robusto que prioriza la seguridad jurídica y la transparencia en los procesos públicos. Este marco regulatorio busca crear un ambiente favorable para la inversión privada, tanto nacional como extranjera, en el sector energético. En la actualidad, Ecuador se beneficia de la participación de empresas reconocidas a nivel mundial, provenientes de países como España, Canadá, Corea y China.

Estas empresas aportan su experiencia y conocimiento en tecnologías renovables, brindando asesoramiento y ofreciendo equipos de última generación. La comunidad internacional percibe a Ecuador como un destino atractivo para invertir en la ejecución de proyectos de energías renovables [21].

2.5. La energía solar

La energía solar se obtiene mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que llega a la Tierra puede aprovecharse tanto a través del calor que genera como mediante la absorción de su radiación, utilizando dispositivos ópticos, celdas fotovoltaicas y otros equipos similares. Este tipo de energía forma parte de la familia de energías renovables, en particularmente del grupo no contaminante, la cual llevan el nombre de energía limpia o energía verde.

2.5.1. Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico se define como el conjunto de equipos tecnológicos diseñados para aprovechar la energía solar y convertirla en electricidad. Estos sistemas se fundamentan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas para transformar la luz solar en energía eléctrica. La eficiencia de estas celdas está determinada por su estructura y el material de la base utilizado, comúnmente de tipo P o de tipo N. Gracias a los avances recientes en la tecnología de celdas, la eficiencia promedio de conversión de energía ha mejorado en los últimos años, alcanzando un 23 %.

2.5.2. Principales partes de un sistema FV.

Un sistema solar fotovoltaico está compuesto por diferentes etapas o procesos, las cuales se detallaran en brevedad a continuación.

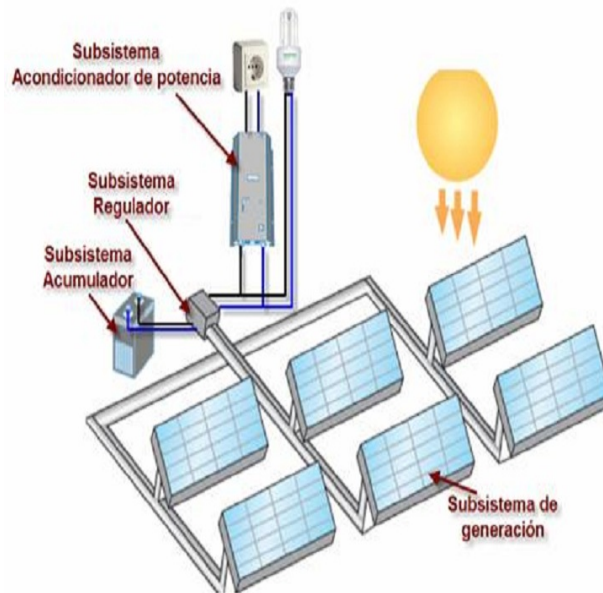


Figura 6: *Composición de un sistema solar FV [6].*

- **Generador solar:** Este sistema se compone de un conjunto de paneles fotovoltaicos que tienen la función de captar la radiación luminosa del sol y convertirla en corriente continua.
- **Acumulador:** Es el dispositivo que almacena la energía que se produce por el generador. Con el acumulador se puede disponer de electricidad en horas que no hay luz o en los días nublados.
- **Regulador de carga:** Evita las descargas excesivas o las sobrecargas hacia el acumulador, porque esto produce daños irreversibles. Además, asegura que el sistema funcione con la mayor eficiencia posible.
- **Inversor:** Cambia la corriente continua almacenada dentro del acumulador en corriente alterna (230 V).

2.5.3. Tipos de celdas fotovoltaicas

Los módulos fotovoltaicos, también llamados colectores solares fotovoltaicos, están compuestos por un conjunto de celdas fotovoltaicas que transforman la luz en energía eléctrica. La potencia de estos módulos se clasifica utilizando el término "potencia pico", que representa la máxima potencia que el módulo puede generar en condiciones normalizadas. Estas condiciones

incluyen la radiación solar y la temperatura estándar.

- Radiación de 1000 W/m^2 .
- Temperatura de célula de 25°C .

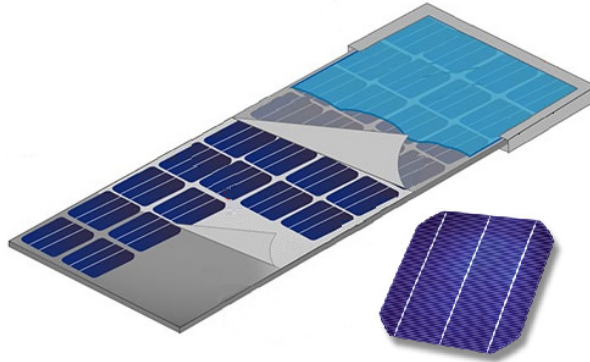


Figura 7: Ejemplo de una celda fotovoltaica [7].

Las celdas fotovoltaicas se dividen en:

- **Monocristalinas:** están formadas por un único cristal de silicio con una estructura extremadamente uniforme, obtenido a través del método Czochralski.
- **Policristalinas:** Está formado por muchos cristales de silicio.
- **Amorfos:** se caracterizan por el silicio que no ha experimentado cristalización.

2.6. Sistemas de energía solar FV en el Ecuador

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) lidera aplicaciones a gran escala, como parques fotovoltaicos conectados a la red, tanto en el territorio continental ecuatoriano como en la región insular, como Galápagos. Un hito significativo fue la conexión oficial a la red ecuatoriana de electricidad el 29 de enero de 2013 de la Central Fotovoltaica de Paragachi, con una potencia de 1 MW. Esta central consta de 4,160 paneles de 240 Wp cada uno, marcando así la primera planta solar de este tipo en el país, Figura 8. La planta ocupa 3,5 hectáreas y está ubicada en la provincia de Imbabura, una de las zonas con mayor irradiación solar de Ecuador [8].



Figura 8: *Central Fotovoltaica Paragachi - 1 MW Pimampiro, Imbabura [8].*

En referencia a los proyectos en las Islas Galápagos se destaca:

- el Proyecto Fotovoltaico Baltra, el cual implica la implementación de un sistema fotovoltaico de 200 kWp. Además, se incorpora un sistema de almacenamiento de 900 kW en potencia, utilizando baterías industriales de tipo híbrido (Ión Litio + Plomo Ácido).
- Otro proyecto relevante es el Proyecto Fotovoltaico Puerto Ayora, enmarcado en la iniciativa nacional "Cero Combustibles Fósiles en Galápagos". Este proyecto tiene como objetivo reducir el consumo de combustible fósil actualmente requerido por el sistema de generación de la Isla Santa Cruz. Adicionalmente, el proyecto fotovoltaico Puerto Ayora, de 1.5 MWp, permitirá coordinar la penetración de energía de los distintos proyectos de energía renovable que actualmente se desarrollan tanto en isla Baltra como en Santa Cruz.
- Proyecto híbrido Isabela, desarrollado en la isla Isabela y considera: una planta térmica dual de 1,2 MW, la instalación solar fotovoltaica de 1,15 MWp y el sistema de almacenamiento de energía (baterías) de 3,3 MWh [22].

2.7. Indicadores estadísticos

En las observaciones atmosféricas, es común emplear indicadores estadísticos para analizar los datos de viento y evaluar la idoneidad de un sitio

para aprovechamiento energético eólico. Algunos indicadores típicos incluyen la media aritmética, la desviación estándar, la curtosis, así como análisis de distribuciones temporales y de frecuencia. Estos indicadores proporcionan información valiosa para juzgar la viabilidad de la utilización de la energía eólica en un lugar específico.

2.7.1. Media

La media aritmética representa el valor promedio de una variable y se calcula sumando todos los valores y dividiéndolos por la cantidad total de datos. En el caso de la velocidad del viento, se expresa de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k} \quad (1)$$

2.7.2. Mediana

La mediana es una medida robusta y resistente de la tendencia central en la distribución de datos. A diferencia de la media, la mediana no se ve afectada por valores extremos que podrían ser atípicos. Se define como el valor del segundo cuartil, $q_{0,5}$, especialmente cuando el número de datos N es impar, y se puede expresar de la siguiente manera:

$$Mediana(X) = \frac{X_{\frac{N}{2}} + X_{\frac{N}{2}+1}}{2} \quad (2)$$

color

CAPITULO III

3. DISEÑO, MODELADO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO

3.1. Análisis estadístico de datos meteorológicos

3.1.1. Análisis del recurso eólico

La energía eólica se obtiene aprovechando la fuerza del viento, convirtiéndola en una de las fuentes renovables de energía con mayor expansión a nivel mundial. Principalmente se emplea para la generación de electricidad a través de aerogeneradores, dispositivos encargados de transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica [23].

Para analizar la velocidad del viento, se selecciona el valor medio de los datos recolectados por la estación meteorológica. Este dato se utiliza como referencia para elegir un día específico que oriente el diseño del sistema de generación eólica.

En la localidad de Irquis (Cantón Cuenca), se observa la variación de la velocidad del viento a lo largo del día mediante los datos recopilados por la estación meteorológica de energía eólica, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de velocidad de viento

Mes	Velocidad promedio m/s
1	3,192
2	2,216
3	2,091
4	2,148
5	2,189
6	3,084
7	3,205
8	4,086
9	3,227
10	2,186
11	2,615
12	2,577
Promedio	2,735

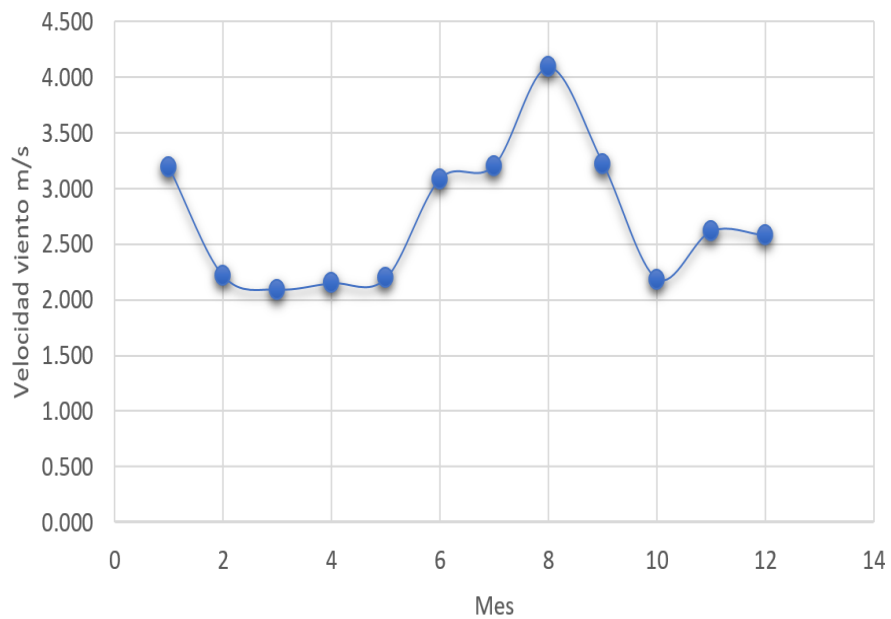


Figura 9: *Velocidad del viento promedio*

Tabla 2: Rango de la velocidad del viento

Límites de la velocidad del viento		
Mínimo	0,12	m/s
Máximo	9,469	m/s

De acuerdo con la Figura 9, se observa que los valores de velocidad del viento muestran una tendencia al aumento, sin presentar fluctuaciones significativas hacia arriba o hacia abajo, así como también se puede apreciar los máximos y mínimos obtenidos durante este año.

3.1.2. Análisis del recurso solar

En el contexto del modelado del sistema fotovoltaico, se lleva a cabo un análisis de datos con el fin de calcular la irradiancia promedio anual necesaria para el diseño del sistema. Para el proceso de diseño, se ha recopilado información relevante sobre la radiación global solar promedio registrada por la estación meteorológica ubicada en la zona de Irquis a lo largo del año, desglosada por meses, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Irradiancia promedio

Mes	kWh/m ² día
1	4,342
2	4,100
3	4,202
4	4,177
5	3,783
6	3,291
7	3,894
8	3,760
9	4,421
10	4,146
11	4,629
12	4,705

3.2. Demanda energética para el sistema híbrido

3.2.1. Área de estudio

Al definir el área de estudio, es fundamental establecer claramente los límites y el alcance de la investigación para concentrarse en aspectos específicos y alcanzar objetivos definidos. La ubicación seleccionada facilita la máxima utilización de la información sobre la disponibilidad de viento y radiación solar, lo que permite optimizar la eficiencia y el rendimiento del sistema. En el caso de la generación híbrida, el área de estudio comprende aspectos que abarcan desde la integración de energías renovables (solar, eólica) con fuentes de energía convencionales (combustibles fósiles), hasta el diseño y la optimización de sistemas híbridos, la eficiencia energética y los impactos económicos y ambientales de la generación híbrida, entre otros temas relevantes.

