



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRCIDAD**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE EL USO DE  
ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL PARA ABASTECER  
DIFERENTES EQUIPOS ELECTRÓNICOS**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**AUTORES:**

David Alexander Quishpe Guaman

Jefferson Rene Sánchez Jami

**TUTOR:**

Ing.M.Sc. Jiménez Jiménez Diego Leonardo

Latacunga - Ecuador

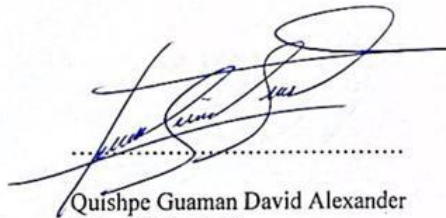
Agosto 2024



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Quishpe Guaman David Alexander y Sánchez Jami Jefferson Rene declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL PARA ABASTECER DIFERENTES EQUIPOS ELECTRÓNICOS”**, siendo el Ing. MSc. Diego Leonardo Jiménez Jiménez tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos el presente proyecto tecnológico, son de mi exclusiva responsabilidad.



Quishpe Guaman David Alexander  
C.C: 0504347758



Sánchez Jami Jefferson Rene  
C.C: 1727002162



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Propuesta Tecnológica sobre el título:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL PARA ABASTECER DIFERENTES EQUIPOS ELECTRÓNICOS”**, de Quishpe Guaman David Alexander y Sánchez Jami Jefferson Rene, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho proyecto tecnológico cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 agosto, 2024

.....  
Ing. MSc. Jiménez Jiménez Diego Leonardo

CC: 0503493702



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes David Alexander Quishpe Guaman, Jefferson Rene Sánchez Jami con el título de Proyecto de titulación: Implementación de un sistema híbrido mediante el uso de energía renovable no convencional para abastecer diferentes equipos electrónicos, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto, 2024

Para constancia firman:

Lector 1

Ing. Salazar Achig Edgar Roberto

CC: 0502847619

Lector 2

Ing. León Segovia Marco

CC: 0502305402

Lector 3

Ing. León Segovia Manuel Ángel

CC: 0502041353



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de representante del barrio San Juan sobre la Propuesta Tecnológica **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL PARA ABASTECER DIFERENTES EQUIPOS ELECTRÓNICOS”**, de Quishpe Guaman David Alexander y Sánchez Jami Jefferson Rene, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que realizan la entrega del proyecto en la provincia de Cotopaxi en el barrio San Juan, en correcto funcionamiento.

Latacunga, agosto, 2024

.....  
Ing. MSc. Juan Carlos Guaman Chicaiza

CC: 0502175417

## **AGRADECIMIENTOS**

Con profunda gratitud, quiero expresar mi agradecimiento a Dios, por la fortaleza y guía que me han permitido alcanzar este importante logro en mi vida. A mi madre, Mirian Guaman, quien ha sido mi pilar incondicional, brindándome su apoyo en cada paso de este camino. A mi padre, Luis Quishpe, por su constante respaldo y sabios consejos que han sido fundamentales a lo largo de mi vida.

A mi tío, Juan Carlos Guaman, quien ha compartido generosamente su experiencia, contribuyendo significativamente al desarrollo de mis habilidades. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de su comunidad académica. Mi más sincero agradecimiento al Ing. Diego Jiménez, mi tutor, cuyo conocimiento y orientación fueron esenciales para la realización de este proyecto.

Finalmente, quiero extender mi agradecimiento a mis amigos Jefferson, Diego, Eduardo, Jhoao, María José y Erik, quienes no solo fueron compañeros en este proceso, sino también una fuente constante de apoyo y motivación. Su amistad y compañía hicieron de este camino sea una experiencia invaluable.

**David Quishpe**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a mis amados padres, Mirian Guaman y Luis Quishpe, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido la luz que ha guiado cada uno de mis pasos. Esta tesis es tan solo una pequeña muestra de todo lo que me han dado. A ustedes, que, con sus palabras de aliento, su fe inquebrantable y sus abrazos en los momentos más difíciles, me han enseñado el verdadero significado de la perseverancia y el sacrificio. Este triunfo es tanto suyo como mío. Con todo mi corazón, les dedico este triunfo, agradeciendo cada día por tenerlos a mi lado.

**David Quishpe**

## **AGRADECIMIENTOS**

Con gratitud profunda elevo mi agradecimiento a Dios, cuyo amparo y fortaleza iluminaron los momentos más oscuros de este arduo camino. A mi madre, Elvia, y a mi padre de crianza, Franklin, quienes con su amor incondicional y constante aliento se convirtieron en los pilares de mi perseverancia, A mi compañera de vida Lisbeth, cuyo amor ha sido el bálsamo que ha llenado mi alma. A mis compañeros de travesía, David, Diego, Eduardo, Jhoao, Erick y María José, cuyas manos amigas y compañía fraternal fueron luz y guía en cada paso de esta senda, los abrazo en esta expresión sincera de gratitud eterna.

**Jefferson Sánchez**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro, con el alma plena de gratitud, a mis padres, cuyas manos incansables y sacrificios silenciosos moldearon en mí los anhelos que a ellos la vida les negó por la carencia de oportunidades. A mi hija, Tamia Sánchez, que, al nacer, no solo trajo luz a mi vida, sino que me forjó en el fuego de la responsabilidad y se convirtió en la razón más pura y profunda de mi existencia. Y, en un acto de reconocimiento interior, me dedico este triunfo a mí mismo, por la resiliencia y la valentía con que enfrenté cada desafío de este arduo camino.

**Jefferson Sánchez**

## Índice de contenido

1	INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2	INTRODUCCION .....	2
2.1	Situación Problemática.....	3
2.2	Formulación del Problema .....	4
2.3	Objeto y campo de acción .....	4
2.3.1	Objeto de Investigación.....	4
2.3.2	Campo de acción .....	4
2.4	Beneficiarios .....	4
2.4.1	Directo.....	4
2.4.2	Indirecto .....	4
2.5	Justificación.....	4
2.6	Objetivos .....	5
2.6.1	General .....	5
2.6.2	Específicos .....	5
2.7	Sistema de actividades .....	6
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1	Antecedentes .....	7
3.2	Energía renovable.....	8
3.2.1	Importancia de las fuentes de energía renovable.....	9
3.2.2	Energía renovable no convencional (ERNC) .....	9
3.3	Energía eólica.....	9
3.3.1	Energía eólica en Ecuador.....	10
3.3.2	Recurso eólico en Ecuador .....	11
3.4	Generador eólico .....	11
3.4.1	Tipos de aerogeneradores.....	12
3.4.2	Aerogenerador de eje horizontal .....	12
3.4.3	Aerogeneradores de eje vertical .....	13
3.5	Recurso solar en Ecuador .....	14
3.5.1	Energía solar.....	15
3.5.2	Fotovoltaica.....	15
3.5.3	Térmica.....	15
3.5.4	Radiación solar.....	16
3.5.5	Hora solar pico (PSH) .....	17
3.5.6	Transformación de recurso solar a energía eléctrica.....	17
3.5.7	Panel Fotovoltaico.....	18
3.5.8	Tipos de paneles fotovoltaicos .....	18
3.5.8.1	Panel fotovoltaico Monocristalino .....	18

3.5.8.2	Panel fotovoltaico Policristalino .....	18
3.5.9	Tipos de conexiones para paneles fotovoltaicos. ....	19
3.5.9.1	Conexión en serie .....	19
3.5.9.2	Conexión en paralelo.....	19
3.5.9.3	Conexión mixta .....	20
4	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS .....	20
4.1	Diseño del modelo del poste híbrido.....	20
4.2	Diagrama de conexiones .....	21
4.3	Estudios de potenciales lugares para la implementación del sistema.....	22
4.3.1	Evaluación de recursos energéticos de los potenciales lugares.....	23
4.4	Equipos de medición .....	23
4.5	Recurso solar en la comunidad San José de Alpamalag.....	24
4.5.1	Instalación del equipo para medir la radiacion solar en Alpamalag.....	24
4.5.2	Recolección de datos de la radiación solar global en Alpamalag.....	24
4.5.3	Representación gráfica de la radiación solar global en Alpamalag.....	25
4.5.3.1	Promedio total de la radiación solar en Alpamalag.....	25
4.5.3.2	Hora solar pico en Alpamalag.....	25
4.5.4	Recurso eólico en San José de Alpamalag .....	26
4.5.4.1	Instalación del equipo para medir la velocidad del viento en Alpamalag...26	
4.5.4.2	Recolección de Datos de la velocidad del viento en Alpamalag.....26	
4.5.4.3	Promedio total de la velocidad del viento en Alpamalag.....27	
4.6	Recurso solar en el barrio San Juan del cantón Latacunga .....	27
4.6.1	Instalación del equipo para medir la radiacion solar en el barrio San Juan.....	28
4.6.2	Recolección de Datos de la radiación solar global en el Barrio San Juan.....	28
4.6.3	Representación gráfica de la radiación solar global en el barrio San Juan.....	28
4.6.4	Promedio total de la radiación solar en el Barrio San Juan.....	29
4.6.4.1	Hora solar pico en el barrio San Juan.....	29
4.7	Recurso eólico en el Barrio San Juan.....	29
4.7.1	Instalación del equipo para medir la velocidad del viento en el Barrio San Juan .....	30
4.7.2	Recolección de Datos de la velocidad del viento en el Barrio San Juan .....	30
4.7.3	Representación gráfica de la velocidad del viento en el Barrio San Juan .....	30
4.7.4	Promedio total de la velocidad del viento en el Barrio San Juan. ....	31
4.8	Comparación de recursos energéticos de los potenciales lugares .....	31
4.8.1	Comparación de recurso solar .....	31
4.8.2	Comparación de recurso eólico .....	32

4.9	Selección del lugar con más recurso energético.....	33
4.10	Estimación de la demanda energética .....	35
4.10.1	Levantamiento de cargas .....	35
4.10.2	Demanda energética por horas .....	36
4.11	Dimensionamiento de los componentes.....	36
4.11.1	Paneles solares.....	36
4.11.2	Controlador solar.....	38
4.11.3	Aerogenerador.....	39
4.11.4	Controlador Eólico .....	41
4.11.5	Batería .....	41
4.11.6	Inversor.....	43
4.11.7	Protección contra sobre corriente.....	44
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	45
5.1	Análisis probabilístico de la radiación solar.....	45
5.2	Estimación de la potencia eléctrica que entregará el sistema fotovoltaico.....	46
5.3	Análisis probabilístico de la velocidad del viento.....	47
5.4	Área de las aspas del aerogenerador.....	48
5.5	Estimación de la potencia eléctrica que entregará el sistema eólico .....	48
5.6	Estimación del mix energético .....	49
5.7	Autonomía del sistema .....	50
5.7.1	Tiempo de carga de la batería.....	51
5.7.1.1	Cálculo de la corriente del sistema fotovoltaico .....	51
5.7.1.2	Cálculo de la corriente del sistema eólico.....	51
5.7.1.3	Cálculo de la corriente de consumo .....	51
5.7.2	Tiempo de carga de la batería.....	52
5.7.3	Tiempo de descarga de la batería .....	52
5.8	Pruebas de funcionamiento del sistema.....	53
5.8.1	Prueba de descarga de la batería.....	53
5.8.2	Cálculos teóricos de descarga de la batería .....	53
5.8.3	Tiempo de descarga real de la batería en la prueba.....	54
5.9	Análisis presupuestario .....	54
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	55
6.1	Conclusiones .....	55
6.2	Recomendaciones.....	56
7	REFERENCIAS .....	58

## Índice de Figuras

Figura 1. Energías renovables en Ecuador. ....	10
Figura 2. Mapa de recurso eólico en Ecuador a 30 m [10].....	11
Figura 3. Partes básicas de un aerogenerador[12]. ....	12
Figura 4. Partes internas del generador eólicos [13]. ....	12
Figura 5. Aerogenerador de eje horizontal [14]. ....	13
Figura 6. Aerogenerador de eje vertical [14].....	14
Figura 7. Irradiación solar global horizontal en Ecuador [15]. ....	14
Figura 8. Efecto fotoeléctrico [18]. ....	15
Figura 9. Sistema simple del calentamiento del agua mediante radiación solar [19].....	16
Figura 10. Radiación directa, difusa y global [21]. ....	17
Figura 11. Hora solar pico durante el día. ....	17
Figura 12. Panel fotovoltaico monocristalino. ....	18
Figura 13: Panel fotovoltaico policristalino. ....	19
Figura 14. Conexión en serio de paneles solares.....	19
Figura 15. Conexión en paralelo de paneles solares.....	20
Figura 16. Conexión mixta de paneles solares. ....	20
Figura 17. Modelo de poste hibrido. ....	21
Figura 18. Esquema de conexión.....	21
Figura 19. Diagrama de conexiones del poste hibrido. ....	22
Figura 20. Piranómetro colocado en la comunidad de Alpamalag.....	24
Figura 21. Radiación solar global promedio en la comunidad de Alpamalag.....	25
Figura 22. Estación meteorológica colocada en la comunidad de Alpamalag.....	26
Figura 23. Velocidad promedio en la comunidad de Alpamalag. ....	27
Figura 24. Piranómetro colocado en el barrio San Juan. ....	28
Figura 25. Radiación solar global promedio en el barrio San Juan. ....	29
Figura 26. Estación meteorológica colocada en el Barrio San Juan.....	30
Figura 27. Velocidad promedio en el Barrio San Juan.....	31
Figura 28. Comparación de la radiación solar global.....	32
Figura 29. Comparación de la velocidad del viento. ....	33
Figura 30. Comparación del índice energético.....	34
Figura 31. Lugar de instalación del poste hibrido. ....	35
Figura 32. Panel solar de 110wp de la marca RESUN SOLAR ENERGY.....	37

Figura 33: Dimensiones del panel solar RSM110P.....	37
Figura 34. Curva de funcionamiento del panel solar RSM100P a diferentes irradiancias [27]. .....	38
Figura 35. Controlador solar EC-20 de la marca Ecopulse. ....	39
Figura 36. Aerogenerador eólico X3 de la marca Beigood. ....	40
Figura 37: Controlador BGCT.M1 marca Beigood.....	41
Figura 38: Batería HTPB12-100 [29].....	42
Figura 39: Curva de descargas de la batería HTB12-100 a diferentes temperaturas [29].....	43
Figura 40: Inversor TW500 de la marca ZOHAN.....	44
Figura 41. Breaker de 20 <sup>a</sup> de 2 polos.....	45
Figura 42: Potencia generada por el sistema fotovoltaico.....	47
Figura 43. Potencia estimada que generará el sistema eólico.....	49
Figura 44. Potencia total estimada por el sistema. ....	50
Figura 45. Aporte de generación de cada sistema. ....	50
Figura 46. Placa de la carga utilizada para la prueba de descarga.....	53
Figura 47. Medición de la corriente AC consumida por la carga.....	53