3.2.2. Localización

El análisis de todos los sistemas de generación energética representa una forma más moderna y eficiente de abastecer de energía una vivienda en la zona de Irquis, cantón Cuenca. Los datos recopilados de la estación meteorológica ubicada en el lugar proporcionan la información clave necesaria, como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4: Ubicación de la estación meteorológica Irquis

Estación meteorológica Irquis		
Localización	Provincia Azuay, Ciudad Cuenca, Parroquia Victoria del Portete	
Ubicación	Latitud	Longitud
	-3.0793862865594543	-79.07546912496444
Altitud	2700 msnm	

Para implementar un sistema híbrido que combine la energía eólica, solar y de generadores diésel, con almacenamiento en baterías, se lleva a cabo un

análisis exhaustivo del recurso climático disponible (eólico y solar) en el sitio, contrastándolo con la demanda energética requerida, como se ilustra en el esquema de la Figura 10.

Por otro lado, se evalúa la capacidad de producción de energía de los generadores diésel para cubrir la demanda en caso de que los sistemas principales dejen de funcionar. A pesar de su mayor costo y grado de contaminación, estos generadores son considerados como un respaldo esencial. La cantidad de baterías necesarias depende directamente de la demanda de energía en un determinado intervalo de tiempo, asegurando así la continuidad del suministro cuando las fuentes principales de generación no están operativas.

Las energías renovables permiten una flexibilidad en el enfoque de diseño gracias a la variedad de opciones de dimensionamiento de materiales y equipos disponibles en la actualidad. Estos factores están ejerciendo una influencia significativa en las decisiones políticas a nivel global, especialmente en la promoción e implementación de tecnologías limpias en el mercado de generación eléctrica.

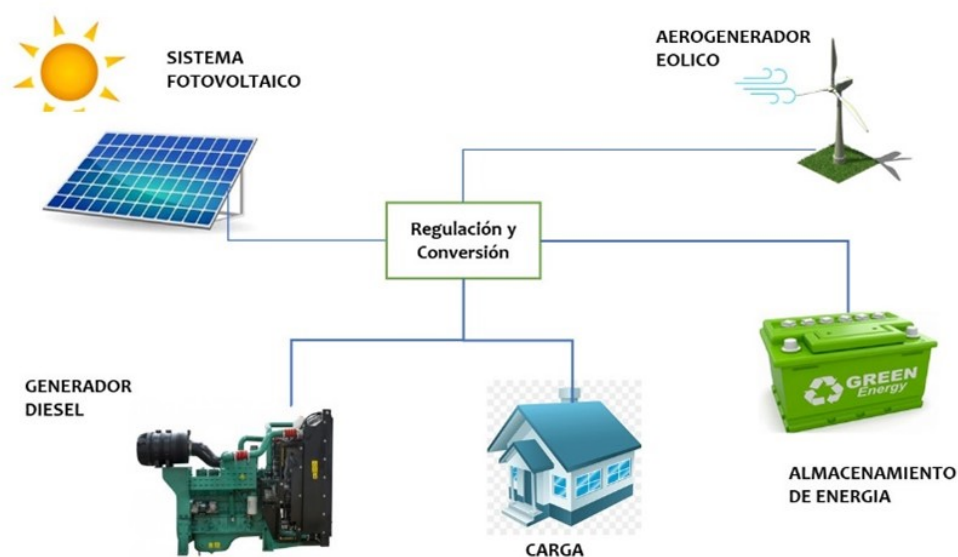


Figura 10: Diagrama de un sistema híbrido

3.2.3. Demanda de energía del año 2022 - 2023

Para identificar las fuentes alternativas de generación que integrarán el sistema híbrido en la localidad de Irquis, es crucial primero calcular el consumo energético de la comunidad. Para realizar este análisis de la demanda, se consideraron los datos de consumo residencial de una vivienda, los cuales se detallan mensualmente en la Tabla 5 y se visualizan a lo largo de un año en la Figura 11.

Tabla 5: Energía consumida en el año 2022-2023

Mes	2022	2023	% Variación
enero	104	94	-0,10
febrero	87	77,7	-0,11
marzo	133	101,9	-0,23
abril	88	88	-
mayo	74	111	0,50
junio	106,7	116	0,09
julio	76,8	122	0,59
agosto	84	180	1,14
septiembre	56	75	0,34
octubre	81	85	0,05
noviembre	68		-1,00
diciembre	124		-1,00

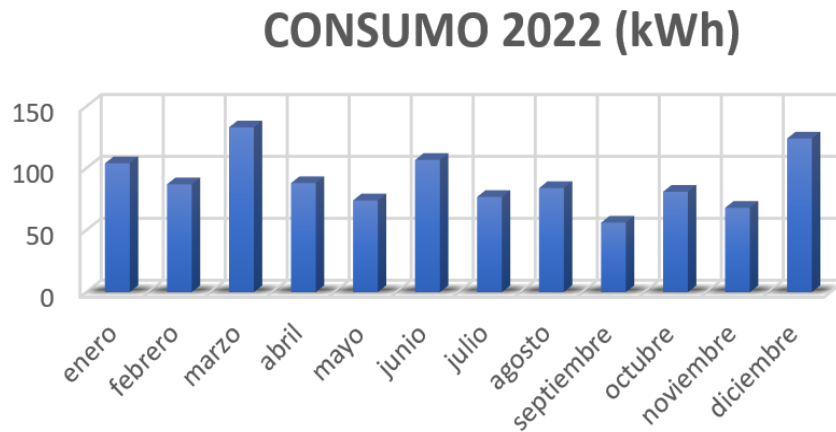


Figura 11: *Consumo de energía durante 2022*

Una vez que se determina la potencia y se analiza la curva de consumo mensual, como se ilustra en la Figura 11, se observa que la demanda máxima va en aumento. En el año 2022, el valor máximo de consumo mensual es de 124 kWh, mientras que, en el año 2023, representado en el diagrama de la Figura 12, el valor máximo asciende a 180 kWh al mes, lo que representa un incremento del 1,14% con respecto al año anterior.

CONSUMO 2023 (kWh)

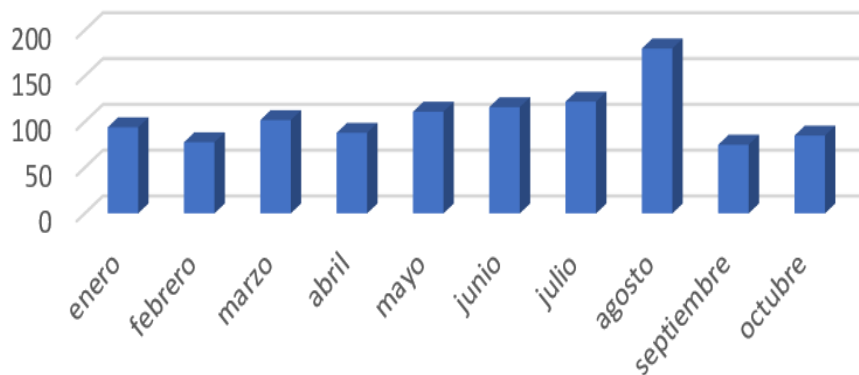


Figura 12: *Consumo de energía durante 2023*

Este factor permitirá realizar una proyección para satisfacer la demanda, considerando un escenario a 20 años. Según los fabricantes de tecnología solar y eólica [24] y [25], se proyecta una vida útil de los equipos de 25 años antes de que comiencen a degradarse y reducir su capacidad de generación de energía eléctrica. Los detalles de este estudio se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Requerimiento de energía neta proyectada

USUARIO	Requerimiento Neto de energía mensual [kWh]	Requerimiento Neto de energía Proyectada Mes [kWh]	Requerimiento Neto de energía Proyectada Dia [kWh]
*Residencial	180	221,04	7,37

3.3. Dimensionamiento del sistema híbrido

El diseño y modelado de un sistema híbrido se enfoca en la sinergia entre los datos disponibles sobre la localidad, los recursos disponibles y la madurez tecnológica de los sistemas de generación y almacenamiento de energía. La producción de energía para una localidad se fundamenta en los recursos disponibles en ese lugar. Todo sistema de generación necesita ser meticulosamente evaluado y analizado para obtener el máximo beneficio de los recursos ambientales y saber cómo aprovecharlos según las condiciones climáticas cambiantes a lo largo del año. La cantidad de energía que se produce para cubrir la demanda requerida por el sitio de análisis varía según las necesidades energéticas del lugar en cuestión. Estos sistemas tienen como objetivo específico satisfacer una necesidad particular, en este caso, el suministro de energías renovables. Los sistemas híbridos, compuestos por dos tipos de energía combinadas, son una solución efectiva para abastecer la demanda energética de una zona. La eficiencia de estos sistemas renovables depende de diversos factores, como la ubicación geográfica, la velocidad del viento y la radiación solar. Dadas las variaciones en estas condiciones, los sistemas de energía se diseñan para mejorar su capacidad de suministro, de modo que, si uno de los componentes falla, el otro pueda compensar la demanda energética

3.3.1. Dimensionamiento de la planta eólica

La cantidad de energía que puede producir la central eólica está determinada por varios factores, incluyendo la densidad del aire en kg/m^3 , el área efectiva del rotor en m^2 , la velocidad del viento en m/s , y el coeficiente de rendimiento (CP) de la turbina [26]. Para calcular los valores de potencia eólica disponible por cada hora, considerando una velocidad media del viento de 2,73, m/s .

Potencia cinética

$$P_W = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (3)$$

Donde:

P_W : Potencia cinética del viento

ρ : Densidad del aire ($1.25 \text{ kg}/\text{m}^3$)

V : Velocidad del viento en m/s

$$P_W = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 2,73^3$$

$$P_W = 12,71W/m^2$$

El aerogenerador seleccionado es un Bornay de 1,5 kW, elegido en base a la curva de potencia presentada en la Figura 13 (Anexo A), y que satisface los requisitos de velocidad promedio. Las características específicas de este aerogenerador se detallan en el mismo anexo. La turbina seleccionada se en-

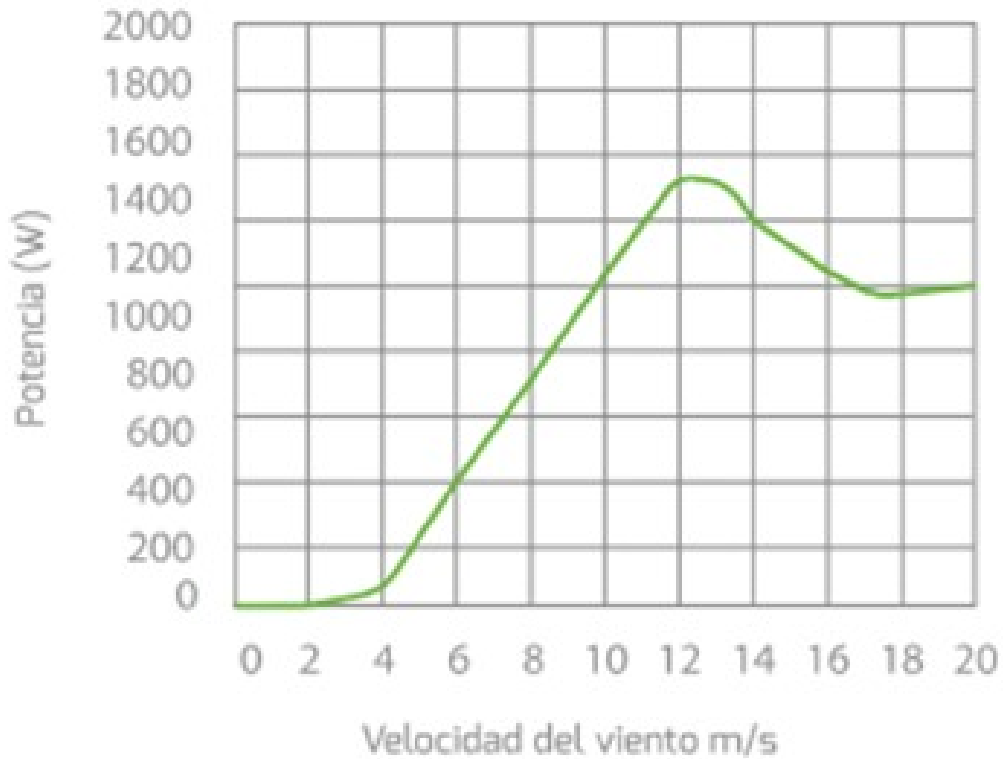


Figura 13: Curva de Potencia del Generador Bornay

cuentra dentro de los parámetros del lugar de instalación, con una velocidad nominal de 12 m/s y una velocidad de arranque de 3 m/s.

Potencia eléctrica

$$P_G = P_W \cdot A \cdot CP [W]$$

Donde:

A: Area del rotor $\rightarrow \pi \cdot r^2$

CP: Eficiencia del rotor 45 %

La Tabla 7 presenta los resultados de la potencia generada por el aerogenerador en un día, considerando la velocidad promedio del viento diaria por mes. Los datos proporcionados por la estación meteorológica indican que el

Tabla 7: Resultados del aerogenerador

Mes	Vel. m/s^2	Potencia cinetica W/m^2	Energía Aero ge- nerador Wh	Energía Aero generador Dia Wh/dia	Demanda requeri- da Wh/dia	Demanda sin cubrir Wh/dia	Demanda cubierta %
1	3,2	20,331	58,775	1410,607	4257,067	-2846,460	33,14
2	2,2	6,800	19,657	471,778	3561,200	-3089,422	13,25
3	2,1	5,712	16,512	396,292	5444,133	-5047,841	7,28
4	2,1	6,195	17,909	429,828	3602,133	-3172,306	11,93
5	2,2	6,556	18,952	454,836	3029,067	-2574,230	15,02
6	3,1	18,336	53,006	1272,153	4367,587	-3095,434	29,13
7	3,2	20,574	59,477	1427,438	3143,680	-1716,242	45,41
8	4,1	42,638	123,262	2958,288	3438,400	-480,112	86,04
9	3,2	21,000	60,710	1457,050	2292,267	-835,217	63,56
10	2,2	6,533	18,886	453,272	3315,600	-2862,328	13,67
11	2,6	11,176	32,310	775,440	2783,467	-2008,026	27,86
12	2,6	10,700	30,933	742,396	5075,733	-4333,338	14,626
						Promedio	30,075

sistema eólico diseñado cubre el 30 % de la demanda requerida de energía, lo que sugiere que el siguiente recurso debe proporcionar el restante para cubrir completamente la energía requerida por el usuario.

3.3.2. Dimensionamiento de la planta solar FV

Selección del Panel Fotovoltaico

Debido a su ubicación geográfica, Ecuador es reconocido por su abundante recurso solar, lo que lo convierte en un lugar atractivo para la implementación de la tecnología fotovoltaica. La irradiación diaria promedio anual sobre una superficie horizontal supera los 4.0 kWh/m²·día en todo el territorio nacional, llegando en algunas zonas a superar los 5 kWh/m²·día, colocándolo entre los valores más altos a nivel mundial [27, 28].

Para la selección del panel fotovoltaico, se consideran principalmente la potencia nominal máxima y el voltaje en el punto máximo de tensión. El panel fotovoltaico elegido es el Ecosolar Advanced 460W Half Cut Monocristalino. Sus especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 8 (Anexo B), con una potencia de 460 W, un voltaje en circuito abierto (Voc) de 50.40V, tipo de celda monocristalina y una corriente nominal máxima (Imp) de 11A, lo que garantiza una alta eficiencia en la entrega de energía.

Tabla 8: Características del panel fotovoltaico

Ecosolar Advanced 460W Half Cut	
Potencia:	460W
Voltaje en circuito abierto (Voc):	50,40V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vm):	41,80V
Corriente de cortocircuito (Isc):	11,57A
Corriente nominal (Imp):	11,00A
Sistema de voltaje máximo:	1500VDC
Tipo de célula:	Silicio Monocristalino Clase A
caja de conexiones:	3 Diodos de 30A cada uno
Número de células:	144 células
Valor máximo de fusible en serie:	20A
Dimensiones:	2094 x 1038 x 35mm
Peso:	24 Kg.

Orientación e inclinación óptima

Este sistema está formado por un conjunto de paneles fotovoltaicos encargados de captar la radiación luminosa del sol y transformarla en corriente continua.

Dado que la ciudad de Cuenca tiene una latitud de $\varnothing = -3.0793862865594543^\circ$, el ángulo de inclinación óptimo para todo el año se determina utilizando la

función de la latitud [29].

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \cdot |\phi|)$$

Donde:

β_{opt} : Ángulo óptimo de inclinación para un periodo anual. [°]

β : Ángulo de inclinación para la auto limpieza del panel. [°]

ϕ : Latitud del lugar de instalación. [°]

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \cdot |-3,0793862865594543|)$$

$$\beta_{opt} = 5,824$$

Para determinar la irradiación global horizontal sobre la superficie del panel fotovoltaico inclinado $GHI(\alpha, \beta)$, se estima la relación entre la $GHI(\alpha, \beta)$ del arreglo fotovoltaico y la $GHI(0)$ sobre una superficie horizontal. Esto se calcula mediante la ecuación de pérdidas por inclinación, que depende del ángulo de inclinación (α) y el ángulo de azimut (β) del panel fotovoltaico. Estos ángulos se ajustan para maximizar la captura de energía solar a lo largo del año [29, 30].

$$K = \frac{GHI(\alpha, \beta)}{GHI(0)} = \frac{1}{1 - (4,46 \times 10^{-4} \cdot \beta_{opt}) - (1,19 \times 10^{-4} \cdot \beta_{opt}^2)}$$

Donde:

$GHI(\alpha, \beta)$: Irradiación global horizontal sobre la superficie del panel FV inclinado. [$kWh/m^2/da$]

$GHI(0)$: Irradiación global horizontal promedio diaria en un año. [$kWh/m^2/da$]

K: Constante de tabla para un periodo anual.

FI: Factor de perdidas que se producen por la inclinación de la irradiación o factor de incidencia.

FS: Factor de perdidas que se producen por las sombras.

$$K = \frac{1}{1 - (4,46 \times 10^{-4} \cdot 5,824) - (1,19 \times 10^{-4} \cdot 5,824^2)}$$

$$K = 1,006$$

El factor de incidencia se estima mediante el ángulo de inclinación β , que se establece en 10° para facilitar la auto limpieza del panel fotovoltaico. Se calcula el factor de incidencia en función de β y el ángulo óptimo de inclinación (β_{opt}). Esto permite optimizar la captura de radiación solar incidente en el panel fotovoltaico, considerando su orientación y la incidencia de la luz solar a lo largo del día y el año.

$$FI = 1 - [1, 2 \times 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2]$$

$$FI = 1 - [1, 2 \times 10^{-4} \cdot (10 - 5, 824)^2]$$

$$FI = 0, 997$$

Se estima la irradiación global horizontal en el mes de enero teniendo en cuenta las pérdidas por incidencia y sombreado ocasionadas por un direccionamiento no óptimo. En este escenario, se establece un factor de sombreado (FS) de 1 como valor ideal, ya que solo se dispone de la energía mensual y la ubicación. La Tabla 9 presenta los valores de la irradiación global horizontal (GHI) para cada mes del año, considerando el ángulo de inclinación (α) y el ángulo de azimut (β) del panel fotovoltaico.

$$GHI(\alpha, \beta) = GHI(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$$

$$GHI(\alpha, \beta) = 4, 341 \cdot 1, 006 \cdot 0, 997 \cdot 1$$

$$GHI(\alpha, \beta) = 4, 345$$

Factor de planta

En base a la irradiación global horizontal sobre la superficie del panel fotovoltaico inclinado y la radiación máxima que recibe sobre un área determinada (1 kW/m^2), se puede determinar el número promedio de horas sol pico al día dividiendo la irradiación global horizontal entre la radiación máxima. Este cálculo proporciona una estimación del tiempo promedio durante el cual el panel fotovoltaico está recibiendo radiación solar máxima en un día típico.

$$HSP = \frac{GHI(\alpha, \beta) \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}}{1 \text{ kW/m}^2}$$

Donde:

HSP: Horas sol pico. [h]

FLP: Factor de planta. [p,u]

$$HSP = \frac{4, 123 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}}{1 \text{ kW/m}^2} = 4, 123 \text{ h.dia}$$

Tabla 9: Irradiación promedio en base a la inclinación óptima

Mes	kWh/m ² día
1	4,354871941
2	4,112441268
3	4,214556021
4	4,18959894
5	3,794136606
6	3,300847863
7	3,906018828
8	3,771682585
9	4,43386424
10	4,158492627
11	4,643089795
12	4,719031863
Promedio	4,133219381

Para estimar el factor de planta, primero multiplicamos el número de horas sol pico por el rendimiento global del sistema fotovoltaico. Luego, para considerar las pérdidas, del rendimiento global, ya que se estima que estas pérdidas representan el 30 % del rendimiento total. Esto nos da el 70 % restante del rendimiento global de la instalación, que es el factor de planta ajustado por pérdidas

$$F_{PL} = \frac{HSP[h]}{24[h]} \cdot RG[p, u]$$

$$F_{PL} = \frac{4,123[h]}{24[h]} \cdot 0,70[p, u] = 0,120552232$$

Potencia nominal del sistema fotovoltaico

Para estimar la potencia nominal del sistema fotovoltaico, primero calculamos la energía anual consumida multiplicando el consumo mensual promedio por 12 meses. Luego, multiplicamos esta energía anual consumida por el factor de planta, que representa la fracción del tiempo en que el sistema fotovoltaico está generando energía. En este caso, con un factor de planta de 0.0583 y 8760 horas al año, obtenemos la energía generada por el sistema durante un año.

Dado que se trata de un sistema híbrido, multiplicamos la energía genera-

da anualmente por el sistema fotovoltaico por 0.70 para obtener la potencia nominal del sistema, lo que asegura que pueda cubrir el 70% del consumo mensual promedio del cliente residencial en un sistema híbrido.

$$P_{NFV} = \frac{\int_{mes1}^{mes12} E_{mensual} (kWh)}{F_{PL} \cdot 8760 (h)} \left[\frac{h}{dia} \right]$$

Donde:

P_{NFV} : Capacidad nominal instalada del sistema FV o potencia AC del in-
versor . [kW]

$E_{mensual}$: Energía mensual consumida. [kWh]

F_{PL} : Factor del planta del sistema FV. [%]

$$P_{NFV} = \frac{70\% \cdot 221,04 kWh \cdot 12}{0,120552232 \cdot 8760 (h)}$$

$$P_{NFV} = 1,758221 kW$$

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

En el diseño de la tecnología fotovoltaica, el proceso comienza con la selección del panel solar. En este caso, se opta por un panel solar de 465 Watts y 144 celdas Mono-Cristalino, perteneciente a la marca Ecosolar. Las especificaciones técnicas del panel se encuentran detalladas en el Anexo B. El número total de paneles necesarios depende de la potencia a instalar de la planta y de la potencia nominal del panel solar seleccionado.

$$\text{Numero total de paneles} = \frac{P_{\text{Total instalada}}}{P_{\text{Nominal Panel}}}$$

$$\text{Numero total de paneles} = \frac{1758,210 W}{465 W}$$

$$\text{Numero total de paneles} = 3,7810 \approx 4$$

Dimensionamiento del área

El área que se necesita para implementar la planta fotovoltaica se determina al multiplicar el área del panel por el número de paneles.

Área del panel solar

$$Area_{panel} = b \cdot h$$

$$Area_{panel} = 2,094 m \cdot 1,038 m$$

$$Area_{Panel} = 2,1725 m^2$$

Área efectiva de la planta

$$Area_{Efectiva\ Planta} = Area_{Panel} \cdot \text{Numero de paneles}$$

$$Area_{Efectiva\ Planta} = 2,1735 m^2 \cdot 4$$

$$Area_{Efectiva\ Planta} = 8,694 m^2$$

Para el área aproximada de la planta fotovoltaica, se suma el área efectiva de la planta más 20 % de la misma área.

Energía generada diaria

La cantidad de energía que puede producir la planta, está en función de la radiación del lugar, el área efectiva de paneles fotovoltaicos y potencia producida.

$$P_p = N_{Total} \cdot P_{Panel}$$

$$P_p = 4 \cdot 465 W_P$$

$$P_p = 1,860 kW$$

Utilizando la $GHI(\alpha, \beta)$ para el mes de enero se estima la energía generada diaria que genera.

$$E_d = \frac{P_P \cdot GHI(\alpha, \beta) \cdot RG}{GCEM}$$

$$E_d = \frac{1,84 kW_P \cdot 4,354 kWh/m^2 \cdot dia \cdot 0,7}{1 kW/m^2}$$

$$E_d = 5,609 kWh/m^2 \cdot dia$$

En la Tabla 10 se presenta la estimación de la energía generada para cada mes en kWh/día.