## Índice tablas

Tabla 1. Sistema de Actividades.....	6
Tabla 2. Potenciales lugares para la instalación del poste.....	23
Tabla 3. Equipos de medición.....	23
Tabla 4. Periodo de recolección de datos en Alpamagal.....	24
Tabla 5: Periodo de recolección de datos en San Juan.....	28
Tabla 6. Comparación radiación solar global.....	31
Tabla 7. Comparación de la velocidad del viento.....	32
Tabla 8. Características del lugar de instalación.....	34
Tabla 9. Levantamiento de cargas para el poste solar-eólico.....	35
Tabla 10. Demanda energética en cada hora del día.....	36
Tabla 11: Equipos requeridos para el poste solar-eólico.....	36
Tabla 12. Dimensionamiento de los paneles solares.....	36
Tabla 13. Características técnicas de cada panel solar del modelo RSM110wp.....	37
Tabla 14. Corriente de los paneles solares.....	38
Tabla 15: Características técnicas del controlador solar EC-20 [28].....	39
Tabla 16. Dimensionamiento del aerogenerador.....	39
Tabla 17. Características técnicas del aerogenerador.....	40
Tabla 18. Características técnicas del controlador BGCT-M.....	41
Tabla 19. Datos requeridos para el dimensionamiento de la batería.....	42
Tabla 20. Características técnicas de la batería HTB12-100.....	43
Tabla 21. Características técnicas del inversor TW500.....	44
Tabla 22. Rango de radiación con mayor probabilidad.....	45
Tabla 23. Rango de velocidad del viento con mayor probabilidad.....	47
Tabla 24. Datos de prueba de autonomía de la batería.....	54
Tabla 25. Costo total del poste hibrido.....	55

## **RESUMEN**

En la actualidad, los dispositivos tecnológicos se han vuelto indispensables en la vida cotidiana de las personas, agilizando y mejorando significativamente sus actividades diarias. Desde teléfonos móviles, computadoras y audífonos inalámbricos, hasta tablets y calculadoras inteligentes, así como el creciente uso de vehículos de transporte personal eléctricos como bicicletas o scooters, estos dispositivos son utilizados por estudiantes, profesionales y personas en general. Sin embargo, la falta de tomas de corriente en espacios públicos ha generado una necesidad colectiva en la sociedad. Además, los cambios climáticos actuales están generando perturbaciones en el suministro de energía, resultando en cortes de energía o apagones que afectan la funcionalidad de estos dispositivos. A esto se suma el hecho de que una parte considerable de la energía consumida proviene de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas, lo que agrava la contaminación ambiental. Por lo que se propone la implementación de un poste que convierta la energía solar y eólica en electricidad para la carga de dispositivos electrónicos. Esta iniciativa no solo facilitaría el acceso a un punto de carga para estos dispositivos, sino que también contribuiría a mejorar la calidad de vida de sus residentes. Para su desarrollo, se llevará a cabo un estudio detallado del potencial solar y eólico de la zona, también se incluirá el dimensionamiento de los equipos que conformaran el sistema y el análisis de variables como la velocidad del viento y la radiación solar. Finalmente, se estimará la potencia generada por el sistema y se realizarán pruebas de funcionamiento y autonomía para asegurar su eficiencia y viabilidad.

**Palabras Clave:** Implementación, Sistema, Híbrido, Fotovoltaico, Eólico, Renovable.

## **ABSTRACT**

Currently, technological devices have become indispensable in people's daily lives, significantly streamlining and enhancing their everyday activities. From mobile phones, computers, and wireless headphones to tablets, smart calculators, and the growing use of personal electric transport vehicles like bicycles or scooters, these devices are widely used by students, professionals, and the general public. However, the lack of power outlets in public spaces has created a collective need in society. Additionally, current climate changes are causing disruptions in the power supply, resulting in power outages or blackouts that affect the functionality of these devices. Moreover, a significant portion of the energy consumed comes from non-renewable sources, such as fossil fuels used in thermal power plants, which exacerbates environmental pollution. To address these challenges, the implementation of a pole that converts solar and wind energy into electricity for charging electronic devices is proposed. This initiative would not only provide accessible charging points for these devices but also contribute to improving the quality of life for residents. The development of this project will involve a detailed study of the solar and wind potential in the area, including the sizing of the equipment that will make up the system and the analysis of variables such as wind speed and solar radiation. Finally, the power generated by the system will be estimated, and tests of functionality and autonomy will be conducted to ensure its efficiency and viability.

**Keywords:** Implementation, System, Hybrid, Photovoltaic, Wind, Renewable.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

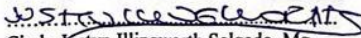
Nombre del estudiante: David Alexander Quishpe Guaman, Jefferson Rene Sánchez  
Jami

**AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo**

Cindy Justyn Illingworth Salgado, con cédula de identidad número: 171362101-7 Magíster en: Educación Media y Superior, Mención Inglés con número de registro de la SENESCYT: 8201R-13-9074, CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA RENOVABLE NO CONVENCIONAL PARA ABASTECER DIFERENTES EQUIPOS ELECTRÓNICOS** de: David Alexander Quishpe Guaman, Jefferson Rene Sánchez Jami, egresados de la carrera de Ingeniería en Electricidad, perteneciente a la Facultad de: **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, agosto, 2024

  
Cindy Justyn Illingworth Salgado, Mg.  
CI: 1713621017

# 1 INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del Proyecto:** Implementación de un sistema híbrido mediante el uso de energía renovable no convencional para abastecer diferentes equipos electrónicos.

**Modalidad de Titulación:**

Propuesta Tecnológica

Proyectos de Investigación

**Fecha de inicio:** OCTUBRE 2023

**Fecha de finalización:** AGOSTO 2024

**Lugar de ejecución:** Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Eloy Alfaro, barrio San Juan

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:** Carrera de Electricidad

**Proyecto de investigación vinculado**

Desarrollo de sistemas eléctricos eficientes a nivel residencial, comercial e industrial.

**Equipo de Trabajo**

Ing. Jiménez Diego Msc.

Sr. Quishpe Guamán David Alexander

Sr. Sánchez Jami Jefferson Rene

**Área de Conocimiento**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación el área de conocimiento se encuentra bajo 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesionales Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental. que a partir de la búsqueda de información se permita aprovechar el recurso solar y eólico.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Conversión y uso racional de la energía eléctrica

## **2 INTRODUCCION**

En la actualidad la dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica ha desarrollado una serie de problemas ambientales, económicos y sociales como estable el autor [1], las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación del aire y el agotamiento de recursos no renovables son solo algunas de las consecuencias negativas asociadas con el uso continuo de combustibles fósiles. De esta forma se ha impulsado la búsqueda de alternativas energéticas eficientes y sostenibles que puedan mitigar estos impactos y asegurar un suministro energético confiable a largo plazo. Entre estas alternativas se presentan las energías renovables no convencionales específicamente la solar y la eólica. La cual la energía eólica representa la energía contenida en las grandes masas de aire que se desplaza por la superficie del planeta. Por otro lado, la energía solar proviene de la radiación electromagnética del Sol [2]. La cual mediante equipos específicamente para cada caso es aprovechada como fuente de energía renovable para la producción de energía eléctrica.

De esta forma la Provincia de Cotopaxi ubicada en el centro de Ecuador no se encuentra ajena a los problemas relacionados con la intermitencia del suministro eléctrico, los apagones frecuentes y las pérdidas económicas derivadas de estas interrupciones. Estos inconvenientes afectan de manera significativa la calidad de vida de los residentes y obstaculizan el crecimiento del sector residencial. Los cortes de energía no solo provocan incomodidades, sino que también representan un riesgo para la seguridad y el desarrollo económico de la región. En este contexto, la implementación de sistemas híbridos de energía renovable se presenta como una solución innovadora y eficaz para mejorar la estabilidad y sostenibilidad del suministro eléctrico.

El presente documento tiene como objetivo general la implementación de un poste solar eólico destinado a la carga de equipos electrónicos mediante el uso de energía renovable no convencional. Este proyecto se desarrollará en varias etapas la cual se especifica a continuación: En primer lugar, se identificará una ubicación geográfica óptima dentro de la provincia de Cotopaxi que maximice la eficiencia del sistema híbrido. Esta selección se basará en un análisis detallado de las condiciones geográficas y climáticas de la región, incluyendo la evaluación de la radiación solar y la velocidad del viento. Posteriormente, se procederá a la implementación del sistema en la ubicación seleccionada, asegurando su correcto funcionamiento y estabilidad. Finalmente, se llevarán a cabo pruebas con diversos equipos electrónicos para evaluar el desempeño y la viabilidad del sistema.

La metodología adoptada en este estudio incluye un análisis detallado de las condiciones geográficas y climáticas del lugar seleccionado dentro de la Provincia de Cotopaxi, la selección y dimensionamiento de los componentes del sistema híbrido, y la realización de pruebas experimentales para validar la efectividad de cada componente del sistema. Se emplearán instrumentos como piranómetros y anemómetros para medir la radiación solar y la velocidad del viento, respectivamente. Estos datos permitirán dimensionar adecuadamente los componentes que conlleva el sistema. Además, se diseñarán y ejecutarán pruebas de funcionamiento para asegurar que el sistema pueda satisfacer la demanda energética de diversos equipos electrónicos, garantizando su eficiencia y estabilidad.

La implementación de este sistema híbrido no solo beneficiará a los residentes del futuro lugar de instalación, sino que también ofrecerá un modelo replicable para otras regiones que enfrentan problemas similares. La integración de energías renovables en sistemas híbridos representa un paso crucial hacia un futuro más sostenible y confiable.

## **2.1 Situación Problemática**

En muchos entornos urbanos, la falta de puntos de carga para dispositivos móviles en espacios públicos es un desafío creciente. Esta carencia afecta tanto a residentes como a visitantes, dificultando su capacidad para mantenerse conectados digitalmente. La ausencia de puntos de carga en estaciones de transporte público, parques y áreas de descanso causa inconvenientes significativos para los viajeros, especialmente aquellos que dependen de la navegación en sus dispositivos móviles. La escasez de puntos de carga también afecta negativamente la experiencia de los turistas y la capacidad de los negocios locales para atraer y retener clientes que buscan comodidades digitales. Además, plantea preocupaciones de seguridad, ya que los usuarios podrían recurrir a métodos inseguros de carga, aumentando el riesgo de daño al dispositivo y posibles riesgos eléctricos.

La nueva era tecnológica ha integrado innovadoras tecnologías en las rutinas diarias de las personas, incrementando la dependencia del suministro eléctrico. Se ha observado un aumento del 42.3% en el uso de bicicletas y scooters eléctricos, según el autor [3]. Este cambio en la movilidad refleja una mayor demanda energética. Sin embargo, Ecuador enfrenta cortes de suministro debido a un déficit energético diario de 20GW/h, equivalente al 22% de la demanda nacional, según un comunicado presidencial del 17 de abril de 2024. Estos cortes generan malestar, limitando la comunicación, movilidad y acceso a la educación.

## **2.2 Formulación del Problema**

Falta de puntos de abastecimiento de energía eléctrica en los espacios públicos junto con los frecuentes cortes de energía de la red pública genera problemas significativos para la carga de dispositivos electrónicos.

## **2.3 Objeto y campo de acción**

### **2.3.1 Objeto de Investigación**

Sistema híbrido eólico- solar, Velocidad del viento, Radiación solar.

### **2.3.2 Campo de acción**

Generación de energía eléctrica.

## **2.4 Beneficiarios**

La incorporación de este sistema híbrido supone una oportunidad única para aprovechar de manera eficiente los recursos eólicos y solares en la zona de implementación. Esta iniciativa se enfoca en convertir estos recursos en energía eléctrica, la cual será utilizada para abastecer las necesidades de pequeñas cargas eléctricas (dispositivos electrónicos) pertenecientes a los usuarios del lugar escogido. Entre estos beneficiarios se encuentran estudiantes, padres de familia y visitantes. Además de satisfacer estas pequeñas demandas energéticas locales, el proyecto presenta una serie de aspectos que generan beneficios adicionales y promueven el desarrollo sostenible.

### **2.4.1 Directo**

Habitantes del lugar escogido, usuarios de bicicletas y scooters eléctricos como transporte público.

### **2.4.2 Indirecto**

Comerciantes y visitantes que arriban al lugar, estudiantes.

## **2.5 Justificación**

La implementación del poste híbrido solar fotovoltaico ofrece una solución innovadora para mejorar el acceso a la energía eléctrica en el lugar seleccionado. Este sistema proporciona un punto de carga accesible para todos, permitiendo a los usuarios recargar teléfonos y otros dispositivos electrónicos. También ofrece una opción de carga para bicicletas eléctricas y

scooter, fomentando el uso de medios de transporte más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Este enfoque no solo mejora la comodidad y conectividad diaria, sino que también promueve una movilidad más limpia y consciente.

Una ventaja adicional de este proyecto es la disponibilidad de energía eléctrica las 24 horas del día. Al ser autónomo, el sistema no depende del suministro de la empresa eléctrica local, sino que aprovecha los recursos solares y eólicos. Esta autonomía energética garantiza un suministro constante y demuestra la viabilidad de replicar esta solución en áreas sin acceso a la red eléctrica tradicional. Esto aumenta la resiliencia energética del sector escogido y ofrece una solución sostenible para otras comunidades con desafíos similares.

El proyecto también es amigable con el medio ambiente, al utilizar energías limpias como la solar y la eólica, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica. Esto contribuye a mitigar el cambio climático y a mejorar la calidad del aire local. Al promover el uso de fuentes renovables, el proyecto establece un modelo energético sostenible y resiliente a largo plazo, beneficiando tanto a la comunidad actual como a las generaciones futuras.

## **2.6 Objetivos**

### **2.6.1 General**

- Implementar un sistema híbrido mediante el uso de energía renovable no convencional para el abastecimiento de diferentes equipos electrónicos.

### **2.6.2 Específicos**

- Identificar la ubicación geográfica que permita el abastecimiento del recurso eólico solar para abastecer el sistema híbrido.
- Implementar el sistema híbrido eólico-solar mediante el uso de diferentes equipos en la ubicación establecida.
- Realizar un test de pruebas de funcionamiento para diferentes equipos electrónicos.

## 2.7 Sistema de actividades

En este apartado se detalla el sistema de actividades que se realizara mediante el enfoque establecido por los objetivos, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Sistema de Actividades.