Tabla 10: Energía generada sistema solar

Mes	kWh/m ² día	kWh/m ² mes
1	5,60907506	168,272252
2	5,29682435	158,904731
3	5,42834815	162,850445
4	5,39620343	161,886103
5	4,88684795	146,605438
6	4,25149205	127,544761
7	5,03095225	150,928567
8	4,70121984	141,036595
9	5,71081714	171,324514
10	5,3561385	160,684155
11	5,98029966	179,40899
12	6,07811304	182,343391

3.3.3. Dimensionamiento del generador Diesel

Generación Diesel

El generador diésel tiene como objetivo transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Estos sistemas, que generalmente son plantas estacionarias, se utilizan principalmente en situaciones de emergencia para satisfacer la demanda de energía eléctrica [24].

La estructura de este sistema de generación, con los avances en la tecnología, se ha vuelto casi relativamente sencilla en comparación con la implementación de energías renovables. La potencia máxima que podría ser eventualmente solicitada al generador, el cual tiene un factor de potencia de 0,8 (un valor estándar para todos los alternadores de corriente alterna) [25].

$$P_D = \frac{P}{0,8} \quad (4)$$

Donde:

P_D : Potencia del generador kVA

P : Potencia instalada W

$$P_D = \frac{5000W}{0,8} \quad (5)$$

$$P_D = 6250kVA \quad (6)$$

Con este valor en mente, seleccionamos un generador eléctrico de 5 kVA, específicamente el generador diésel Kolvok GS700D - 5 kVA (Anexo C), el cual es monofásico. Las características técnicas detalladas de este generador se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Características técnicas del generador diésel Kolvok 10kVA

Kolvok GS700D - 5 kVA	
Voltaje	230V
Fases	Monofásico
Corriente Nominal	21,7A
Potencia Nominal	5kW / 5kVA
Potencia Máxima	5,5kW / 5,5kVA
Regulación de Voltaje	AVR
Factor Potencia	1 (coseno de φ)

3.3.4. Almacenamiento de energía en baterías

El banco de baterías tiene la función de almacenar energía, proporcionando autonomía y disponibilidad de energía eléctrica durante días en los que los sistemas renovables dejen de funcionar o entren en mantenimiento. Esto garantiza una mayor confiabilidad, seguridad, continuidad y calidad del suministro eléctrico [13].

En un sistema híbrido, el banco de baterías también tiene la capacidad de proporcionar energía cuando el sistema experimenta una disminución de potencia en cualquiera de sus fuentes principales, ya sea eólica o solar. Esto asegura una operación estable y continua del sistema, incluso en condiciones adversas o variables.

3.3.5. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

Capacidad del banco de baterías:

$$C_{Bat} = \frac{D_{Total} * n}{P_{DD} * V} \quad (7)$$

Donde:

D_{Total} : demanda de energía diaria

P_{DD} : profundidad de descarga de la batería
 V : voltaje del banco de Batería
 n :Dias de autonomia n=1

Se ha seleccionado una batería de gel de vida útil prolongada con una capacidad de 150Ah a 12VDC y una profundidad de descarga del 50 % (Anexo D). Las características detalladas de la batería se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Características técnicas de la batería de Gel 150Ah/12VDC

Batería Gel 150Ah-12VDC	
Dimensiones	30 x 21 x 17 cm
Peso	30 kg
Tecnología	GEL
Voltaje	12V
Capacidad	150Ah C50
Ciclos De Vida Útil A 30 % DOD	2600
Ciclos De Vida Útil A 50 % DOD	1600
Ciclos De Vida Útil A 100 % DOD	500
Origen	China

El voltaje de funcionamiento se determina en función de la capacidad de los inversores, siguiendo las pautas recomendadas por fabricantes [31] establecidas en la Tabla 13.

Tabla 13: Características de voltaje de un inversor

Voltaje	Potencia
12 VDC	2000 - 3000 W
24 VDC	5000 - 6000 W
48 VDC	Mayor a 7000W

$$C_{Bat} = \frac{7,37 \frac{kWh}{dia} * 1 dias}{0,5 * 24V}$$

$$C_{Bat} = 614,16Ah$$

Numero de baterías en serie

$$\text{NumeroBateriaSerie} = \frac{V_n}{V_n \text{Bat}} \quad (8)$$

$$\text{NumeroBateriaSerie} = \frac{24}{12}$$

$$\text{NumeroBateriaSerie} = 2$$

Numero de baterías en paralelo

$$\text{NumeroBateriaParalelo} = \frac{C_{\text{Bat}}}{Ah_{\text{Bat}}} \quad (9)$$

$$\text{NumeroBateriaParalelo} = \frac{614,16Ah}{150Ah}$$

$$\text{NumeroBateriaParalelo} = 4,09 \approx 4$$

Número total de baterías

$$\text{NumeroBateriaTotal} = \text{NumeroBateriaSerie} * \text{NumeroBateriaParalelo} \quad (10)$$

$$\text{NumeroBateriaTotal} = 2 * 4$$

$$\text{NumeroBateriaTotal} = 8$$

Capacidad del banco de baterías

$$\text{CapBancoTotal} = \text{NumeroBateriaParalelo} \cdot Ah_{\text{Bat}} \quad (11)$$

$$\text{CapBancoTotal} = 4 \cdot 150Ah$$

$$\text{CapBancoTotal} = 600Ah$$

Debe cumplir

$$\text{CapBancoTotal} \geq C_{\text{Bat}} \quad (12)$$

$$600Ah \geq 614,16Ah$$

3.4. Simulación de la sistema híbrido

Para el diseño del sistema híbrido, se emplea el software de optimización en energías Homer Pro, el cual permite ingresar datos de ubicación del sitio del proyecto junto con información de la estación meteorológica. La estación meteorológica proporciona datos como la radiación media, la velocidad promedio del viento y la temperatura promedio diaria por mes en Irquis. Además, el software optimiza la infraestructura necesaria para cubrir la demanda energética del hogar residencial.

Utilizando datos recopilados sobre costos de implementación y mantenimiento, se calcula la inversión requerida considerando la vida útil del sistema. La simulación del sistema ofrece la mejor opción para la generación eléctrica residencial, y se evalúa el comportamiento de la implementación de plantas de generación solar y eólica basándose en datos meteorológicos.

La implementación comienza con la ubicación del sitio y la consideración de los datos meteorológicos de la estación de Irquis. El programa optimiza los recursos disponibles y estima la cantidad y el tiempo de generación de energía, así como el reemplazo de equipos a lo largo de su vida útil, incluyendo paneles solares, aerogeneradores, grupos electrógenos de respaldo y sistemas de almacenamiento con baterías.

Los resultados del software proporcionan un criterio de selección para la mejor opción de implementación de energía, considerando factores como el costo y la capacidad de generación durante diferentes momentos del día, así como estimaciones anuales.

La estimación de la demanda diaria según el optimizador se presenta en la Figura 14, mostrando variaciones a lo largo del día y sumando un consumo total aproximado de 7,37 kWh/día.

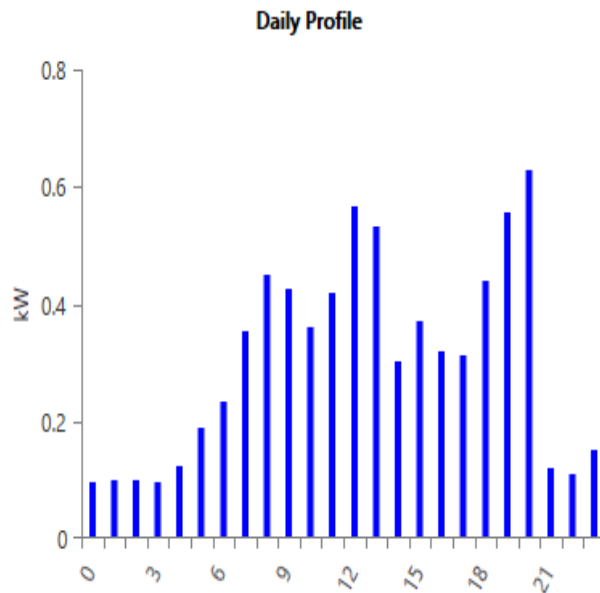


Figura 14: *Potencia consumida en un día*

En la Figura 15 se presenta el consumo de energía anual dividido por mes, confirmando una tendencia similar en los cálculos. Se observa que las horas de mayor demanda, que van de las 6 a las 18 horas, muestran un aumento en la carga energética debido al consumo residencial.

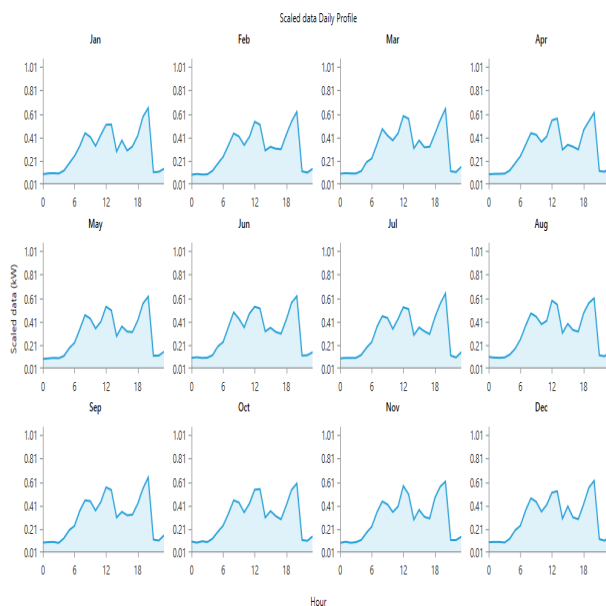


Figura 15: *Curva de potencia por mes*

3.4.1. Recursos renovables de la ubicación geográfica

Para evaluar los recursos renovables disponibles en una ubicación geográfica específica, es importante considerar varios aspectos:

Radiación Solar: La cantidad de radiación solar recibida en la región a lo largo del año.

Velocidad del Viento: La velocidad y la dirección del viento en la zona, ya que es crucial para la viabilidad de la energía eólica.

El análisis del sistema de implementación en la localidad de Iruquis se fundamenta en su ubicación geográfica precisa, caracterizada por una radiación global media Figura 16 de 4,11 kWh/m² día y un índice de claridad del 0.4, así como una temperatura media Figura 17 de 12,67°C y una velocidad promedio del viento Figura 18 de 2,73 m/s.

La presencia de una estación meteorológica en la misma zona facilita la realización de un estudio detallado para la implementación de un sistema híbrido que aproveche los recursos naturales disponibles. Esta estrategia permitiría prescindir del uso de energías convencionales como la hidroeléctrica.

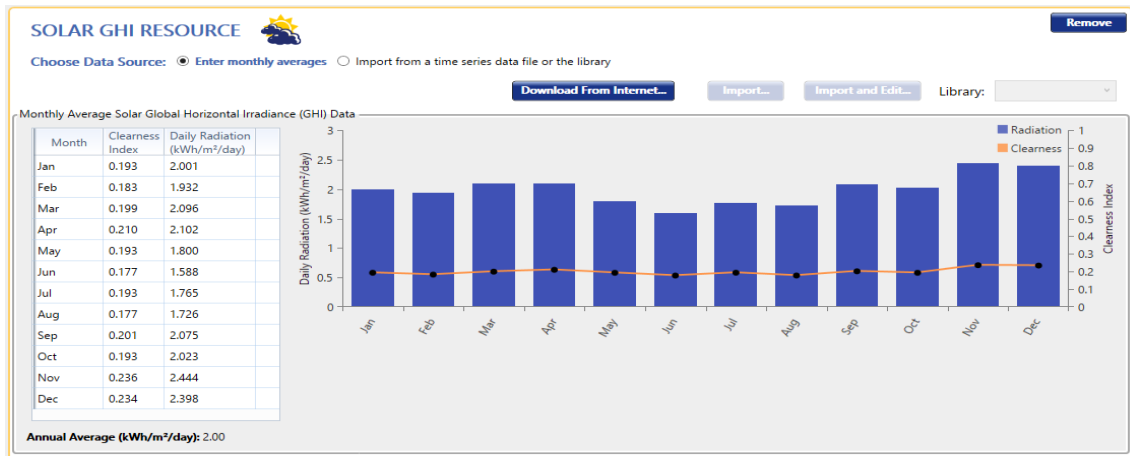


Figura 16: Recursos climáticos de la zona Irquis caracterizada por una radiación global mínima

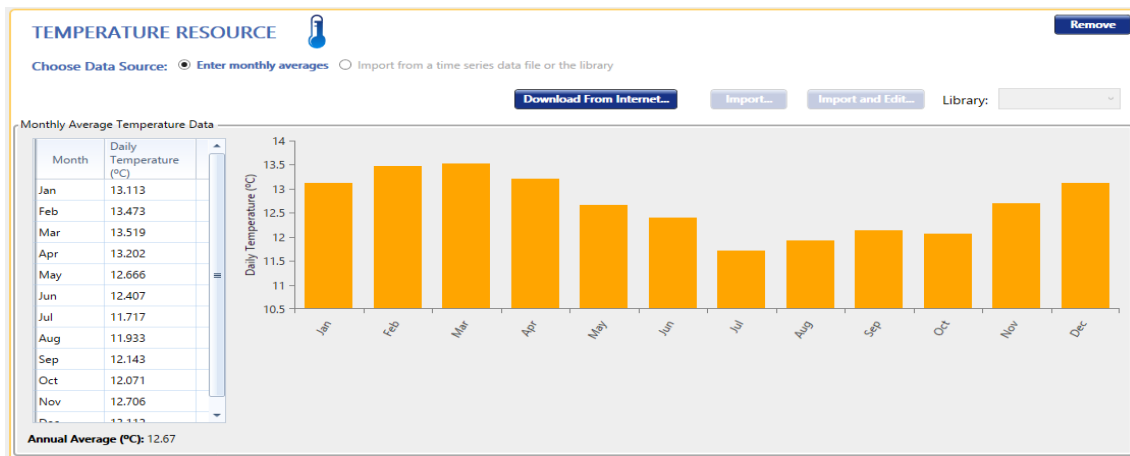


Figura 17: Recursos climáticos de la zona Irquis caracterizada en una temperatura media

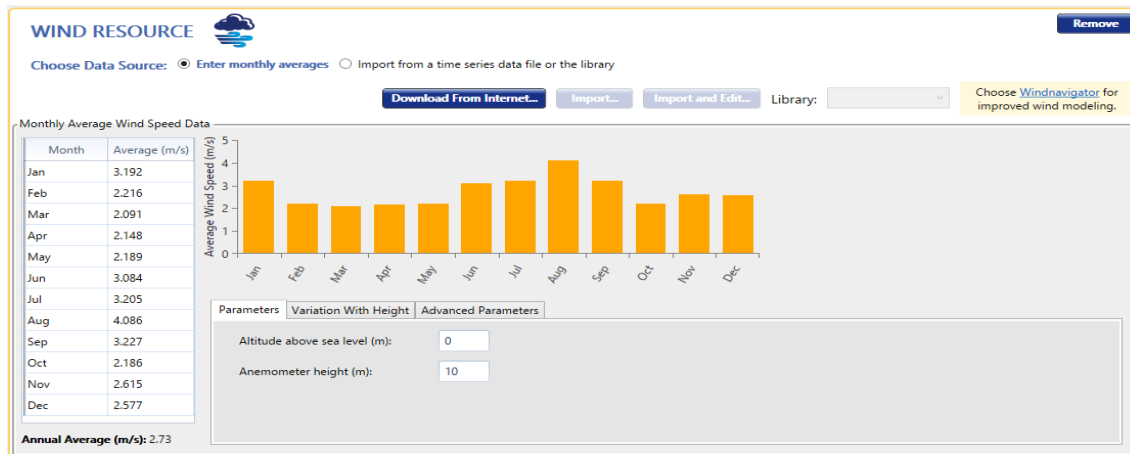


Figura 18: Recursos climáticos de la zona Irqis caracterizada por velocidad promedio del viento

Dado el desafío de escasez energética en Ecuador, la adopción de un sistema híbrido sería una solución de largo plazo invaluable, especialmente en entornos residenciales. Este sistema ofrecería una fuente de energía confiable y sostenible a lo largo del año, con un margen del 5% para evitar costos excesivos debido a la falta de suministro. Al aprovechar las condiciones climáticas locales, se generaría electricidad de manera eficiente, lo que reduciría significativamente la dependencia de fuentes de energía convencionales y no renovables.

Al recopilar y analizar esta información, se puede determinar el potencial de recursos renovables de una ubicación geográfica y diseñar estrategias para aprovecharlos de manera sostenible y eficiente.

3.5. Resultados de simulación

Los resultados de la simulación proporcionan información crucial sobre el rendimiento y la eficacia del sistema híbrido de generación de energía. Estos resultados ofrecen una visión detallada de diversos aspectos, como la producción de energía, el consumo, la eficiencia del sistema y el cumplimiento de la demanda energética.

En particular, los resultados de la simulación incluyen:

- Producción de Energía: Detalla la cantidad de energía generada por

cada fuente de energía renovable (solar, eólica, electrógena.) a lo largo del período simulado.

- Consumo de Energía: Se analiza el consumo de energía de los dispositivos conectados al sistema.
- Balance Energético: Se evalúa si el sistema es capaz de satisfacer la demanda energética del hogar en todo momento o si hay déficits energéticos en ciertos períodos.
- Costos y Ahorros: Se estiman los costos de implementación y operación del sistema.
- Impacto Ambiental: Se puede evaluar el impacto ambiental del sistema híbrido.

En la simulación realizada con el software Homer Pro, determina la mejor configuración de funcionamiento del sistema híbrido. Esta configuración combina la capacidad para satisfacer la demanda de energía y optimiza la eficiencia de los recursos tanto en la generación como en el mantenimiento de los equipos.

La implementación de la arquitectura del sistema, según los resultados del software, se divide en tres etapas, tal como se ilustra en la Figura 19. En la primera etapa, denominada etapa de AC, el generador diésel que provee de energía directamente a la residencia. La segunda etapa abarca la parte donde se encuentra la carga del sistema y el conversor que transforma los voltajes a corriente continua (DC). La última etapa implica la entrada en DC a través de los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador, así como el almacenamiento mediante baterías.

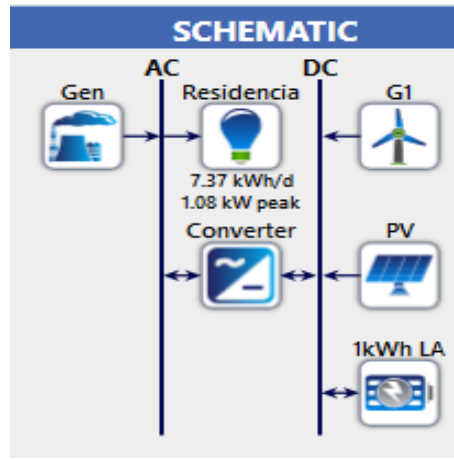


Figura 19: *Diagrama del sistema híbrido*

El diseño integrado aprovecha la energía generada por fuentes renovables como la solar y la eólica, junto con un grupo electrógeno como respaldo en caso de necesidad o condiciones climáticas desfavorables. Además, el almacenamiento en baterías permite gestionar y distribuir la energía de manera eficiente, garantizando un suministro continuo y confiable para la residencia. Al utilizar energía solar, eólica, grupo electrógeno y almacenamiento en baterías en la localidad de Iruquis está destinado a satisfacer las necesidades energéticas de una residencia con un consumo proyectado de 221 kWh al mes y 7.37 kWh al día.

La Figura 20 presenta la proyección de costos para un período de vida útil de 20 años y calcula el factor de recuperación. Dado que este sistema combina varias fuentes de suministro, su implementación conlleva un costo inicial considerable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este costo inicial se amortiza a lo largo del tiempo gracias a los ahorros en el consumo de energía y los potenciales ingresos derivados de la generación de energía excedente que pueda ser vendida a la red eléctrica.

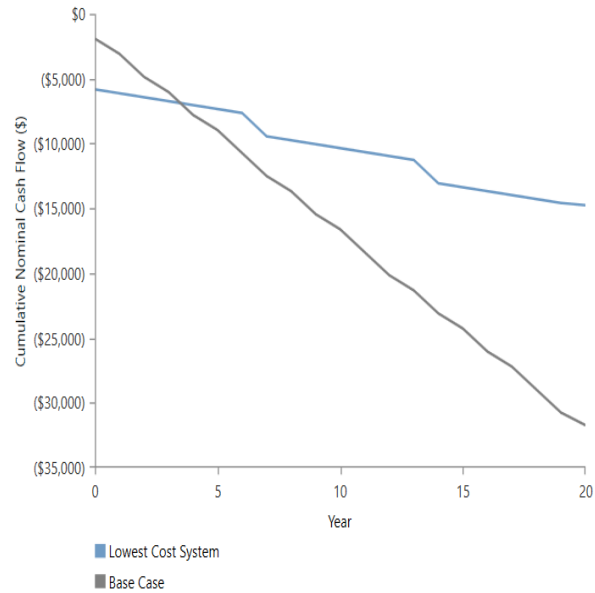


Figura 20: *Proyección de costo beneficio del sistema híbrido*

3.5.1. Resultado de la optimización

Los resultados de la simulación proporcionan una evaluación integral del rendimiento y la eficiencia del sistema híbrido de generación de energía. Esta evaluación incluye información detallada sobre la producción de energía, el costo de implementación costo de operación, la eficiencia del sistema y la capacidad para satisfacer la demanda energética proyectada.

Caso A

En la Figura 21 se presenta el resultado de optimización, donde la arquitectura utilizada para satisfacer la demanda consiste en paneles solares y almacenamiento de energía. Este enfoque se basa en aprovechar al máximo la energía solar y almacenar el excedente para su uso posterior, lo que puede resultar en un sistema más sostenible y eficiente a largo plazo.

El costo total estimado para este sistema es de \$9454. Este costo comprende todos los gastos asociados con la adquisición, instalación y operación del sistema durante su vida útil. Al evaluar este costo en relación con los beneficios esperados, como el suministro continuo de energía y la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables, se puede determinar la

viabilidad y rentabilidad del proyecto.

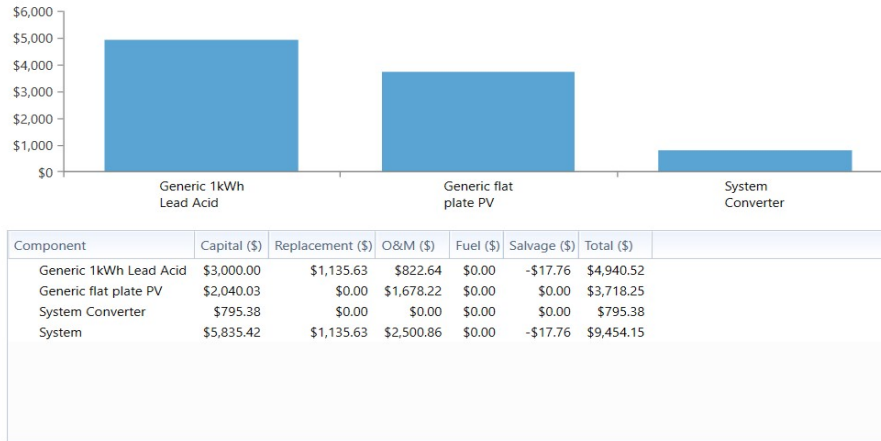


Figura 21: *Estimación de costo del sistema híbrido*

En la Figura 22 se evidencia una reducción en los costos asociados al diseño del sistema híbrido. Esta reducción se debe principalmente a un menor costo por concepto de mantenimiento, lo que indica una mayor eficiencia en la gestión y operación del sistema a lo largo de su vida útil.

Además, se observa un valor de salvamento de \$130. Este valor representa el posible ingreso derivado de la venta de los componentes del sistema al final de su vida útil. La combinación de un menor costo de mantenimiento y un valor de salvamento contribuye a una mejora en la rentabilidad y la viabilidad económica del proyecto a largo plazo.