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Técnica e instrumentos
Identificar la ubicación geográfica que permita el abastecimiento del recurso eólico solar para abastecer el sistema híbrido	Conducir un estudio integral de viabilidad que abarque la recopilación y el análisis de datos climáticos, específicamente la velocidad del viento y la radiación solar.	Identificación de la ubicación geográfica óptima para la instalación del sistema híbrido eólico-solar, asegurando así el suministro energético eficiente y sostenible.	La recopilación y el análisis de datos en tiempo real se llevan a cabo utilizando diversos instrumentos meteorológicos. Entre estos, se emplean el piranómetro para la medición de la radiación solar y el anemómetro para determinar la velocidad del viento.
Implementar el sistema híbrido eólico-solar mediante el uso de diferentes equipos en la ubicación establecida.	Determinar los parámetros esenciales necesarios para la implementación del sistema híbrido, considerando la interconexión de los diversos componentes que integran el sistema.	Producción de electricidad mediante un sistema híbrido que combina energía eólica y solar.	Medición con instrumentos de medida para este caso un voltímetro.
Realizar un test de pruebas de funcionamiento para diferentes equipos electrónicos.	Comprobar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de suministro eléctrico para diversos equipos electrónicos.	Evaluación de rendimiento y de funcionalidad del sistema.	Verificar la funcionalidad de carga de dispositivos electrónicos mediante el uso de un voltímetro para medir el voltaje correspondiente.

### **3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Este capítulo aborda los diversos conceptos y principios fundamentales necesarios para el diseño y la implementación de un sistema híbrido eólico-solar. El objetivo principal de este sistema es generar energía eléctrica para alimentar equipos electrónicos, aprovechando dos fuentes de energía renovable: la radiación solar y la velocidad del viento. La integración de estos recursos permite la generación de corriente continua, la cual es almacenada en una batería para su posterior conversión mediante un inversor de corriente. Este proceso resulta en una salida de voltaje adecuada para alimentar una variedad de dispositivos electrónicos. El aprovechamiento simultáneo de la energía solar y eólica no solo optimiza la eficiencia del sistema, sino que también garantiza una mayor estabilidad en el suministro eléctrico, reduciendo la dependencia de una sola fuente de energía. Este enfoque híbrido es particularmente relevante en regiones donde la disponibilidad de uno de los recursos puede ser variable o limitada en ciertos momentos del día o del año. En este capítulo, se explorarán los fundamentos teóricos de la energía solar y eólica, los componentes clave de un sistema híbrido, y las técnicas de almacenamiento y conversión de energía.

#### **3.1 Antecedentes**

Un precedente relevante para esta investigación es el trabajo realizado por Vanessa H. [4], quien implementó un sistema híbrido fotovoltaico en el departamento de turismo del ilustre municipio de Baños de Agua Santa. Este sistema se centra en la utilización de recursos renovables, específicamente la energía solar y eólica, para generar energía eléctrica. El sistema implementado combina paneles fotovoltaicos para capturar la energía del sol y aerogeneradores para aprovechar la energía del viento. La integración de estos dos tipos de energías renovables permite establecer un sistema híbrido, que maximiza la utilización de los recursos disponibles en la zona.

La selección de equipos adecuados para este sistema híbrido fue crucial para optimizar la captación y conversión de la energía solar y eólica, garantizando un suministro eficiente y constante de energía eléctrica para el departamento de turismo de Baños de Agua Santa. Este trabajo demuestra la viabilidad y los beneficios de utilizar sistemas híbridos en áreas con recursos naturales variados, proporcionando un modelo valioso para la implementación de proyectos similares en otros contextos.

Otro estudio significativo es la investigación realizada por Jhonatan H. y Miguel M. [5], quienes llevaron a cabo un análisis del potencial eólico y solar en el páramo Chalupas para la

implementación de un sistema híbrido de generación eléctrica basado en energías alternativas. El objetivo de su estudio fue analizar el potencial de los recursos eólicos y solares mediante la instrumentación y la obtención de datos reales. Este análisis proporcionó información valiosa sobre la interacción y el rendimiento de un sistema híbrido en la generación de energía eléctrica. La recopilación y validación de datos permitió una comprensión más profunda del comportamiento y la eficiencia de dichos sistemas en un entorno específico.

Los resultados de esta investigación no solo beneficiaron a la comunidad local al demostrar la viabilidad de aprovechar los recursos naturales disponibles, sino que también sirvieron como una guía para futuras implementaciones de sistemas híbridos en regiones con características similares. Este estudio subraya la importancia de un análisis detallado y basado en datos para el diseño y la optimización de sistemas de energía renovable.

De igual forma, los sistemas híbridos están siendo implementados en diversas regiones de Latinoamérica. Un ejemplo destacado es la investigación realizada por Kleber S. [6], quien diseñó un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el centro poblado Nueva Esperanza, ubicado en el distrito de Catache, Santa Cruz, Cajamarca.

Una característica clave de esta investigación fue el cálculo de la energía promedio diaria necesaria para garantizar un suministro eléctrico confiable. Para ello, se realizó un análisis detallado de los recursos eólicos y solares disponibles en la zona de estudio. Con base en estos datos, se seleccionaron los equipos más adecuados, incluyendo aerogeneradores de baja potencia y paneles solares, para satisfacer las necesidades energéticas del centro poblado.

El estudio destacó la importancia de adaptar la selección de equipos a las condiciones específicas del lugar, asegurando así una eficiencia óptima y una provisión continua de energía eléctrica. Esta investigación no solo aportó una solución energética sostenible para Nueva Esperanza, sino que también proporcionó un modelo replicable para otras comunidades con condiciones similares en la región.

### **3.2 Energía renovable**

La energía renovable se describe como aquella que proviene de fuentes naturales que, aunque no son completamente inagotables, poseen un enorme potencial energético o pueden regenerarse de manera natural [7].

Según el autor [8], las energías renovables son aquellas obtenidas de fuentes naturales que pueden regenerarse más rápidamente de lo que se consumen. En consecuencia, la producción

de energía a partir de fuentes renovables genera menos emisiones que las fuentes tradicionales como el carbón, el petróleo y el gas. Además, las energías renovables son más rentables y desempeñan un papel vital en la mitigación de los problemas del cambio climático

### **3.2.1 Importancia de las fuentes de energía renovable**

Las energías renovables se caracterizan por ser fuentes limpias e inagotables, que pueden regenerarse rápidamente sin causar impactos negativos en el medio ambiente. Estas fuentes incluyen el sol, el agua, el viento, el calor de la tierra, la lluvia, los ríos y la materia orgánica. El principal objetivo de utilizar energías renovables es proteger el medio ambiente, ya que su uso contribuye a la lucha contra el calentamiento global. A diferencia de los combustibles fósiles, las energías renovables no emiten gases de efecto invernadero ni contaminantes que dañen el entorno. Además, se destacan por su diversidad, abundancia y su potencial para ser aprovechadas en cualquier lugar del mundo [8].

### **3.2.2 Energía renovable no convencional (ERNC)**

La energía renovable no convencional hace referencia a tecnologías energéticas que, hasta la fecha, no han tenido un impacto considerable en el balance de energías primarias. Este tipo de energía se encuentra disponible sin requerir una transformación previa significativa y no se destaca en la producción de grandes cantidades de energía. Sus características incluyen procesos de transformación y utilización que no consumen ni agotan los recursos naturales, resultando en un impacto ambiental mínimo. Con el uso creciente de estas energías, se reduce la emisión de contaminantes, lo que fomenta su adopción progresiva con el tiempo [9].

La energía no convencional proviene de recursos naturales que están presentes en nuestro entorno sin intervención humana, y pueden ser clasificados como inagotables debido a la dificultad de que se agoten con el tiempo. Entre los tipos de recursos renovables no convencionales se destacan: el agua, la energía solar, el viento y la marea.

### **3.3 Energía eólica**

La energía eólica se clasifica como una forma de energía no convencional que utiliza la energía cinética del viento. Esta fuente de energía renovable y limpia no genera contaminación y ayuda a reemplazar la energía producida a partir de combustibles fósiles.

La energía cinética contenida en el viento es considerable. Sin embargo, para aprovecharla completamente, sería necesario detener por completo el viento, lo cual no es posible debido al

diseño de los equipos de generación. El Límite de Betz establece que, teóricamente, se puede obtener hasta el 59% de la energía del viento que llega al generador. En la práctica, debido a las limitaciones del proceso de transformación del equipo, solo se puede aprovechar aproximadamente el 40% de esta energía. Para cuantificar la cantidad de energía contenida en el viento antes de pasar por un equipo de generación, se utiliza la ecuación (1).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (1)$$

Donde:

$P$  = potencia en vatios ( $W$ )

$\rho$  = densidad del aire en  $kg/m^3$

$S$  = superficie o area barrida por el rotor en  $m^2$

$V$  = velocidad del viento en  $m/s$

### 3.3.1 Energía eólica en Ecuador

En el año 2022, la energía eólica representó el 0,98% de la matriz energética de energías renovables en Ecuador, como se muestra en la Figura 1. La provincia de Galápagos cuenta con una producción de energía eólica de 4,65 MW de potencia efectiva. La provincia que más aporta en este ámbito es Loja, con una potencia efectiva de 45,07 MW, proporcionada por el parque eólico Villonaco.

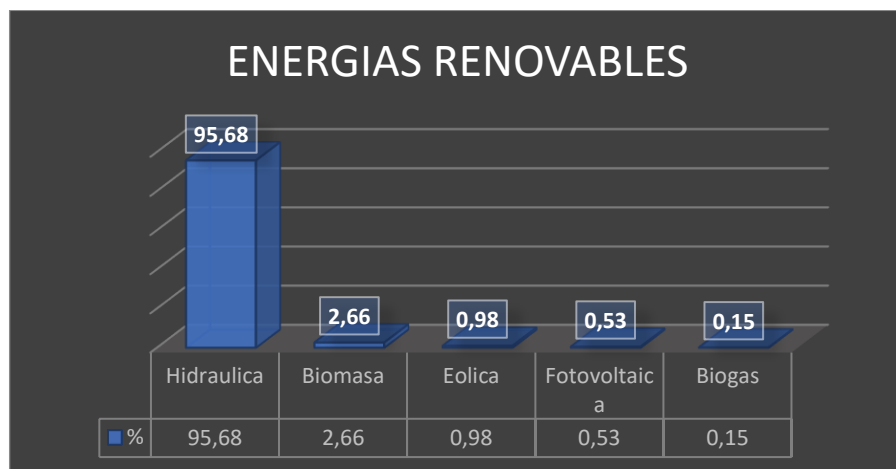


Figura 1. Energías renovables en Ecuador.

### 3.3.2 Recurso eólico en Ecuador

El recurso eólico en Ecuador como detalla el autor [10], está presente en todo el país con una velocidad promedio del viento de 3 m/s. En respuesta a este potencial, Ecuador ha incrementado sus esfuerzos para explotar la energía eólica a través de diversos proyectos importantes y estudios específicos. Especialmente, se han realizado investigaciones en la región central del país, en provincias como Imbabura, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Cañar y Loja, donde la velocidad promedio del viento alcanza los 6 m/s a una altura de 30 metros sobre el suelo. Esta velocidad, considerada alta y adecuada para la generación de energía eólica, se ilustra en la Figura 2. Por lo tanto, la velocidad del viento en Ecuador es un recurso abundante en todo el territorio, con la región central destacándose como particularmente idónea para estudios más detallados y el desarrollo de proyectos de generación eléctrica.

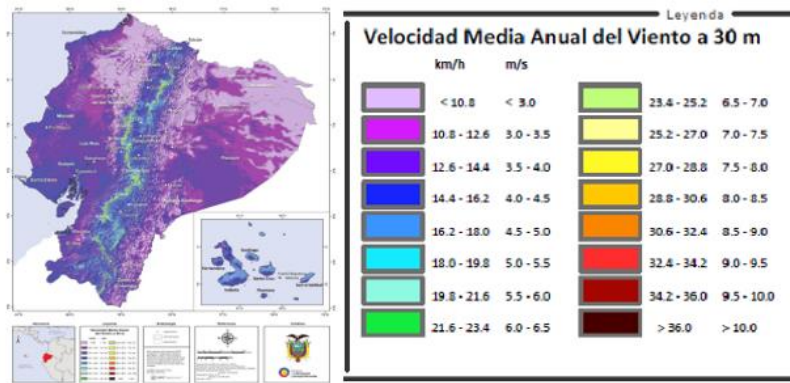


Figura 2. Mapa de recurso eólico en Ecuador a 30 m [10].

### 3.4 Generador eólico

El aerogenerador es un dispositivo eléctrico que transforma la velocidad del viento en energía eólica. Sus componentes principales incluyen la turbina, que mediante el rotor captura el viento, y el alternador, que convierte la energía cinética del rotor en energía eléctrica. Además, cuenta con una cola para mantener la estabilidad, el cableado necesario para conducir la electricidad, y una torre que proporciona la altura adecuada para el alternador. La Figura 3 presenta un esquema detallado de las partes mencionadas del aerogenerador [11].

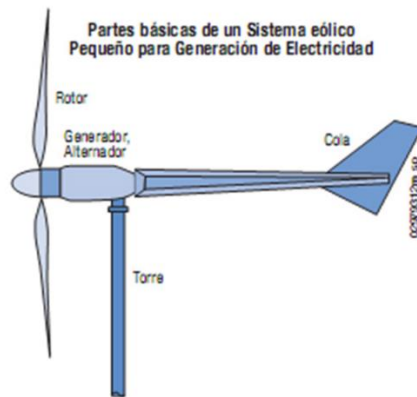


Figura 3. Partes básicas de un aerogenerador[12].

Por otro lado, en la Figura 4 se muestra como la turbina de un aerogenerador se encuentra compuesta internamente. Su funcionamiento consiste en el movimiento giratorio de los alabes dependiendo la velocidad del viento, que resulta en captar la energía cinética para hacer girar al rotor y transformar dicha energía cinética a eléctrica, se puede usar un anemómetro para registrar las velocidades del viento y una veleta para determinar su dirección. Si es necesario se usa un transformador para convertir el voltaje a niveles deseados [11].



Figura 4. Partes internas del generador eólicos [13].

### 3.4.1 Tipos de aerogeneradores

En la actualidad, existen distintos modelos de aerogeneradores, la cual se pueden clasificar principalmente según la orientación del eje de rotación y otras características estructurales y funcionales.

### 3.4.2 Aerogenerador de eje horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal se benefician de su mayor altura, como se ilustra en la Figura 5, donde el eje del generador se sitúa a una elevación considerable. A estas alturas, la

velocidad del viento es mayor, lo que permite una captura de energía más efectiva. Esta estructura elevada optimiza la potencia del viento capturada, facilitando una conversión de energía más eficiente.



Figura 5. Aerogenerador de eje horizontal [14].

Este tipo de aerogenerador se instala en lugares con vientos fuertes y constantes, como campos abiertos o zonas de gran altitud. Su diseño permite capturar eficientemente la energía eólica desde varias direcciones, lo que garantiza una conversión de energía muy confiable. Por ello, este tipo de aerogenerador es una tecnología ampliamente utilizada para aprovechar la energía eólica [14].

### **3.4.3 Aerogeneradores de eje vertical**

Este tipo de aerogenerador presenta un diseño único como se observa en la Figura 6, sus palas curvas giran transversalmente alrededor de un eje central vertical, de ahí su nombre de eje vertical. Gracias a esta estructura, los aerogeneradores de eje vertical pueden capturar la energía eólica desde cualquier dirección sin necesidad de ajustes constantes para orientarse hacia el viento.