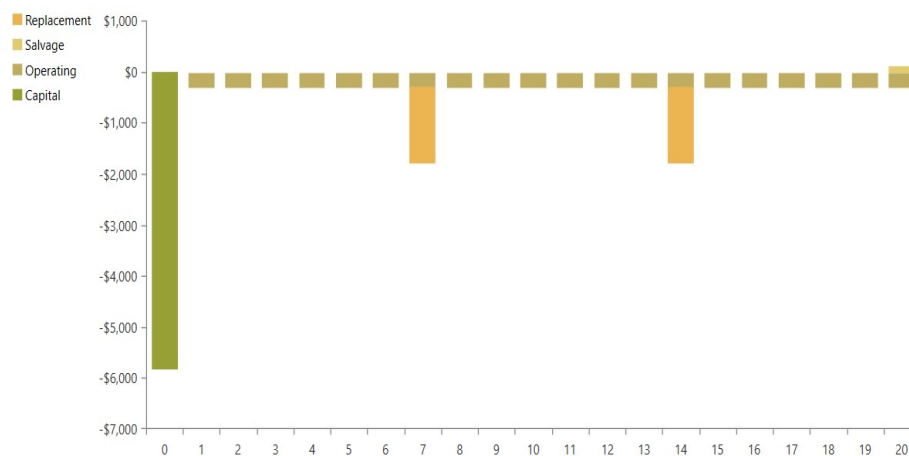


Figura 22: *Flujo de fondos del sistema híbrido*

En la Tabla 14 se muestra la cantidad total de energía producida durante el año mediante paneles solares, la cual es suficiente para cubrir el 100 % de la demanda energética. Esto indica que el sistema de paneles solares es capaz de generar toda la energía necesaria para abastecer el consumo proyectado durante el período analizado.

Tabla 14: Producción de energía

Producción	kWh/año	%
Paneles PV	7492	100
Total	7492	100

En la Figura 23 se presenta gráficamente cómo se distribuye la generación de energía a lo largo del año para cubrir la demanda. Esta representación visual permite observar cómo varía la producción de energía solar a lo largo de las estaciones y cómo se ajusta para satisfacer la demanda en diferentes momentos del año.

Tanto la tabla como la figura proporcionan información valiosa sobre el rendimiento del sistema de paneles solares, su capacidad para cubrir la demanda energética y su variabilidad estacional, lo que facilita la evaluación y el análisis de su eficacia y eficiencia en la generación de energía.

Production	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	7,492	100
Total	7,492	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	2,599	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	2,599	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	4,570	61.0
Unmet Electric Load	91.1	3.39
Capacity Shortage	137	5.09

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	100	%
Max. Renew. Penetration	3,341	%

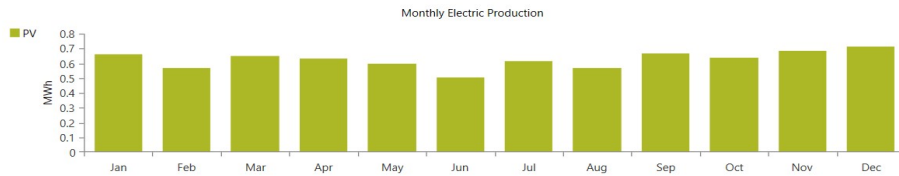


Figura 23: *Producción de energía por mes*

En la Figura 24 se evidencia cómo el software optimiza y ordena los recursos disponibles. Al analizar un día específico, se observa que, durante el transcurso del día, la producción solar genera energía que cubre un porcentaje de la demanda eléctrica. Además, el excedente de energía generado se almacena en las baterías para su uso posterior.

Durante la noche, cuando la producción solar es nula, el sistema utiliza la energía almacenada en las baterías para satisfacer la demanda energética. Este proceso de almacenamiento y utilización eficiente de la energía garantiza un suministro continuo y confiable, incluso en momentos de baja o nula producción solar.

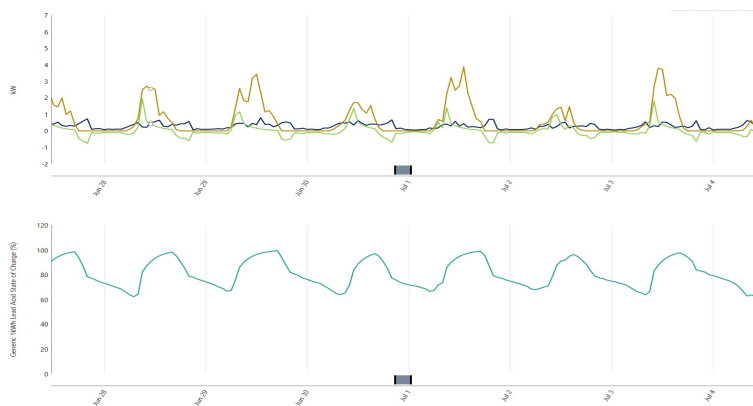


Figura 24: *Producción de energía por mes*

Caso B

En la Figura 25 se representa el costo asociado a la generación de energía mediante paneles fotovoltaicos, un generador diésel y almacenamiento en baterías. El costo total del sistema se estima en \$9987. Esta cifra comprende todos los gastos relacionados con la adquisición, instalación y puesta en marcha de los componentes necesarios para la operación del sistema híbrido por el tiempo de vida de 20 años.

El análisis detallado de estos costos proporciona una visión clara de la inversión requerida para implementar y mantener el sistema de generación de energía. Además, esta información es fundamental para evaluar la viabilidad económica del proyecto y calcular el período de recuperación de la inversión.

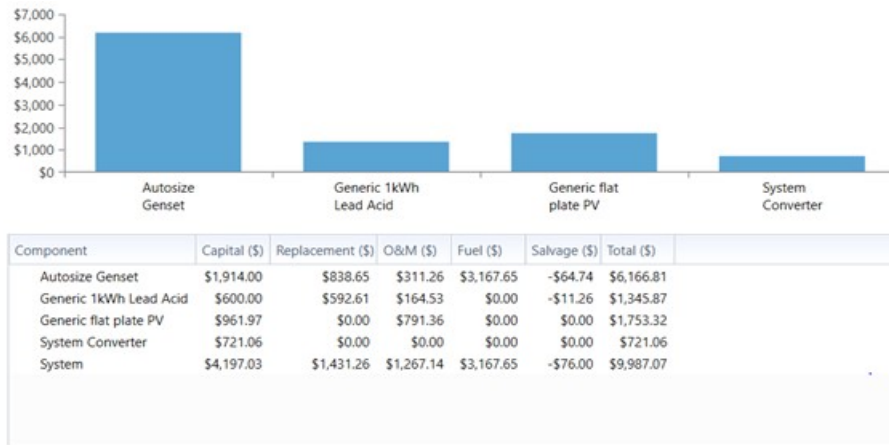


Figura 25: *Estimación de costo del sistema híbrido*

En la Figura 26 se observa que al final del período de vida útil del sistema, se estima un valor de salvamento de \$560 para la arquitectura compuesta por paneles solares y un generador diésel. Este valor representa el valor residual o el valor de reventa de los componentes del sistema al final de su vida útil.

Tabla 15: Producción de energía caso B

Producción	kWh/año	%
Paneles PV	3533	74,5
Generador Diesel	1212	25,5
Total	4745	100

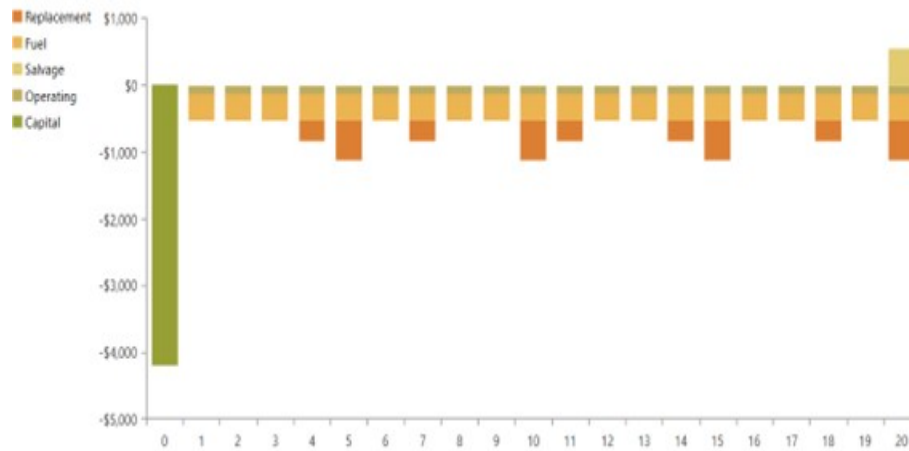


Figura 26: *Flujo de fondos del sistema híbrido*

En la Tabla 15 se presenta la distribución de la energía producida por los paneles solares y el generador diésel. Se observa que el factor de utilización de energía renovable es del 74,5%. Esto indica la proporción de la demanda energética que es cubierta por fuentes de energía renovable en comparación con el total de la demanda.

Por otro lado, en la Figura 27 se presenta gráficamente cómo se distribuye la generación de energía a lo largo del año para cubrir la demanda. Esta representación visual permite observar cómo varía la producción de energía solar a lo largo de las estaciones y cómo se ajusta para satisfacer la demanda en diferentes momentos del año.

Tanto la tabla como la figura proporcionan información valiosa sobre el rendimiento del sistema de paneles solares, su capacidad para cubrir la demanda energética y su variabilidad estacional, lo que facilita la evaluación y el análisis de su eficacia y eficiencia en la generación de energía.



Figura 27: Producción de energía por mes

Caso C

La Figura 28 18 muestra el costo de implementación de una arquitectura que incorpora un aerogenerador para aprovechar el recurso eólico. Esta opción, si bien ofrece la ventaja de aprovechar una fuente adicional de energía renovable, conlleva un costo más elevado en comparación con otras arquitecturas.

El costo total del sistema se estima en \$17473. Este costo incluye todos los gastos asociados con la adquisición, instalación y puesta en marcha del aerogenerador y otros componentes necesarios para su operación.

Aunque la inversión inicial pueda ser mayor, esta opción puede ser beneficiosa a largo plazo al diversificar las fuentes de energía y aumentar la resiliencia del sistema frente a condiciones climáticas variables. Además, la generación adicional de energía eólica puede contribuir a reducir los costos operativos a lo largo del tiempo y mejorar la autonomía energética del sistema.



Figura 28: *Estimación de costo del sistema híbrido*

En la Figura 29 se muestra que los costos de operación están equilibrados para la arquitectura que incorpora el aerogenerador. Aunque se mantiene un equilibrio en los costos operativos, se observa que el valor de salvamento a largo plazo es relativamente bajo, siendo de \$426 en comparación con otras arquitecturas.

Este valor de salvamento más bajo puede deberse a varios factores, como la depreciación de los activos a lo largo del tiempo, la vida útil esperada de los componentes del aerogenerador y otros costos asociados con su mantenimiento y desmantelamiento al final de su vida útil.

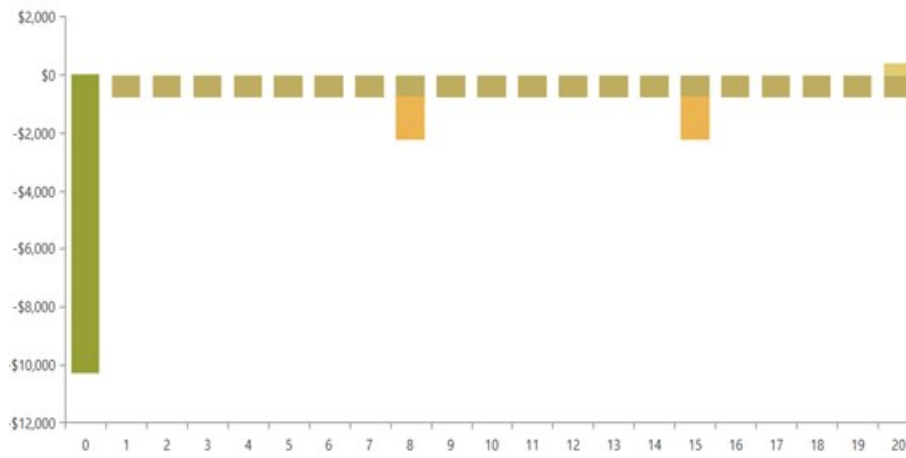


Figura 29: *Flujo de fondos del sistema híbrido*

En la Tabla 16 se muestra que la producción de energía se distribuye con un 94,6% generada por energía solar y un 5,37% por energía eólica. Esto indica que la mayoría de la energía proviene de fuentes solares, mientras que una parte más pequeña proviene de la energía eólica.

Producción	kWh/año	%
Paneles PV	6566	94,6
Aerogenerador	373	5,37
Total	6939	100

En la Figura 30 se ilustra la producción de energía utilizando esta arquitectura a lo largo de los meses del año. Se observa que, durante los meses de julio, agosto y septiembre, donde hay una mayor cantidad de recurso eólico disponible, se aprovecha para generar energía de este tipo. Esto demuestra una estrategia inteligente de aprovechamiento de los recursos disponibles, donde se ajusta la producción de energía según las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos renovables, lo que optimiza la eficiencia y la rentabilidad del sistema híbrido de generación de energía.