Figura 6. Aerogenerador de eje vertical [14].

De esta forma, estos aerogeneradores son adecuados para zonas con vientos variables o donde el viento sopla en varias direcciones. Son ideales para aplicaciones a menor escala, como alimentar hogares o pequeñas empresas. Además, su diseño es más atractivo visualmente y son más silenciosos. La posibilidad de instalarse más cerca del suelo los convierte en una opción viable tanto para entornos urbanos como rurales [14].

### 3.5 Recurso solar en Ecuador

El Ecuador, ubicado sobre la línea ecuatorial, se beneficia de un recurso solar casi constante a lo largo del año. La actualización del mapa solar ecuatoriano, basada en estimaciones satelitales del NSRDB (NREL), de esta forma se puede observar en la Figura 7, la irradiación global horizontal (GHI) en el país varía entre 2.9 y 6.3  $kWh/m^2/día$ . Este recurso es especialmente significativo en provincias como Pichincha, Imbabura, Loja y las Islas Galápagos, donde los niveles de irradiación son notablemente altos, alcanzando hasta 5.7  $kWh/m^2/día$ . La constancia y calidad de la radiación solar en estas áreas favorecen la implementación de tecnologías fotovoltaicas y térmicas, esenciales para diversificar la matriz energética del país y reducir la dependencia de combustibles fósiles [15].

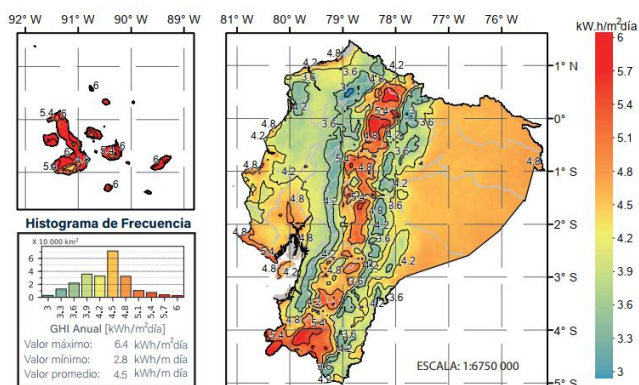


Figura 7. Irradiación solar global horizontal en Ecuador [15].

### 3.5.1 Energía solar

A nivel mundial, la energía solar se ha convertido en una estrategia clave que ha transformado la matriz energética de muchos países, experimentando un crecimiento exponencial. Su naturaleza renovable la convierte en una solución eficaz para abordar el cambio climático. Entre sus numerosos beneficios se incluyen la generación de electricidad y calor, así como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que la hace eficiente y accesible para toda la población.

De acuerdo a [16] la energía solar es una fuente de energía renovable que se encuentra disponible en todo el planeta. Se trata de una forma de energía limpia y virtualmente ilimitada para el ser humano, derivada de la radiación solar que puede ser capturada y convertida en energía térmica o fotovoltaica. Es un recurso sostenible que permite generar electricidad de manera eficiente y respetando el medio ambiente.

### 3.5.2 Fotovoltaica

Según el autor [17], este tipo de energía se obtiene a través de paneles fotovoltaicos. El proceso implica que la radiación solar incide sobre los paneles, provocando la excitación o movimiento de los electrones en el silicio y generando corriente eléctrica. Este fenómeno, conocido como efecto fotovoltaico, fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. La Figura 8 presenta una ilustración que representa este efecto.

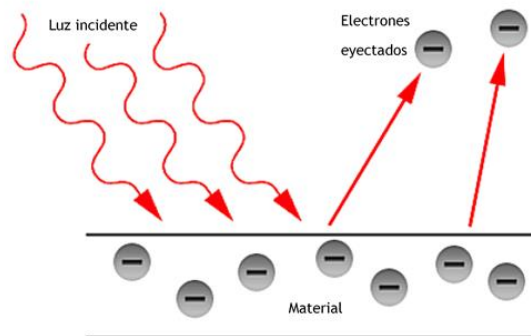


Figura 8. Efecto fotoeléctrico [18].

### 3.5.3 Térmica

De acuerdo al autor [19], la energía solar térmica aprovecha el calor del sol mediante el uso de paneles solares térmicos, también conocidos como colectores térmicos. Estos dispositivos

tienen la capacidad de transformar la radiación solar en calor. Su principal aplicación consiste en calentar un fluido, generalmente agua o aire.

La Figura 9 ilustra un sistema básico de calentamiento de agua, donde el colector absorbe los rayos solares, transfiriendo su energía térmica a un fluido que circula a través del colector. Este fluido, comúnmente agua, aumenta su temperatura gracias al calor absorbido y luego se almacena o se dirige directamente al punto de consumo

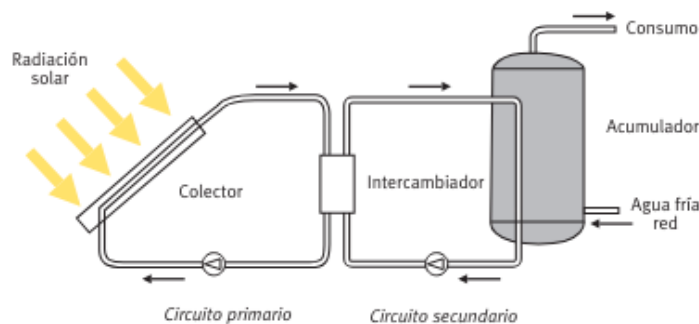


Figura 9. Sistema simple del calentamiento del agua mediante radiación solar [19].

### 3.5.4 Radiación solar

Según el autor [20], la radiación solar es el resultado del proceso de fusión nuclear que ocurre en el sol. Este proceso genera ondas electromagnéticas que se propagan a través del espacio y llegan a la Tierra, proporcionando una cantidad de energía 10,000 veces mayor que el consumo energético actual de toda la humanidad. Todas las ondas electromagnéticas viajan en el vacío a una velocidad de 299,792 km/s. La Figura 10 ilustra los tres tipos de radiación solar, que se describen a continuación:

**Radiación directa:** Se define por su trayectoria recta desde el Sol hasta la superficie terrestre, sin desviaciones a través de la atmósfera. Esta forma de radiación es crucial para la generación de energía solar utilizando paneles fotovoltaicos.

**Radiación difusa:** Esta forma de radiación alcanza la superficie terrestre después de haber sido dispersada y reflejada en la atmósfera, cambiando su dirección varias veces. La radiación difusa se dispersa en múltiples direcciones antes de llegar a la superficie, y es responsable de contribuir a la iluminación y calentamiento de la Tierra.

**Radiación Global:** Esta se define como la combinación de la radiación solar directa y la difusa que llega a la superficie terrestre. Incluye tanto la energía solar que llega en línea recta desde el

Sol como aquella que se dispersa y refleja en diversas direcciones a través de la atmósfera antes de alcanzar la superficie.



Figura 10. Radiación directa, difusa y global [21].

### 3.5.5 Hora solar pico (PSH)

Las horas solar pico (PSH) se refieren a una medida estándar de la energía solar disponible en un área específica. Una hora pico solar se define como una hora de sol brillante sin nubes, con una irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Este valor es esencial para evaluar el potencial solar de una región. Por ejemplo, si una zona tiene un PSH promedio de 6, significa que en esa área se pueden esperar, en promedio, 6 horas diarias de luz solar intensa y sin nubes. El PSH se calcula sumando la energía solar total recibida durante un día y dividiéndola por  $1000 \text{ W/m}^2$ . La Figura 11 ilustra la cantidad de energía que se puede generar en un día basándose en este concepto [22].

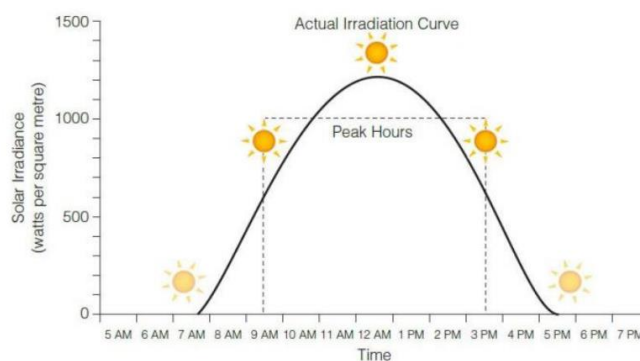


Figura 11. Hora solar pico durante el día.

### 3.5.6 Transformación de recurso solar a energía eléctrica.

En este caso se muestra una explicación de cómo se puede transformar la energía solar a energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, para iniciar la luz del sol incide sobre las células

fotovoltaicas creándose un campo de electricidad en función de la excitación de los electrones lo que hace que se genere corriente eléctrica y por ende voltaje DC en la salida del panel, de esta forma a medida de si existe mayor radiación mayor potencia producirá el panel, para lo cual se necesita corriente alterna para el uso residencial, comercial o industrial, es así que se realiza un proceso de inversión.

### **3.5.7 Panel Fotovoltaico**

El panel fotovoltaico es un elemento el cual tiene la capacidad de percibir los rayos del sol para mediante células fotoeléctricas de un material semiconductor como el silicio hacer circular los electrones de los rayos solares y así producir electricidad. Considerando una condición estándar de una radiación solar base de  $1000W/m^2$  a una temperatura de  $25^{\circ}C$ , una célula fotoeléctrica es capaz de generar una tensión de 0.5-0.6 V con una potencia de 1-1.5 Watios [23].

### **3.5.8 Tipos de paneles fotovoltaicos**

En el mercado, existen dos tipos principales de paneles fotovoltaicos disponibles:

#### **3.5.8.1 *Panel fotovoltaico Monocristalino***

Su diseño está hecho con monocristal de silicio, con el objetivo de combinarse a una parte de fósforo o de igual forma boro en un crisol a  $1425^{\circ}C$ , como se muestra en la Figura 12. En otras palabras, están compuestos por una única barra de silicio integra. Este tipo de panel posee un rendimiento del 24.7% [24].

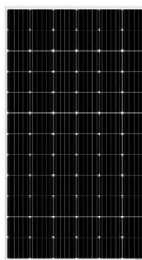


Figura 12. Panel fotovoltaico monocristalino.

#### **3.5.8.2 *Panel fotovoltaico Policristalino***

De igual forma se muestra en la Figura 13, este tipo de panel está compuesto por fragmentos de una barra de silicio que se encuentran formados desorganizadamente en diminutos cristales [24].



Figura 13: Panel fotovoltaico policristalino.

### 3.5.9 Tipos de conexiones para paneles fotovoltaicos.

Hay tres formas de conexión posibles de los paneles fotovoltaicos, las cuales se describen a continuación.

#### 3.5.9.1 *Conexión en serie*

Como se muestra en la Figura 14, en esta configuración la corriente se mantiene constante, mientras que el voltaje total es la suma de los voltajes individuales de cada panel. Es importante tener en cuenta que, si uno de los paneles falla, todo el sistema dejará de funcionar [24].

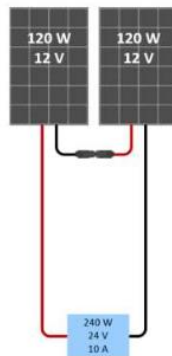


Figura 14. Conexión en serio de paneles solares.

#### 3.5.9.2 *Conexión en paralelo*

Como se ilustra en la Figura 15, los terminales positivos y negativos de cada panel se conectan entre sí. En esta configuración, el voltaje permanece constante, mientras que la corriente total es la suma de las corrientes de cada panel [24].

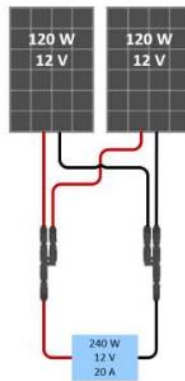


Figura 15. Conexión en paralelo de paneles solares.

### 3.5.9.3 *Conexión mixta*

Esta forma de conexión es la combinación de las anteriores conexiones, es decir conjuntos de paneles en serie conectados con otros conjuntos en paralelo como se observa en la Figura 16.

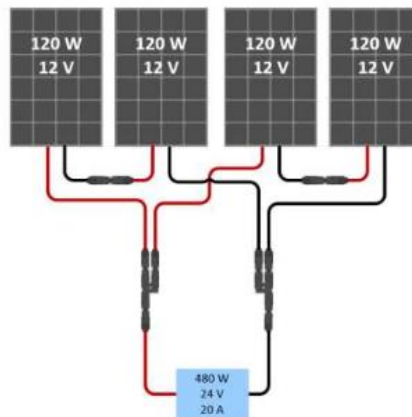


Figura 16. Conexión mixta de paneles solares.

## 4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

### 4.1 Diseño del modelo del poste híbrido

El modelo de poste híbrido fue diseñado con el objetivo de ser transportable y ergonómico, además de incorporar aspectos estéticos que capten la atención del público, facilitando su futura replicación. Este diseño incluye un aerogenerador de eje vertical en la parte superior, seguido de dos paneles solares, uno en cada lado, y una caja de control. El modelo diseñado se ilustra en la Figura 17.

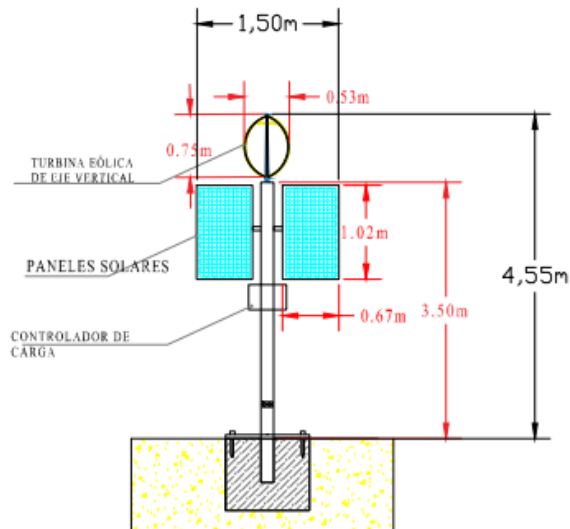


Figura 17. Modelo de poste híbrido.

#### 4.2 Diagrama de conexiones

El sistema fotovoltaico y el sistema eólico están conectados a la batería mediante los controladores de carga correspondientes a cada sistema. Posteriormente, este voltaje DC se convierte en voltaje AC a través del inversor, permitiendo la conexión de cargas que requieren una fuente AC a través de un tomacorriente. Adicionalmente, se incluye una toma DC de 5V. Este proceso se ilustra en la Figura 18.

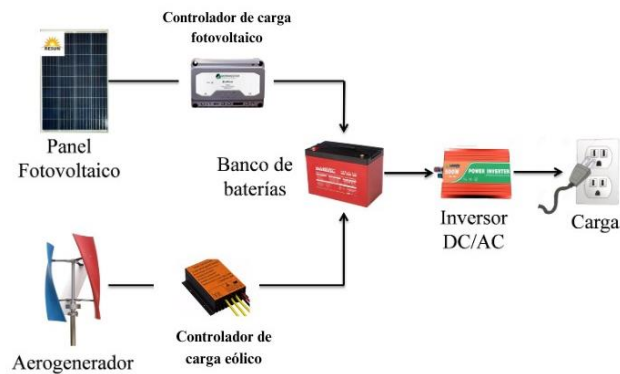


Figura 18. Esquema de conexión.

De una forma más detallada se visualizan las conexiones de la caja de control, en donde ingresan los conductores del sistema eólico y el sistema fotovoltaico posteriormente se llevan las conexiones a cada controlador respectivamente, seguidamente se conectan en paralelo la fase de cada salida del controlador al igual que el neutro para alimentar la batería, posteriormente de la batería las conexiones se llevan al inversor para por ultimo llevar al breaker térmico como se visualiza en la Figura 19.

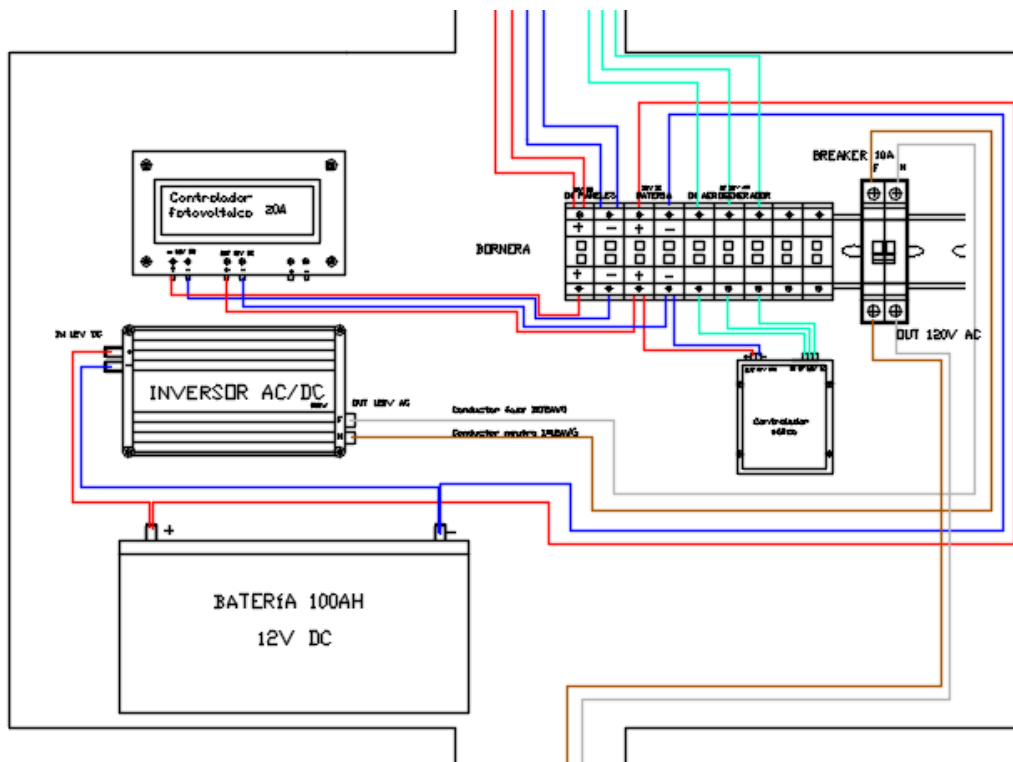


Figura 19. Diagrama de conexiones del poste híbrido.

### 4.3 Estudios de potenciales lugares para la implementación del sistema

La elección del lugar adecuado para la implementación del poste híbrido solar-eólico es crucial para garantizar la máxima eficiencia y efectividad del sistema. Con este objetivo, se identificaron dos ubicaciones como se identifica en la Tabla 2, potenciales que presentan características prometedoras para el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Potenciales lugares para la instalación del poste.

PROVINCIA	CANTÓN	SECTOR	COORDENADAS	ALTITUD
Cotopaxi	Latacunga	Barrio San Juan	Latitud: -0.955	2850 msnm
			Longitud: -78.6292	
Cotopaxi	Pujilí	Comunidad San José de Alpamalag	Latitud: -1.055800	2703 msnm
			Longitud: -78.673518	



#### 4.3.1 Evaluación de recursos energéticos de los potenciales lugares

Para asegurar la instalación del sistema híbrido solar-eólico en la ubicación con mayor recurso energético, fue esencial evaluar meticulosamente las magnitudes de radiación solar y la velocidad del viento. Estos factores son críticos para el funcionamiento eficiente de los componentes generadores del sistema, tales como los paneles solares y el aerogenerador. Una adecuada disponibilidad de estos recursos naturales garantizará que el sistema opere correctamente y mantenga una producción energética sostenible a lo largo del tiempo.

#### 4.4 Equipos de medición

Para evaluar con precisión la radiación solar global y la velocidad del viento, se emplearon dos equipos especializados, cuyas especificaciones y modelos se detallan en la Tabla 3. Esta información es esencial para validar la adecuación de los recursos naturales en las ubicaciones seleccionadas.

Tabla 3. Equipos de medición.

Equipo	Modelo	Utilidad	Imagen
Piranómetro	Apogee MP-100	Instrumento para medir de la radiación solar global.	
Estación meteorológica	Acurite 01036	Instrumento para medir variables meteorológicas en este caso la velocidad del viento.	

#### 4.5 Recurso solar en la comunidad San José de Alpamalag

Para la obtención de los datos de radiación solar global en la comunidad se ha llevado a cabo los pasos mostrados a continuación:

##### 4.5.1 Instalación del equipo para medir la radiación solar en Alpamalag

Un piranómetro es un instrumento científico utilizado para medir la radiación solar global. Este dispositivo permite obtener datos precisos sobre la cantidad de energía solar que llega a una superficie específica. En este caso, el piranómetro fue colocado en una caja sellada y ubicado estratégicamente en la terraza de la casa barrial de la comunidad, como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Piranómetro colocado en la comunidad de Alpamalag.

##### 4.5.2 Recolección de datos de la radiación solar global en Alpamalag

Para la recolección de datos de radiación solar global, se empleó un pirómetro conectado a una computadora mediante un cable USB, utilizando como interfaz el software "*ApogeeAMS*", proporcionado por el fabricante del equipo.

Los datos recopilados por el equipo de medición se registraron cada treinta minutos a lo largo de un período de 30 días en la comunidad como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Periodo de recolección de datos en Alpamalag.

FECHA INICIO	FECHA FIN
2 de enero del 2024	31 de enero del 2024

A partir de esta información detallada, se procesaron los datos para calcular la radiación solar por hora. Los resultados obtenidos, que reflejan las variaciones diurnas y nocturnas de la radiación solar global en la localidad, se presentan a continuación:

### 4.5.3 Representación gráfica de la radiación solar global en Alpamalag

La Figura 21 muestra la variación horaria de la radiación solar global en Alpamalag durante un período de 30 días. A partir de los datos recopilados, se calculó la radiación promedio mensual. Se observa que la radiación solar inicia en valores mínimos a la medianoche, incrementándose de manera constante durante las horas matutinas. El pico máximo de radiación promedio se registra alrededor de las 13:00 horas, alcanzando un valor de  $535 \text{ W/m}^2$ , lo que indica un aprovechamiento óptimo de la energía solar en este horario.

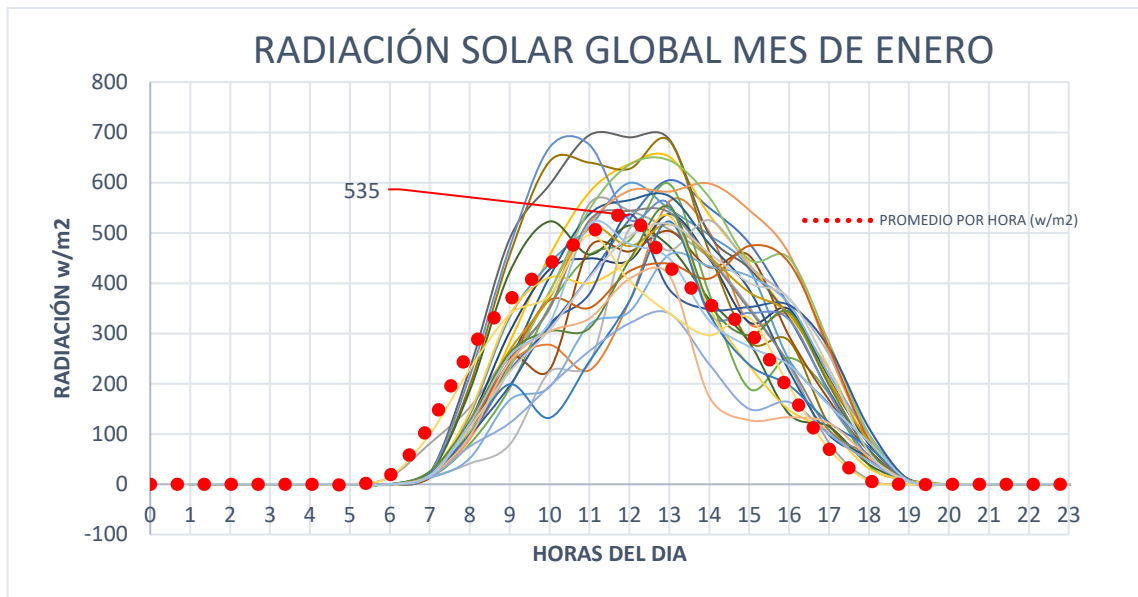


Figura 21. Radiación solar global promedio en la comunidad de Alpamalag.

#### 4.5.3.1 Promedio total de la radiación solar en Alpamalag

Se realizó el cálculo del promedio total de la radiación solar global en la comunidad de Alpamalag y se obtuvo:

$$\text{Promedio total} = 277 \text{ w/m}^2$$

#### 4.5.3.2 Hora solar pico en Alpamalag

La hora solar pico, representa el promedio de horas solar que el lugar de estudio recibirá al día y su cálculo se lo realizó con la ecuación (2).

$$HSP = \frac{\text{Promedio Radiación solar en el día}}{\text{horas del día}} \quad (2)$$

Para este cálculo se necesita el promedio de radiación media durante todo el día en este caso es:  $150 \frac{w}{m^2}$  dividido para el número de horas del día.

$$HSP = \frac{150 \text{ w/m}^2}{24 \text{ h}} = 6,24 \text{ HSP}$$

#### 4.5.4 Recurso eólico en San José de Alpamalag

Para la obtención de los datos de velocidad del viento en la comunidad de Alpamalag se ha llevado a cabo los pasos mostrados a continuación:

##### 4.5.4.1 *Instalación del equipo para medir la velocidad del viento en Alpamalag*

En este caso, se optó por instalar la estación meteorológica en la terraza de la casa comunitaria de la comunidad, un punto elevado que proporciona una exposición óptima a las corrientes de aire sin obstrucciones significativas a una altura de **4m**. Esta elección se muestra en Figura 22, donde se ilustra el emplazamiento del equipo, destacando su alineación y orientación estratégica respecto a las condiciones ambientales predominantes en la zona.



Figura 22. Estación meteorológica colocada en la comunidad de Alpamalag.

##### 4.5.4.2 *Recolección de Datos de la velocidad del viento en Alpamalag*

Para la recolección de datos sobre la velocidad del viento, se utilizó una estación meteorológica compacta, la cual fue conectada a una computadora a través de un cable USB. Como interfaz para el manejo y visualización de los datos, se empleó el software "Acurite PC Connect", proporcionado por el fabricante del equipo. Este sistema permitió una recopilación eficiente y precisa de las mediciones meteorológicas necesarias para el estudio.

Los datos obtenidos por la estación meteorológica fueron registrados en intervalos de 15 minutos durante un lapso de 30 días. Utilizando esta información, se procedió a calcular la velocidad promedio del viento para cada hora del día.

Con los datos anteriores se obtuvo la Figura 23, donde se muestra la variación de la velocidad promedio del viento en cada hora durante los 30 días. En función a aquello se calculó la velocidad promedio de todo el mes donde puede observar que la velocidad del viento aumenta gradualmente desde la hora 0 hasta alcanzar su pico máximo alrededor de las 13:00 horas con una velocidad de 2.99 m/s. Posteriormente, la velocidad comienza a disminuir progresivamente hasta llegar a valores mínimos hacia la medianoche.

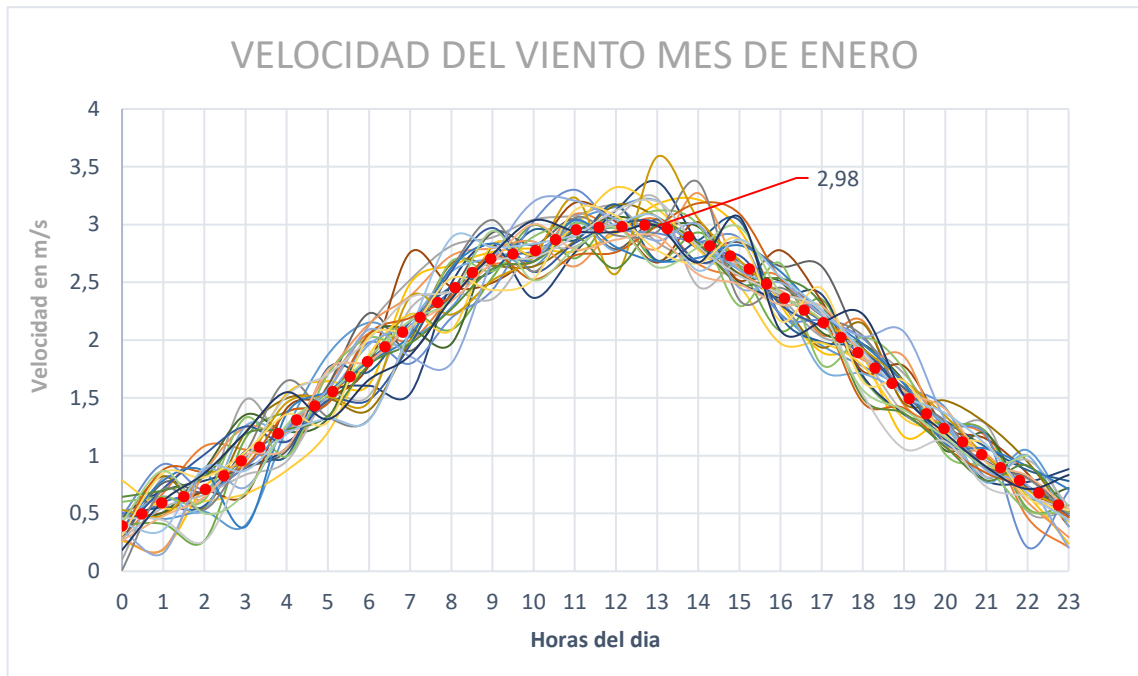


Figura 23. Velocidad promedio en la comunidad de Alpamalag.