Production	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	6.566	94.6
Generic 1 kW	373	5.37
Total	6.939	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	2,610	100
DC Primary Load	0	0
Deferable Load	0	0
Total	2,610	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	4.023	58.0
Unmet Electric Load	80.2	2.98
Capacity Shortage	127	4.72

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	100	%
Max. Renew. Penetration	2.942	%

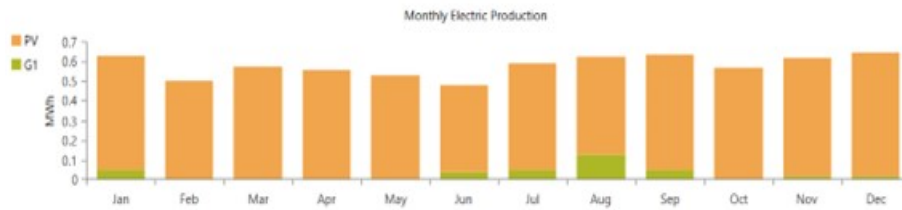


Figura 30: Producción de energía por mes

3.6. Análisis de costos y viabilidad económica

3.6.1. Análisis de resultados

Basado en los resultados de la optimización, se concluye que el recurso más abundante para el sistema de implementación es la energía solar, y que esta es capaz de abordar satisfactoriamente la demanda energética. La Tabla 17 presenta la cantidad de energía producida por los distintos sistemas de generación, así como los costos asociados con la implementación, inversión, mantenimiento y operación para cada tipo de arquitectura. Esta información es fundamental para evaluar la viabilidad y rentabilidad de cada opción de diseño del sistema híbrido de generación de energía. Al comparar los costos y beneficios de cada arquitectura, se puede tomar una decisión informada sobre la configuración óptima del sistema que satisfaga los requisitos de demanda energética de manera eficiente y económica.

Tabla 17: Resultados de optimización del sistema híbrido

Arquitectura					Costos			Aporte Renovable	
Solar (kW)	Eólica	Diesel (kW)	Almacenamiento	Convertidor (kW)	Cost/NPC (\$)	Cost/COE (\$)	Cost Operación (\$/yr)	Cost/Initial capital (\$)	System/Ren Frac (%)
6,26			10	0,85525	9454,15	0,4421	439	5835	100
2,95		1,2	2	0,77533	9987,06	0,4513	703	4197	54,9
5,48	1		10	0,82314	17473,17	0,8138	873	10283	100

Los resultados destacan la importancia de una gestión eficiente y una planificación adecuada en el diseño y operación de sistemas híbridos de generación de energía, lo que puede conducir a reducciones significativas en los costos y una mayor sostenibilidad económica; lo que se verifica que el sistema que combina la energía solar con el almacenamiento es suficiente para cubrir la demanda.

3.6.2. Costo de implementación

La evaluación de la viabilidad económica de implementar un sistema híbrido de generación implica considerar una serie de factores fundamentales. Esto abarca desde los costos iniciales de adquisición e instalación de los componentes necesarios, hasta los gastos operativos continuos como el mantenimiento y el monitoreo. Además, se deben tener en cuenta los posibles ahorros en el consumo de energía y la disponibilidad de incentivos o subsidios. Es crucial llevar a cabo un análisis financiero exhaustivo que contemple los flujos de efectivo, el retorno de la inversión (ROI), la tasa interna de retorno (TIR) y otros indicadores financieros relevantes. Al considerar estos elementos, es posible determinar la rentabilidad y el período de recuperación de la inversión a

lo largo del tiempo para la implementación del sistema híbrido de generación. La puesta en marcha de un sistema híbrido en la comunidad de Iruquis, destinado a proveer energía a una residencia completamente autónoma. Este sistema integraría tecnologías fotovoltaicas y generadores eólicos, almacenamiento en baterías, respaldado por un sistema electrógeno. En la tabla adjunta se detalla el costo de los equipos para la implementación de este proyecto.

Tabla 18: Elementos del sistema de generación híbrido

Elementos de una estación de generación híbrida			
Equipo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Paneles solares 150 w	4	\$150	\$600
Aerogenerador	1	\$4730	\$4730
Generador Diesel	1	\$1595	\$1595
Baterías de gel	8	\$425	\$3400
Inversores - Convertidor	1	\$930	\$930
Cableado	1	\$500	\$500
Interruptor térmico	1	\$200	\$200
Terminales y bornes	1	\$300	\$300
Estructura de soporte	1	\$1200	\$1200
Total			\$13455

Los materiales mencionados en la sección previa constituyen los componentes empleados en el sistema de generación. Es crucial destacar que, al evaluar la rentabilidad del proyecto, es imprescindible tener en cuenta los costos asociados a la infraestructura civil para el presupuesto total.

Después de analizar detenidamente los costos de los elementos necesarios en el mercado para la implementación de un sistema híbrido, se examina la viabilidad económica con el objetivo de lograr una implementación rentable a lo largo plazo.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INEC), Cuenca es la ciudad con el ingreso laboral más alto y la mayor tasa de empleo adecuado. En el primer trimestre de 2022, la mediana del ingreso en Cuenca fue de \$343, \$26 más que en el mismo período del año anterior.

Exactamente, si los resultados de la optimización muestran que el recurso más abundante es la energía solar y que esta puede satisfacer la demanda

energética, entonces esto sugiere que las posibilidades económicas del sector donde se pretende implementar el sistema son favorables. Si los habitantes de la zona tienen un estilo de vida económicamente factible, significa que tienen la capacidad financiera para invertir en tecnologías de energía renovable, como paneles solares, y para cubrir los costos asociados con la implementación y operación del sistema.

Esto es una señal positiva para la viabilidad y la aceptación del sistema híbrido de generación de energía en la comunidad local. Además, la adopción de energías renovables puede proporcionar beneficios adicionales, como la reducción de costos a largo plazo, la seguridad energética y la mitigación del impacto ambiental, lo que contribuye al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad en su conjunto.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El diseño y la simulación de la estación híbrida de generación de energía para la comunidad de Irquis se llevó a cabo con éxito, utilizando el software de optimización Homer Pro. Se analizaron varios casos de configuración del sistema, considerando diferentes combinaciones de fuentes de energía renovable y de respaldo, así como el almacenamiento de energía.
- Los resultados obtenidos a través del software de optimización Homer Pro son cruciales para elegir la configuración óptima del sistema. Al considerar paneles fotovoltaicos, un generador diésel y almacenamiento en baterías, se identifica la opción más favorable. El costo total del proyecto se estima en \$9,987, lo que demuestra la viabilidad económica de la solución propuesta.
- Los resultados de la simulación mostraron que la energía solar es el recurso más abundante en la región y puede satisfacer la demanda energética de manera eficiente. Además, se evaluaron alternativas que incluían energía eólica y generadores diésel como complemento.
- La simulación indica que la demanda energética de la residencia puede ser completamente cubierta mediante el aprovechamiento del recurso solar, representando así un aporte del 100 % de energía renovable para el consumo. Esto subraya la capacidad del sistema solar para satisfacer las necesidades energéticas de manera sostenible y eficiente.
- Se realizaron proyecciones de costos a lo largo de un período de vida útil de 20 años para cada caso, considerando tanto los costos iniciales de implementación como los costos operativos y de mantenimiento. Se encontró que, en general, la implementación de sistemas híbridos de generación de energía puede ser rentable a largo plazo, especialmente cuando se optimizan las configuraciones para aprovechar al máximo los recursos renovables disponibles.

- La implementación de un sistema híbrido de generación de energía en Irquis, fundamentado principalmente en energía solar con el respaldo de otras fuentes renovables, se perfila como una solución sostenible y rentable para atender las necesidades energéticas de la comunidad a largo plazo. Esto se debe a que, según el análisis realizado, el sistema de generación fotovoltaica muestra un retorno de inversión más prometedor.
- El sistema de generación está respaldado por un sistema de almacenamiento en baterías, lo que garantiza el suministro de energía para cubrir toda la demanda durante un día completo en caso de fallo en los demás sistemas de generación. Esta capacidad de almacenamiento proporciona una importante seguridad energética y asegura la continuidad del suministro eléctrico, incluso en situaciones adversas.

4.2. Recomendaciones

- Es necesario llevar a cabo un estudio de mercado con el fin de evaluar la disponibilidad de proveedores de equipos y servicios necesarios para el sistema híbrido. Esto permitirá obtener mejoras significativas en los costos de diversos componentes utilizados. Además, es esencial gestionar la obtención de los permisos y licencias requeridos para la instalación del sistema.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis comparativo de la eficiencia entre un sistema híbrido autónomo y otro conectado a la red pública. Este análisis implica evaluar el desempeño y la viabilidad de ambas configuraciones, teniendo en consideración el empleo de energías renovables para disminuir el consumo de combustibles fósiles.
- Se sugiere realizar diseños con diversas configuraciones de paneles solares, ajustando tanto la potencia como la cantidad de módulos en función del espacio disponible para la instalación. Esta evaluación permitirá identificar la disposición óptima que maximice el rendimiento del sistema y satisfaga las necesidades energéticas.
- Es esencial considerar las características geográficas particulares del sitio de instalación al emplear el software Homer Pro para el diseño del sistema híbrido. Esto implica adaptar el ángulo de inclinación de

los paneles solares de acuerdo con la latitud del lugar, así como la disposición de la turbina eólica, dado que estas condiciones geográficas tienen un impacto significativo en la eficiencia y el rendimiento de los componentes renovables.

Referencias

- [1] J. Layton, “How wind power works,” *Howstuffworks*, 2006.
- [2] J. Bornay., *Aerogeneradores Bornay*. Bornay, 2008, pp. 1–44. [Online]. Available: https://www.monsolar.com/pdf/catalogo_aerogeneradores_bornay.pdf
- [3] TECHNOWIND., *AEROGENERADORES TECHNOWIND*. Bornay, 2013, pp. 2–11.
- [4] C. E. CENSUR., “Central eólica villonaco genera el 152 (por ciento) de lo planificado,” 2019, accedido 07-07-2022. [Online]. Available: <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/67-central-eolica-villonaco-genera-el-152-de-lo-planificado>
- [5] E. E. para la vida., “Proyecto eólico minas de huascachaca (pemh),” 2019, accedido 07-07-2022. [Online]. Available: <https://www.elecaustro.gob.ec/proyectos/proyecto-eolico-minas-de-huascachaca/>
- [6] “SISTEMA FOTOVOLTAICO,” <https://como-funciona.co/el-sistema-fotovoltaico/>, Oct. 2018, accessed: 2022-8-7.
- [7] HelioEsfera, “Tipos de células fotovoltaicas y sus paneles,” <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>, Dec. 2018, accessed: 2022-8-7.
- [8] “Energía solar fotovoltaica,” <https://www.zigor.com/sectores/energia/>, accessed: 2022-8-8.
- [9] “Plan maestro de electricidad,” <https://www.recursosyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/#>, accessed: 2022-8-8.
- [10] IRENA, *World Energy Outlook 2018*, /*Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series*, 2018, Ed. Statistics Time Series., 2018. [Online]. Available: www.irena.org
- [11] “Adoption of the paris agreement.”
- [12] CELECEP, “Plan maestro de electricidad,” 2016, accedido 07-07-2022. [Online]. Available: <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/plan-maestro-de-electricidad-2016-2025>

- [13] R. Baquerizo Basurto, H. D. Canchari Porto, J. L. Polo Orellana, I. Poma Montes, and R. D. Valenzuela Guzmán, “Evaluación de generación de energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento de energía con baterías (bees-storage) en la zona sur del país,” *UCE*, 2022. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/presentation/433572639/ddd>
- [14] J. Lian, Y. Zhang, C. Ma, Y. Yang, and E. Chaima, “A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems,” *Energy Conversion and Management*, vol. 199, p. 112027, 11 2019.
- [15] A. T. A. A. Carrillo Rosero, Carlos Mauricio, “Diseño y construcción de un sistema de control para un generador de energía renovable híbrido eólico-fotovoltaico ubicado en el sector de río blanco comunidad de yatzaputzán provincia de tungurahua,” B.S. thesis, 2020.
- [16] D. F. Galarza Anguisaca and D. I. Román Puga, “Metodología para el análisis factibilidad de generación de energía eléctrica a partir de energía eólica: caso de estudio en la parroquia yangana, provincia de loja,” B.S. thesis, 2021.
- [17] I. Mártil, “Las claves del funcionamiento de una turbina eólica,” *Público. DISPLAY CONNECTORS, SL*, vol. 1, no. 3, p. 1, Junio 2018.
- [18] V. Z. M. V. Neira González, Raúl Hernán, “Estudio de factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía solar fotovoltaica para el sector de garauzhí de la parroquia quingeo perteneciente a la ciudad de cuenca,” B.S. thesis, 2014.
- [19] ANTUSOLAR., *Aerogeneradores Eólicos*. Bornay, 2017, pp. 4–15.
- [20] E. V. V. C. N. P. F. Z. Ángel Párraga, Alexander Intriago, “Producción de energía eólica en ecuador,” *Ciencia Digital*, 2019.
- [21] G. de la Republica del Ecuador., “Pecuador consolida la producción eléctrica a partir de fuentes renovables,” 2019, accedido 07-07-2022. [Online]. Available: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
#