#### 4.5.4.3 *Promedio total de la velocidad del viento en Alpamalag*

Se realizó el cálculo del promedio total de la velocidad del viento en la comunidad de Alpamalag y se obtuvo:

$$\text{Promedio total} = 1.80 \text{ m/s}$$

#### 4.6 Recurso solar en el barrio San Juan del cantón Latacunga

Para la obtención de los datos de radiación solar se ha llevado a cabo los pasos mostrados a continuación:

#### 4.6.1 Instalación del equipo para medir la radiación solar en el barrio San Juan.

En este caso, el piranómetro fue colocado en una caja sellada y ubicado estratégicamente en la terraza de un domicilio de un residente del barrio, a una altura de 3.50 metros sobre el suelo, como se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Piranómetro colocado en el barrio San Juan.

#### 4.6.2 Recolección de Datos de la radiación solar global en el Barrio San Juan.

Para la recolección de datos de radiación solar global, se empleó un pirómetro conectado a una computadora mediante un cable USB, utilizando como interfaz el software "ApogeeAMS", proporcionado por el fabricante del equipo.

Los datos recopilados por el equipo de medición se registraron en el software "ApogeeAMS", cada treinta minutos a lo largo de un período de 60 días como se identifica en la Tabla 5.

Tabla 5: Periodo de recolección de datos en San Juan.

FECHA INICIO	FECHA FIN
1 de febrero del 2024	28 de febrero del 2024

A partir de esta información detallada, se procesaron los datos para calcular la radiación solar por cada hora y radiación total promedio del mes.

#### 4.6.3 Representación gráfica de la radiación solar global en el barrio San Juan.

La Figura 25 muestra la variación por cada hora de la radiación solar global en San Juan durante los 28 días. A partir de los datos recopilados se calculó la radiación promedio de todo el mes, es evidente que la radiación solar inicia en valores mínimos a la medianoche, incrementándose

de manera constante durante las horas matutinas. El pico máximo de radiación se registra alrededor de las 14:00 horas, alcanzando un valor de  $520 \text{ W/m}^2$ .

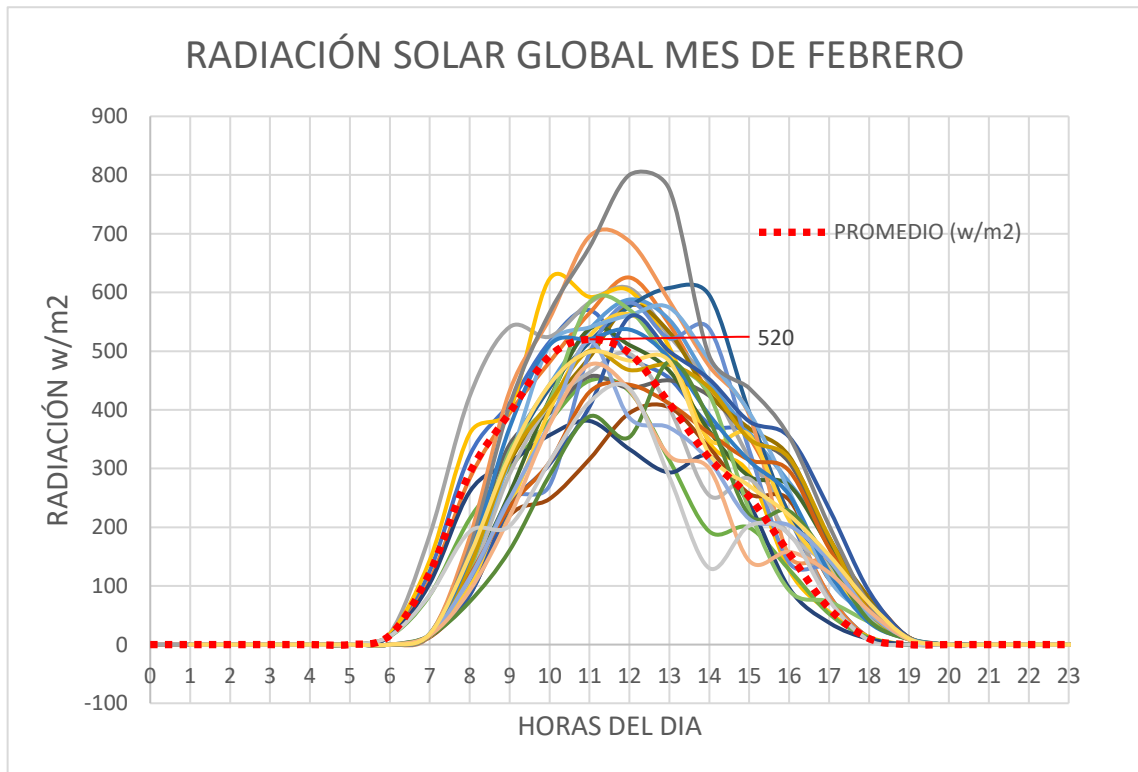


Figura 25. Radiación solar global promedio en el barrio San Juan.

#### 4.6.4 Promedio total de la radiación solar en el Barrio San Juan

Se realizó el cálculo del promedio total de la radiación solar en el barrio San Juan y se obtuvo:

$$\text{Promedio total} = 272 \text{ w/m}^2$$

##### 4.6.4.1 Hora solar pico en el barrio San Juan

Para este en este caso el promedio de radiación media durante todo el día es:  $148 \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$  dividido para el número de horas del día.

$$HSP = \frac{148 \text{ w/m}^2}{24\text{h}} = 6,14 \text{ HSP}$$

#### 4.7 Recurso eólico en el Barrio San Juan

Para la obtención de los datos de velocidad del viento se ha llevado a cabo los pasos mostrados a continuación:

#### **4.7.1 Instalación del equipo para medir la velocidad del viento en el Barrio San Juan**

En este caso, se optó por instalar la estación meteorológica en la terraza de un domicilio de un habitante del sector, un punto elevado que proporciona una exposición óptima a las corrientes de aire sin obstrucciones significativas. Esta elección se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Estación meteorológica colocada en el Barrio San Juan.

#### **4.7.2 Recolección de Datos de la velocidad del viento en el Barrio San Juan**

En el software "Acurite PC Connect" Los datos obtenidos por la estación meteorológica fueron registrados en intervalos de 15 minutos durante un lapso de 60 días. Utilizando esta información, se procedió a calcular la velocidad promedio del viento para cada hora del día.

#### **4.7.3 Representación gráfica de la velocidad del viento en el Barrio San Juan**

Con los datos anteriores se obtuvo la Figura 27, la cual muestra la variación horaria de la velocidad del viento durante un período de 28 días. Posteriormente, se calculó la velocidad promedio mensual. Se observa que la velocidad del viento aumenta gradualmente desde la medianoche hasta alcanzar su pico máximo alrededor de las 13:00 horas, con una velocidad de 4,39 m/s. Posteriormente, la velocidad comienza a disminuir progresivamente hasta llegar a valores mínimos hacia la medianoche.

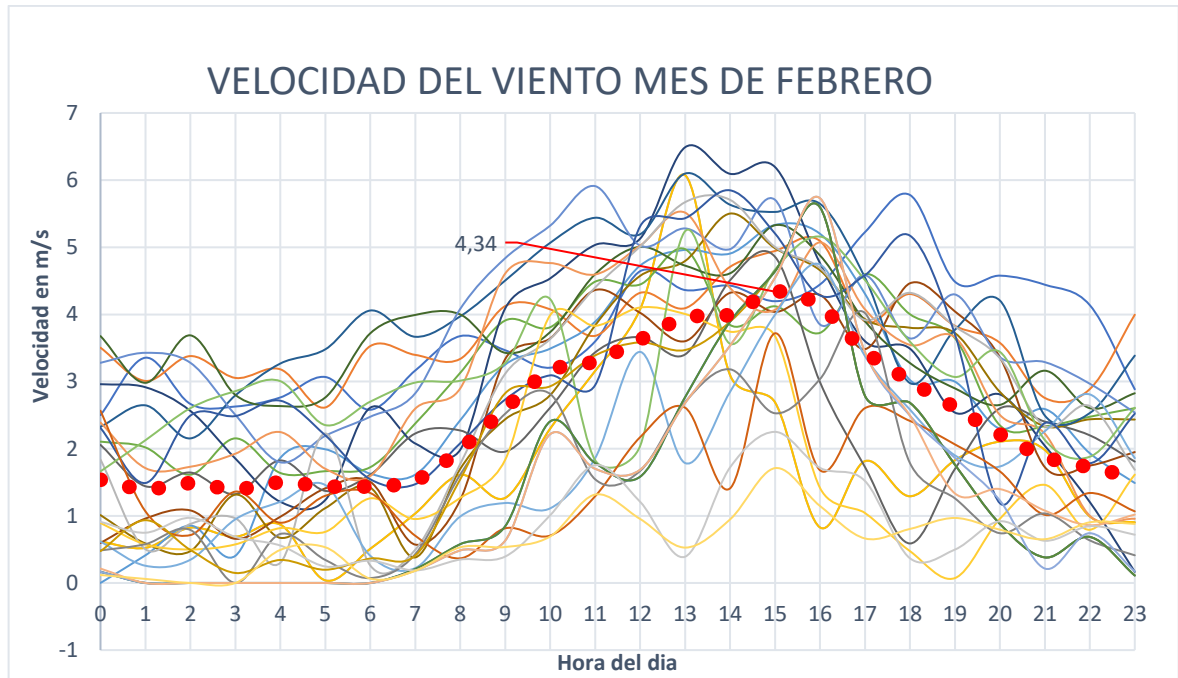


Figura 27. Velocidad promedio en el Barrio San Juan.

#### 4.7.4 Promedio total de la velocidad del viento en el Barrio San Juan.

Se realizó el cálculo del promedio total de la velocidad del viento en el Barrio San Juan y se obtuvo:

$$\text{Promedio total} = 2.47 \text{ m/s}$$

### 4.8 Comparación de recursos energéticos de los potenciales lugares

Una vez completada la recolección de datos, se procedió a comparar los promedios obtenidos durante el período de mediciones en el barrio San Juan del cantón Latacunga y en la parroquia San José de Alpamalag del cantón Pujilí.

#### 4.8.1 Comparación de recurso solar

Realizando la comparación de la radiación solar de los 2 lugares se obtuvo el promedio de la radiación solar como se identifica en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación radiación solar global.

COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE LA RADIACIÓN SOLAR		
LUGAR	PERIODO DE MEDICIÓN	PROMEDIO (w/m2)
San Jose de Alpamalag	02-01-24 hasta 31-01-24	277
Barrio San Juan	01-02-24 hasta 28-02-24	272

En la Figura 28 muestra que la radiación solar en el barrio San Juan es un 1,6% menor en comparación con la radiación en San José de Alpamalag.

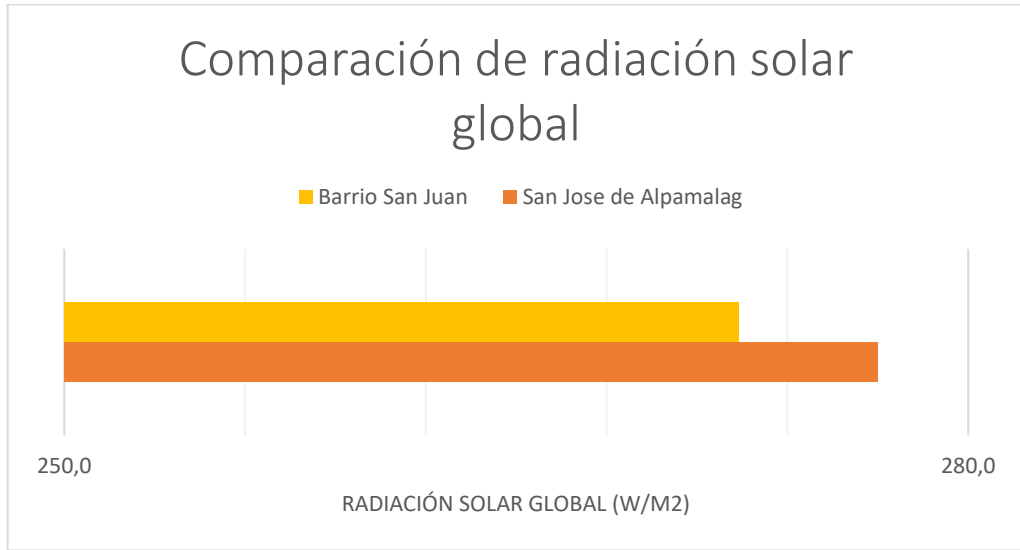


Figura 28. Comparación de la radiación solar global.

#### 4.8.2 Comparación de recurso eólico

Realizando la comparación de la velocidad del viento de los 2 lugares se obtiene valores promedio como se puede identificar en la Tabla 7.

Tabla 7. Comparación de la velocidad del viento.

COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO		
LUGAR	PERIODO DE MEDICIÓN	PROMEDIO (m/s)
San Jose de Alpamalag	02-01-24 hasta 31-01-24	1.80
Barrio San Juan	01-02-24 hasta 31-03-24	2.47

En la Figura 29 se evidencia que la velocidad del viento en el barrio San Juan es más alta en un 37.32% a comparación de la velocidad del viento en la comunidad de San José de Alpamalag.

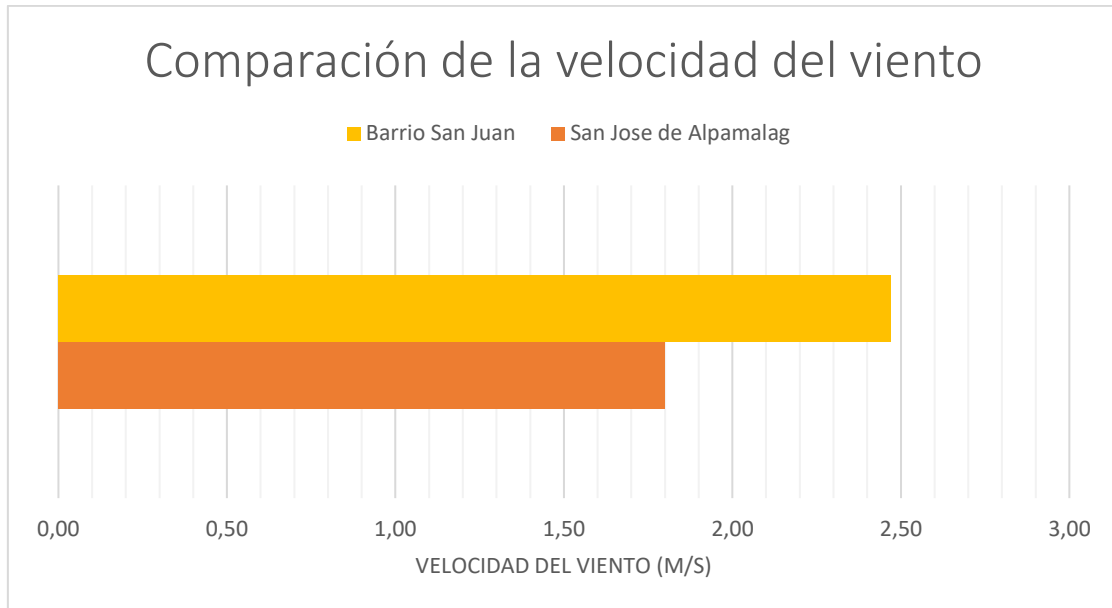


Figura 29. Comparación de la velocidad del viento.

#### 4.9 Selección del lugar con más recurso energético

Al realizar el análisis anterior de los recursos energéticos presentes en cada lugar se pudo obtener el índice energético el cual fue el determinante para la selección del lugar para la instalación del poste híbrido, su cálculo se lo realizó mediante la ecuación 3 que propone el autor [25].

$$I.energético = \alpha(P_{solar}) + \beta(P_{eólica}) \quad (3)$$

Para este caso  $\alpha$  y  $\beta$  son factores de uso del recurso solar y del recurso eólico en el sistema híbrido respectivamente, para este caso 30% para el eólico, y 70% para el fotovoltaico, la potencia solar del lugar, y la potencia eólica promedio de todo el mes de mediciones. de esta manera se obtuvo los valores mostrados en la Figura 30.

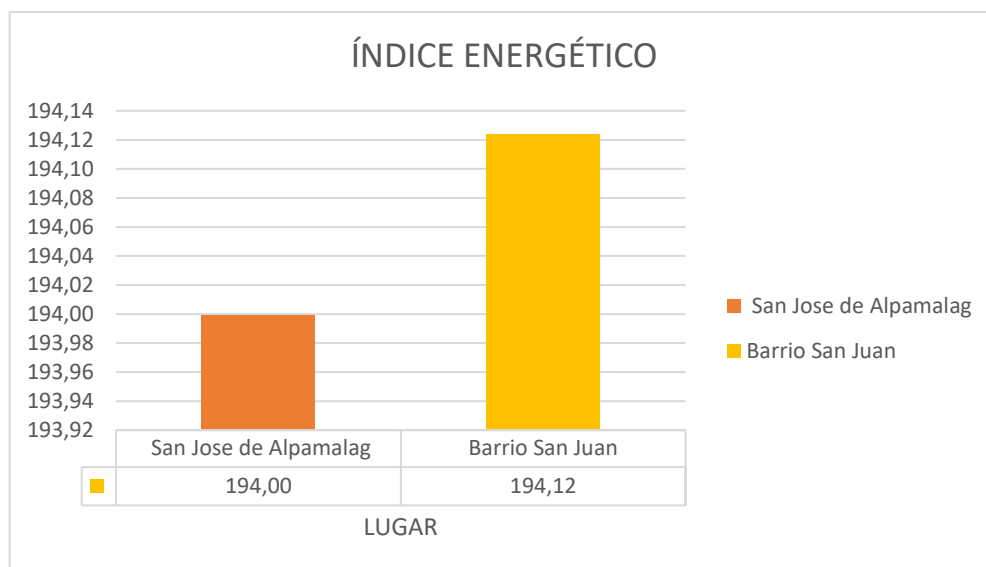


Figura 30. Comparación del índice energético.

Este índice energético muestra el potencial combinado del recurso solar y el recurso eólico durante un día. El Barrio San Juan del cantón Latacunga presenta un índice energético superior, excediendo en un 6,41% al registrado en la Comunidad San José de Alpamalag.

Este criterio fue determinante para seleccionar el barrio San Juan. Se consideró la parada de buses como la ubicación óptima, tal como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8. Características del lugar de instalación.

CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE INSTALACIÓN	
<b>Lugar</b>	LATACUNGA (Barrio San Juan)
<b>Coordenadas</b>	-0.955 -78.6292
<b>Altura</b>	2850msnm
<b>Especificaciones</b>	Junto a la parada de autobuses

La instalación del poste solar-eólico se realizará en un punto donde no hay acceso a energía eléctrica y que es frecuentado por los moradores del sector mientras esperan el transporte público. El lugar de instalación se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Lugar de instalación del poste híbrido.

#### 4.10 Estimación de la demanda energética

La demanda energética que se estima será satisfecha por el poste eólico-solar se define a continuación:

##### 4.10.1 Levantamiento de cargas

Para el poste híbrido se ha considerado 2 tomas de corriente uno de 127V y el otro de USB de 5V, para lo cual en base al autor [26], la normativa ecuatoriana de la construcción menciona que cada punto de tomacorriente debe ser dimensionado con una potencia nominal de 200w y un factor de utilización del 50%, se ha establecido la demanda estimada del poste híbrido como se identifica en la Tabla 9.

Tabla 9. Levantamiento de cargas para el poste solar-eólico.

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA TOTAL (W)	FACTOR UTILIZACIÓN	HORAS DE USO AL DÍA (H)	ENERGIA POR DÍA (kW/h día)
Tomacorriente 5V	1	200	0,5	24	2,40
Tomacorriente 120V	1	200	0,5	24	2,40
<b>POTENCIA REQUERIDA DEL SISTEMA</b>		<b>200</b>			

La potencia instalada demandada del sistema es de **200w**.

#### 4.10.2 Demanda energética por horas

Considerando el factor de utilización de 50% como se muestra en la Tabla 10, se realizó el cálculo de la demanda energética en cada hora, considerando una carga lineal.

Tabla 10. Demanda energética en cada hora del día.

DEMANDA ENERGÉTICA POR CADA HORA DEL DIA				
HORAS DEL DIA	Tomacorriente 5V	Tomacorriente 120V	FACTOR UTILIZACIÓN	ENERGIA kW/h
POR CADA HORAS	200	200	0,5	0,2

Se tiene una demanda energética lineal de **0,2kW/h** por cada hora del día.

#### 4.11 Dimensionamiento de los componentes

El poste híbrido solar-eólico requiere de los siguientes equipos eléctricos y electrónicos los cuales necesitan ser dimensionados en función de los diferentes parámetros eléctricos del sistema como se identifica en la Tabla 11.

Tabla 11: Equipos requeridos para el poste solar-eólico.

ELEMENTOS DEL SISTEMA	CANTIDAD
PANELES SOLARES	2
CONTROLADOR SOLAR	1
AÉROGENERADOR	1
CONTROLADOR EÓLICO	1
BATERÍA CICLO PROFUNDO	1
INVERSOR	1
BREKER TÉRMICO	1

##### 4.11.1 Paneles solares

Por el diseño del poste que requiere de dos paneles, uno en cada lado, se ha considerado para ello la demanda instalada, con esto se ha realizado la selección de 2 paneles solares de 110 *wp* cada uno como se muestra en Tabla 12.

Tabla 12. Dimensionamiento de los paneles solares.

EQUIPO	POTENCIA PICO (W)	CANTIDAD	DEMANDA INSTALADA (W)
PANELES SOLARES	110	2	220

Los paneles solares escogidos son el modelo RSM110P de la marca RESUN SOLAR ENERGY como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Panel solar de 110wp de la marca RESUN SOLAR ENERGY.

Las características técnicas principales de los paneles solares para una irradiancia de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Características técnicas de cada panel solar del modelo RSM110wp.

Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	Open Circuit Voltage-Voc(V)	Short Circuit Current-Isc(A)	Maximum Power Voltage-Vmp(V)	Maximum Power Current-Imp(A)	Module Efficiency (%)
110W	21.88V	6.26A	17.90V	5.88A	16.00%

Las dimensiones del panel solar RSM110P se muestra en la Figura 33.

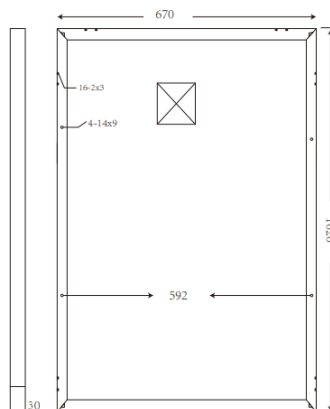


Figura 33: Dimensiones del panel solar RSM110P.

La curva de funcionamiento del panel solar RSM110P a diferentes irradiancias se muestra en la Figura 34.

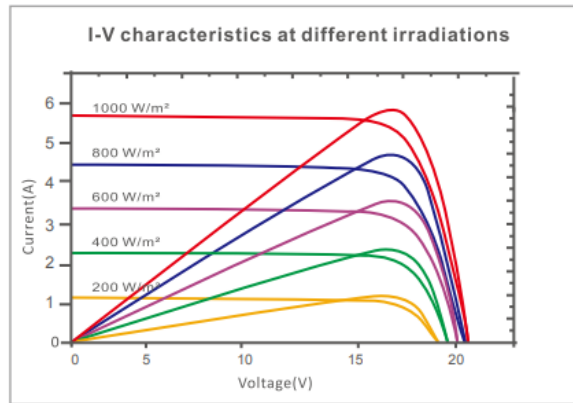


Figura 34. Curva de funcionamiento del panel solar RSM100P a diferentes irradiancias [27].

#### 4.11.2 Controlador solar

El controlador solar escogido se lo determinó en función de la ecuación (4) la cual incorpora la corriente de los paneles solares tomada de su datasheet, con la suma de los dos se tiene un total de 20 A la cual ha servido para seleccionar el controlador como se muestra en Tabla 14.

$$\text{Corriente del controlador} = \sum \text{corriente de los paneles} \quad (4)$$

$$\text{Corriente del controlador} = 10A + 10A$$

$$\text{Corriente del controlador} = \mathbf{20A}$$

Tabla 14. Corriente de los paneles solares.

EQUIPO	CANTIDAD	CORRIENTE INDIVIDUAL MAX (A)	CORRIENTE TOTAL PANELES (A)
PANELES SOLARES	2	10	20

Con la corriente máxima de los paneles solares de 20 A se buscó la oferta en el mercado y se escogió el modelo **EC-20** de la marca EcoPulse como se muestra en la Figura 35, el cual nos brinda la opción de regular la carga de la batería con la energía captada por los paneles.



Figura 35. Controlador solar EC-20 de la marca Ecopulse.

Las características técnicas del controlador solar EC-20 mediante el autor [28], se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15: Características técnicas del controlador solar EC-20 [28].

Parámetro	Descripción
Voltaje de la batería nominal	Detección automática de 12 V o 24 V.
Rango del voltaje de la batería	10 V-35 V.
Precisión del voltaje	0,1% +/- 50 mV.
Corriente máxima para la batería	10 A, 20 A o 30 A.
Voltaje máximo del circuito abierto solar FV	60 V.
Corriente de carga nominal	10 A o 30 A.
Autoconsumo	< 15 mA
Indicadores LED	(1) estado, (3) nivel de carga de la batería.
Protector de sobretensión transitoria	1500 W (solar, batería, carga).

#### 4.11.3 Aerogenerador

El aerogenerador también permitirá a través de su controlador la carga de la batería, en este caso para su dimensionamiento se lo realizo en función de la demanda instalada que en este caso es de 460w. El modelo del poste requiere de un aerogenerador de eje vertical, el cual se encuentra muy limitado en mercado nacional, el aerogenerador requerido es uno de 500w considerando abastecer la demanda máxima como se identifica en la Tabla 16.

Tabla 16. Dimensionamiento del aerogenerador.

EQUIPO	POTENCIA NOMINAL REQUERIDA (W)
GENERADOR EÓLICO	500

Debido a la escasez de generadores de la potencia y modelo originalmente requerido por el modelo, no fue posible encontrar uno que cumpliera con esas especificaciones exactas. Como alternativa, se optó por un generador de 1000W modelo X3 de la marca BEIGOOD mostrado

en la Figura 36, este modelo sí está disponible en el mercado y puede satisfacer adecuadamente las necesidades del proyecto.



Figura 36. Aerogenerador eólico X3 de la marca Beigood.

Las características técnicas del aerogenerador X3 de la marca Beigood se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Características técnicas del aerogenerador.

<b>CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL AEROGENERADOR X3</b>	
<b>Potencia nominal</b>	3000 W
<b>Tensión nominal</b>	12 V
<b>Velocidad de viento inicial</b>	2 m/s
<b>Velocidad de viento nominal</b>	11 m/s
<b>Velocidad de viento final</b>	50 m/s
<b>Numero de palas</b>	3
<b>Peso</b>	14 Kg
<b>Diámetro del rotor</b>	530 mm
<b>Material de la pala</b>	Fibra de Nylon
<b>Longitud de la pala</b>	750 mm
<b>Tipo de Generador</b>	Trifásico de Imán Permanente
<b>Sistema de control</b>	Electromagnético
<b>Temperatura de trabajo</b>	-40 °C-80 °C

#### 4.11.4 Controlador Eólico

El controlador eólico del sistema es el proporcionado con el mismo aerogenerador, el modelo es BGCT-M1 de la marca Beigood mostrado en la Figura 37.



Figura 37: Controlador BGCT.M1 marca Beigood.

Las características técnicas del controlador BGCT-M1 se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Características técnicas del controlador BGCT-M.

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CONTROLADOR BGCT-M1</b>	
Marca	Beigood
Número de Modelo	BGCT-M1
Tipo	MPPT
Certificado	/
Garantía	3 años
Tiempo de Trabajo (h)	>100,000 horas
Color	Negro

#### 4.11.5 Batería

Para el dimensionamiento de la batería se realizó el cálculo de la corriente consumida por el sistema en una hora mediante la ecuación (5) en función de la demanda mostrada en el capítulo “Estimación de la demanda energética”, y el voltaje del sistema mostrados en la Tabla 19.

$$\text{Corriente consumida por hora} = \frac{\text{energía hora}}{\text{voltaje del sistema}} \quad (5)$$

$$\text{Corriente consumida por hora} = \frac{230W/h}{12V}$$

$$\text{Corriente consumida por hora} = \mathbf{16,67 A/h}$$

Tabla 19. Datos requeridos para el dimensionamiento de la batería.

<b>DIMENSIONAMIENTO DE LA BATERÍA</b>		
<b>MAGNITUD</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
ENERGIA DIARIA	4800	W/h día
ENERGIA HORA	200	W/h
VOLTAJE SISTEMA (SALIDA)	12	V
CORRIENTE HORA	16,67	A/h
CORRIENTE AL DIA	400	A/h

La corriente consumida por hora del sistema es 16,67 A/h, estableciendo que se requiere una autonomía de 6 días, usando la ecuación

(6) se estableció la capacidad de la batería en A/h.

$$\mathbf{Capacidad\ batería = corriente\ hora * horas\ de\ autonomía} \quad (6)$$

$$\text{Capacidad batería} = 16,67A/h * 6h$$

$$\text{Capacidad batería} = \mathbf{100A/h}$$

La batería requerida es una de 100 A/h, entre la oferta de mercado se escogió la batería HTB12-100 de la marca CSBATTERY la cual se muestra en Figura 38.



Figura 38: Batería HTPB12-100 [29].