- [22] “Ministerio de energía y minas -ecuador,” <https://www.recursosyenergia.gob.ec>, accessed: 2022-8-8.
- [23] Iberdrola. (2023) Energía eólica. [Online]. Available: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>
- [24] Endesa. (2023) Generador eléctrico. [Online]. Available: <https://fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico>
- [25] J. Apz, “Ddd,” s. f. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/presentation/433572639/ddd>
- [26] M. Hualpa Huamán, “Sistemas híbridos eólico-solar,” 2018. [Online]. Available: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1032/HUALPA_HUAMANI_MAIMER_SISTEMAS_HIBRIDOS_EOLICO_SOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [27] G. F. Velasco and E. Cabrera, “Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de imbabura,” *CIENCIA*, vol. 13, no. 2, pp. 135–144, 2009.
- [28] X. Serrano-Guerrero, E. Cantos, J.-J. Feijoo, A. Barragán-Escandón, and J.-M. Clairand, “Optimal tilt and orientation angles in fixed flat surfaces to maximize the capture of solar insolation: A case study in ecuador,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 10, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/10/4546>
- [29] R. A. Naranjo Vargas, “Guía para el diseño de sistemas fotovoltaicos para el autoabastecimiento de unidades habitacionales,” Quito, 2022.
- [30] X. Serrano-Guerrero, D. Alvarez-Lozano, and S. F. L. Romero, “Influence of local climate on the tilt and orientation angles in fixed flat surfaces to maximize the capture of solar irradiation : A case study in cuenca-ecuador,” in *2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, 2019, pp. 1–6.
- [31] (s. f.) Cómo seleccionar un inversor para una instalación solar. Auto-Solar Blog. [Online]. Available: <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/como-seleccionar-un-inversor-para-una-instalacion-solar>

5. ANEXOS

A. Anexo A

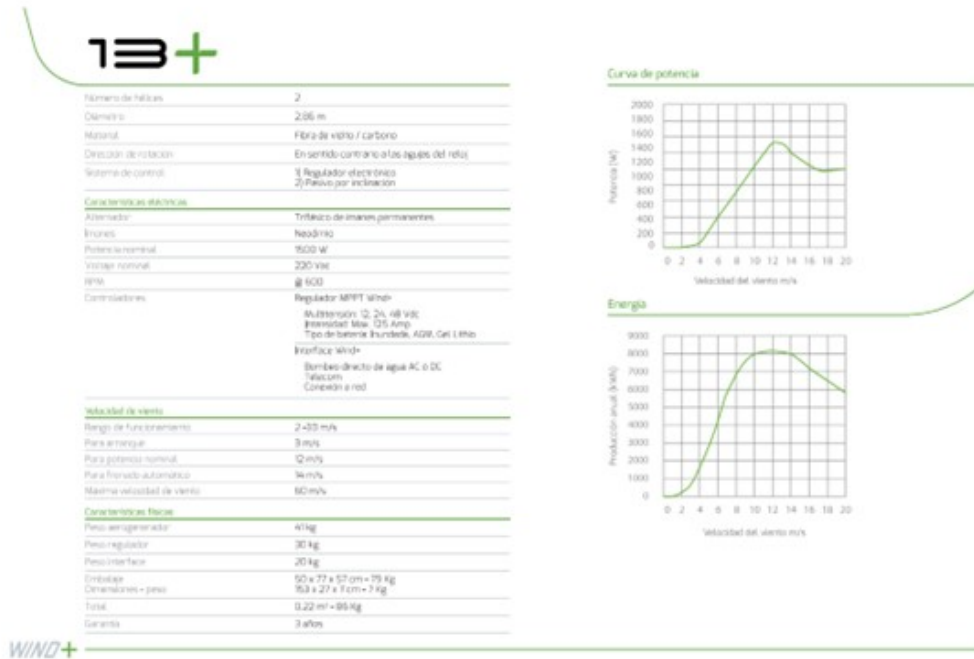


Figura 31: Características Aerogenerador Eólico

B. Anexo B

Ficha Técnica
Panel solar Monocristalino Alto Rendimiento
Ecosolar Advanced 460W 144 Células Half-Cut

EcoSolar
green energy products



El panel solar Ecosolar Advanced 460W Half Cut y 144 células de alto rendimiento se ha fabricado con células solares Monocristalinas de categoría máxima con la más alta concentración de silicio. Ofrece alta resistencia a las inclemencias del tiempo gracias a su cristal templado con tratamiento especial y firme marco de aluminio.

Detalles técnicos:

- Potencia: 460W
- Voltaje en circuito abierto (Voc): 50,40V
- Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp): 41,80V
- Corriente de cortocircuito (Isc): 11,57A
- Corriente nominal (Imp): 11,00A
- Sistema de voltaje máximo: 1500VDC
- Tipo de célula: Silicio Monocristalino Clase A
- Caja de conexiones: 3 Diodos de 30A cada uno.
- Número de células: 144
- Valor Máximo de Fusible en Serie: 20A
- Dimensiones: 2094 x 1038 x 35 mm
- Peso: 24 Kg

- 10 años de garantía por defectos de fabricación.
- 10 años de garantía de rendimiento superior al 90%,
- 25 años de garantía de rendimiento superior al 80%.

La gama de paneles solares Ecosolar Advanced ofrecen un alto rendimiento para generar electricidad en instalaciones solares autónomas o de aislada, instalaciones de autoconsumo, así como para usos en riego solar u otras aplicaciones ya que están fabricadas con células de Silicio Monocristalino de clase A. Incluyen caja posterior de conexiones con cableado y conectores MC4. Las placas Ecosolar Advanced cumplen con los máximos requisitos de calidad exigidos para un fiable y excelente rendimiento durante muchos años de uso. Disponen de cristal templado de alta resistencia y firme marco de aluminio.

[Ecosolar Green Energy Products - C/ Bomberos, 7 Nave - 25500 La Pobla de Segur (Lérida) - Spain]

Figura 32: Características Panel fotovoltaico

C. Anexo C


DIVISIÓN GENERACIÓN



GS7000
GENERADOR
DE RESPALDO
DIESEL 5,5 KVA
 SKU. 3050 11003

UNIDAD GENERADORA	Voltaje Frecuencia Fases Corriente Nominal Potencia Nominal Potencia Máxima Regulación de Voltaje Factor Potencia	230V 50Hz Monofásico 21,7A 5kW / 5kVA 5,5kW / 5,5kVA AVR 1 (coseno de φ)
PANEL DE CONTROL Y ACCESORIOS	Medidores Agrupados Alarmas Conexiones Bornera Salida DC (Voltaje/Corriente) Accesorios	Voltímetro - Frecuencímetro - Horómetro Aceite 2 enchufes hembra 250V/30A - 12V DC/8,3A Juego de Herramientas - Manual - Enchufes Machos - Ruedas
UNIDAD MOTRIZ	Tipo Motor Diámetro x Carrera Refrigeración Relación de Compresión Aspiración Velocidad de Giro Partida Tipo de Batería Batería Nivel de Ruido	Monocilíndrico, 4 Tiempos 88x75mm Por Aire 19:1 Natural 3.000rpm Eléctrica Plomo - Ácido 12V - 30A 72dB(A)/7m
COMBUSTIBLE	Tipo de Combustible Consumo de Combustible Capacidad Estanque Combustible Autonomía	Diesel 1,45L/Wh (70% carga) 14,5L 7h
ACEITE	Tipo de Aceite Capacidad Carter de Aceite	15W-40 1,7L
DIMENSIONES Y PESO	Medidas Embalaje (Largo x Ancho x Alto) Medidas Equipo Armado (Largo x Ancho x Alto) Peso Vacío Peso Lleno	100x57x77cm 92x55x75cm 165kg 186,2kg

PRODUCTO CERTIFICADO



0000000400362

NOTA: LAS IMÁGENES E ILUSTRACIONES, FUERON ELABORADAS CON FINES ILUSTRATIVOS, NO CONSTITUYENDO NECESARIAMENTE UNA REPRESENTACIÓN EXACTA DE LA REALIDAD.

SIMPLIFICA TUS PROYECTOS CON LA MEJOR ENERGÍA



VIELCO.COM



©VIELCO.CHILE

Figura 33: Características del grupo Electrónico


D. Anexo D

High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery HTB12-150

HTB series uses the newly developed nano gel electrolyte with super-C additive plus heavy duty plates design inside. The HTB series has a long service life and can provide optimum and reliable service under extreme condition such as high temperature and frequent power failure. This series is highly suited for tropical area in outdoor applications such as Telecom BTS stations and Off-grid PV system.

12V
150Ah
GEL
Technology
Deep
Cycle



Applications

- BTS Stations
- Solar & Wind energy system
- UPS system
- Telecom systems
- Wheel chair, Golf Car

General Features

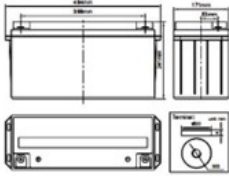
- ✓ Able to operate at 40-60°C
- ✓ DOD 50% 1500 times Cycles
- ✓ Complied Standards IEC60896-21/22, IEC61427, BS6290 part 4, GB/T 19638
- ✓ Long life and high stability under high temp. environment (no air-con needed)
- ✓ Use super-C additives: Deep discharge recovery capability

Dimensions & Weight

Length(mm)	484±1
Width(mm)	171±1
Height(mm)	241±1
Total Height(mm)	241±1
Weight(kg)	45.7±3%

Technical Specifications

Nominal Voltage		12V (6 cells per unit)
Design Floating Life @25°C		20 Years
Nominal Capacity @25°C(20 hour rate@7.5A,10.8V)		150Ah
Capacity @25°C	10hour rate (13.5A,10.8V)	135Ah
	5 hour rate (23.9A,10.5V)	119.5Ah
	1 hour rate (86.6A,9.6V)	86.6Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery@25°C	≤4.0mΩ
Ambient Temperature	Discharge	-25°C~60°C
	Charge	-25°C~60°C
	Storage	-25°C~60°C
Max.Discharge Current@25°C		800A(5s)
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage) @25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 33.75A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 33.75A Voltage 14.4-14.9V



Battery Discharge Table

Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	234.3	139.4	99.0	86.6	52.9	37.1	25.2	16.7	14.9	8.10	1.80
1.65V	230.0	136.9	97.2	85.1	51.9	36.5	24.8	16.4	14.6	7.95	1.76
1.70V	225.8	134.4	95.4	83.5	51.0	35.8	24.3	16.1	14.3	7.80	1.73
1.75V	221.5	131.8	93.6	81.9	50.0	35.1	23.9	15.8	14.0	7.65	1.70
1.80V	213.0	126.8	90.0	78.8	48.1	33.8	23.0	15.2	13.5	7.50	1.67

Discharge Constant Power per Cell (Watts at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	451.0	268.4	190.6	166.8	101.8	71.5	48.6	32.1	28.6	15.6	3.46
1.65V	442.8	263.5	187.1	163.7	99.9	70.2	47.7	31.5	28.1	15.3	3.40
1.70V	434.6	258.6	183.6	160.7	98.1	68.9	46.8	30.9	27.5	15.0	3.33
1.75V	426.4	253.8	180.2	157.7	96.2	67.6	45.9	30.3	27.0	14.7	3.27
1.80V	410.0	244.0	173.3	151.6	92.5	65.0	44.2	29.2	26.0	14.4	3.21

Note: The above data are average values, and can be obtained within 3 charge/discharge cycles. These are not minimum values. Cell and battery designs/specifications are subject to modification without notice. Contact CSBattery for the latest information.

Copyright© 2016 CSBattery Energy Co., Limited

Figura 34: Características de las baterías