Las especificaciones técnicas de la batería HTB12-100 se muestra en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Características técnicas de la batería HTB12-100.

CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA HTB12-100	
Voltaje: 12 VDC	12 VDC
Capacidad:	100 Ah
Tipo:	GEL
Ciclos:	500 a 100%, 1500 a 50%, 2600 a 30%DOD
Dimensiones:	H300*W210*D170 mm
Peso:	31 Kg

La curva de descarga de la batería HTB12-100 a diferentes temperaturas se muestra en la Figura 39.

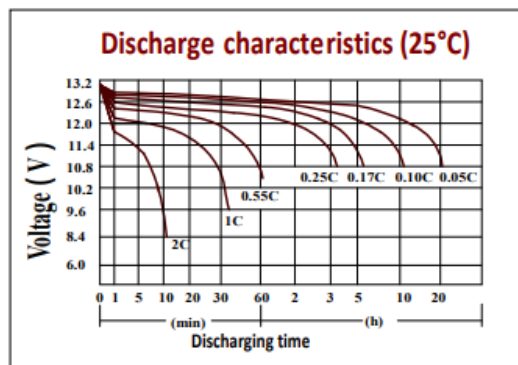


Figura 39: Curva de descargas de la batería HTB12-100 a diferentes temperaturas [29].

#### 4.11.6 Inversor

Para el dimensionamiento del inversor se consideró la demanda instalada mostrada en el capítulo de “Estimación de la demanda energética” la cual es de 200W, un factor de utilización del 50% y un factor de sobredimensionamiento de 20% con lo cual se realizó el cálculo mediante la ecuación

(7) que propone el autor [30].

$$P. del inversor = demanda instalada * f. sobredimensionamiento \quad (7)$$

$$P. del inversor = 200W * 20\%$$

$$P. \text{ del inversor} = 480W$$

La potencia requerida del inversor es de 480W en base a la oferta del mercado se escogió el inversor con la potencia más próxima a la requerida, teniendo así un inversor modelo TW500 de la marca ZOHAN como se puede observar en la Figura 40, en el cual tiene una potencia de 500W.



Figura 40: Inversor TW500 de la marca ZOHAN.

Las características técnicas del inversor TW500 se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Características técnicas del inversor TW500

CARACTERISTICAS DEL INVERSOR TW500	
<b>Potencia nom:</b>	500 W (continua)
<b>Potencia max:</b>	1000 W (1seg)
<b>Voltaje Salida:</b>	120 VAC
<b>Voltaje Entrada:</b>	12 VDC
<b>Eficiencia:</b>	88%
<b>Frecuencia:</b>	60Hz

#### 4.11.7 Protección contra sobre corriente

La normativa ecuatoriana de la construcción [26], menciona que para circuitos de fuerza se debe considerar una corriente máxima de 20A por lo cual se escogió un breaker de 2 polos de esta capacidad para empotrar en riel DIN, considerando que la corriente máxima no sobrepasa esta capacidad.



Figura 41. Breaker de 20ª de 2 polos.

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los datos obtenidos en las mediciones, se realizó un análisis de probabilidad de la velocidad del viento y radiación solar para con estos datos proceder a calcular la potencia eléctrica que se estima generará el sistema fotovoltaico y el sistema eólico.

### 5.1 Análisis probabilístico de la radiación solar

Con los datos obtenidos en las mediciones se realizó un análisis probabilístico de radiación solar para un rango que varía 10 w/m<sup>2</sup> por cada intervalo, seleccionando así el que tiene mayor probabilidad de ocurrencia en cada hora como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Rango de radiación con mayor probabilidad.

HORA	Rango w/m <sup>2</sup>	Probabilidad
1	0	100,00%
2	0	100,00%
3	0	100,00%
4	0	100,00%
5	0	100,00%
6	10w/m <sup>2</sup> a 20w/m <sup>2</sup>	100,00%
7	120w/m <sup>2</sup> a 130w/m <sup>2</sup>	14,81%
8	320w/m <sup>2</sup> a 330w/m <sup>2</sup>	14,29%
9	410w/m <sup>2</sup> a 420w/m <sup>2</sup>	14,29%
10	520w/m <sup>2</sup> a 530w/m <sup>2</sup>	10,71%
11	560w/m <sup>2</sup> a 570w/m <sup>2</sup>	14,29%
12	480w/m <sup>2</sup> a 490w/m <sup>2</sup>	14,29%

13	420w/m2 a 430w/m2	10,71%
14	390w/m2 a 400w/m2	10,71%
15	350w/m2 a 360w/m2	14,29%
16	120w/m2 a 130w/m2	18,52%
17	50w/m2 a 60w/m2	39,13%
18	10w/m2 a 20w/m2	33,33%
19	0	100,00%
20	0	100,00%
21	0	100,00%
22	0	100,00%
23	0	100,00%

## 5.2 Estimación de la potencia eléctrica que entregará el sistema fotovoltaico

Para el cálculo de la potencia que se prevé entregue el sistema fotovoltaico por individual, se utilizó la ecuación (8) propuesta por el autor [31].

$$PE\ SOLAR = R_s * \frac{P_{nominal}(p)}{1000} * N.p. \quad (8)$$

Donde:

***P<sub>nominal</sub>(p)*** = Potencia nominal del panel (w)

***R<sub>s</sub>*** = Radiación solar global con mayor probabilidad en cada hora (w/m2)

***N.p*** = Número de paneles

Teniendo en cuenta que la potencia de cada panel es de 110 Wp, la radiación solar con mayor probabilidad en cada hora mostrada en la Tabla 22, asumiendo el hecho de que el sistema cuenta con dos paneles, se pudo calcular la potencia que se estima generará el sistema fotovoltaico en cada hora del día. Como se muestra en la Figura 42, se observa que la curva de potencia es similar a la de la radiación solar con mayor probabilidad, alcanzando su punto máximo a las 11:00 horas con un pico de 125,40 W.

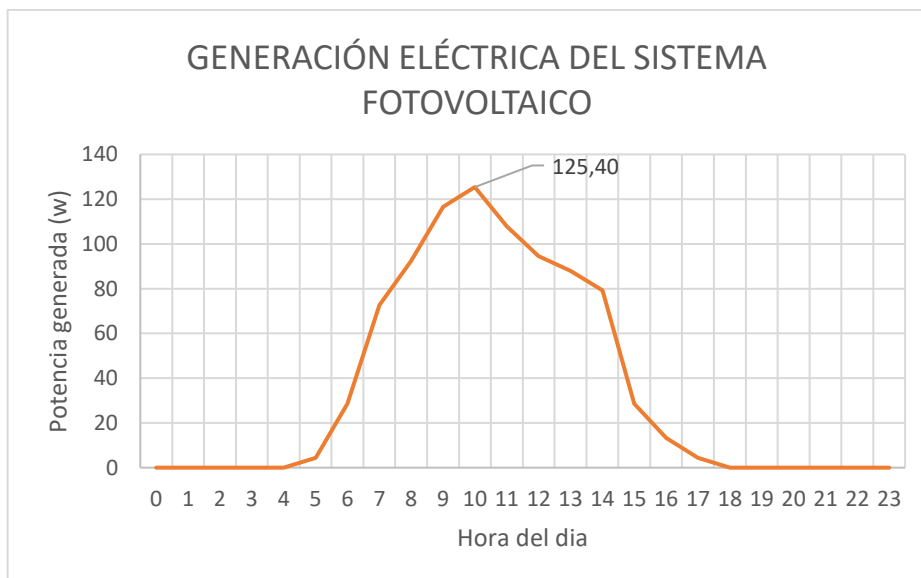


Figura 42: Potencia generada por el sistema fotovoltaico.

### 5.3 Análisis probabilístico de la velocidad del viento

Con los datos obtenidos en las mediciones se realizó un análisis probabilístico de la velocidad del viento para un rango que varía 1 m/s por cada intervalo, seleccionando así el que tiene mayor probabilidad de ocurrencia para cada hora como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Rango de velocidad del viento con mayor probabilidad.

HORA	RANGO	PROBABILIDAD
0	0 a 1 m/s	51,85%
1	0 a 1 m/s	50,00%
2	0 a 1 m/s	52,17%
3	0 a 1 m/s	47,83%
4	0 a 1 m/s	37,50%
5	0 a 1 m/s	40,00%
6	1 a 2 m/s	53,57%
7	0 a 1 m/s	53,57%
8	1 a 2 m/s	35,71%
9	0 a 1 m/s	28,57%
10	2 a 3 m/s	46,43%
11	3 a 4 m/s	39,29%
12	4 a 5 m/s	32,14%
13	4 a 5 m/s	32,00%

14	3 a 4 m/s	40,74%
15	4 a 5 m/s	51,85%
16	5 a 6 m/s	32,14%
17	3 a 4 m/s	42,86%
18	3 a 4 m/s	28,57%
19	3 a 4 m/s	21,43%
20	2 a 3 m/s	35,71%
21	2 a 3 m/s	32,14%
22	0 a 1 m/s	33,33%
23	0 a 1 m/s	39,29%

#### 5.4 Área de las aspas del aerogenerador

Para el cálculo del área de las aspas del aerogenerador hay que considerar el área del rotor, está da resultado de multiplicar la altura por el diámetro como se muestra en la ecuación (9).

$$\text{Área del rotor} = \text{altura} * \text{diámetro} \quad (9)$$

$$\text{Área del rotor} = 0,75m * 0,35m = 0,3975m^2$$

#### 5.5 Estimación de la potencia eléctrica que entregará el sistema eólico

Para el cálculo de la potencia que se prevé entregue el sistema eólico por individual, se utilizó la ecuación (10 propuesta por el autor [31]).

$$PE_{EOLICA} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * \eta * B \quad (10)$$

Donde:

$A$  = Área de las aspas del aerogenerador(m)

$v$  = Velocidad del viento con mayor probabilidad en cada hora (m/s)

$\eta$  = Eficiencia del aerogenerador

$B$  = Limite de Betz

$\rho$  = Densidad del viento

Teniendo en cuenta que el área de las aspas del aerogenerador de  $0.39m^2$ , la velocidad del viento promedio en cada hora, la eficiencia del 70%, el límite de Betz como una constante 59.3% y la densidad del viento  $1.225 (kg/m^3)$  se pudo obtener la potencia que generará el sistema eólico en cada hora del día como se puede identificar en la Figura 43.

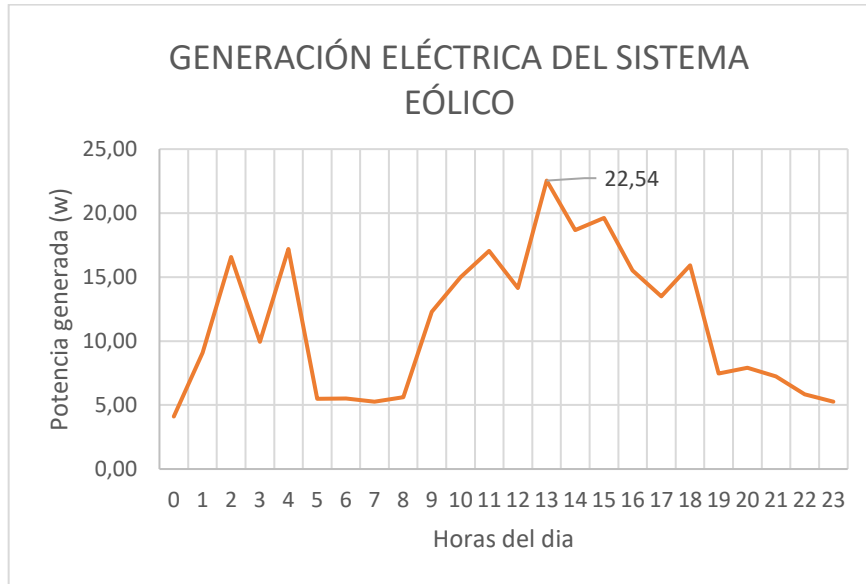


Figura 43. Potencia estimada que generará el sistema eólico.

### 5.6 Estimación del mix energético

Para estimar teóricamente la potencia que puede entregar el poste híbrido durante cada hora del día, basta con sumar la potencia generada por cada sistema. En la Figura 44 se observa el comportamiento de la potencia eléctrica generada en cada hora del día. Se puede apreciar que predomina la curva característica de la potencia solar, ya que es la que aporta mayor energía al sistema.

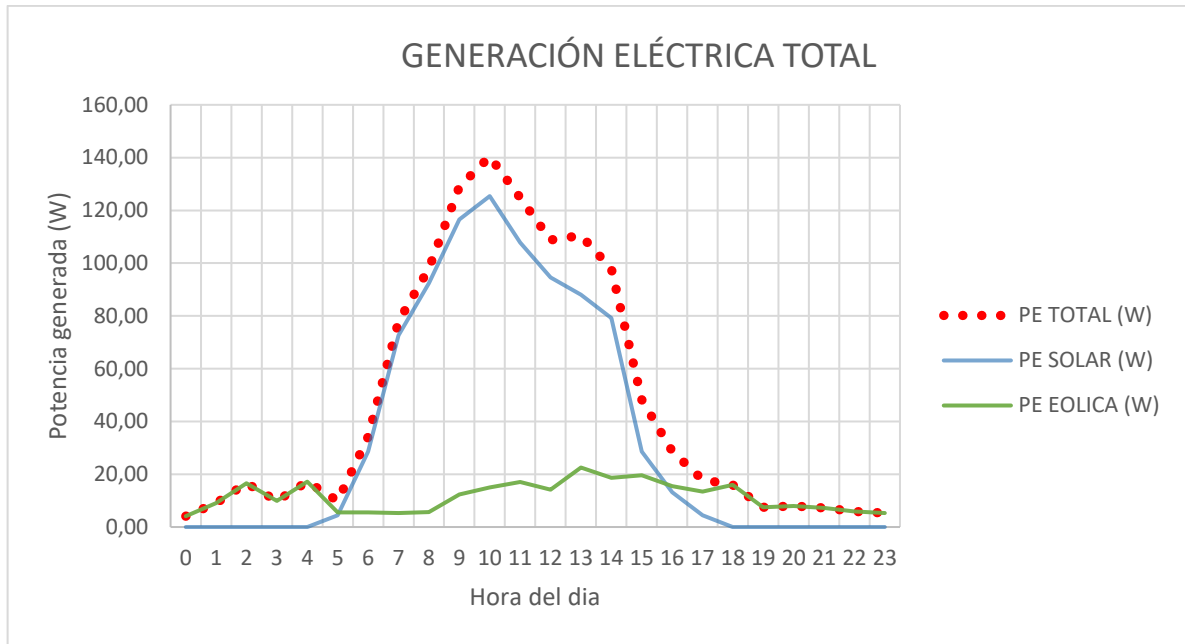


Figura 44. Potencia total estimada por el sistema.

En la Figura 45 se puede observar que el aporte de la generación fotovoltaica es predominante en sistema con un 76% y complementando el sistema eólico con un 24%.

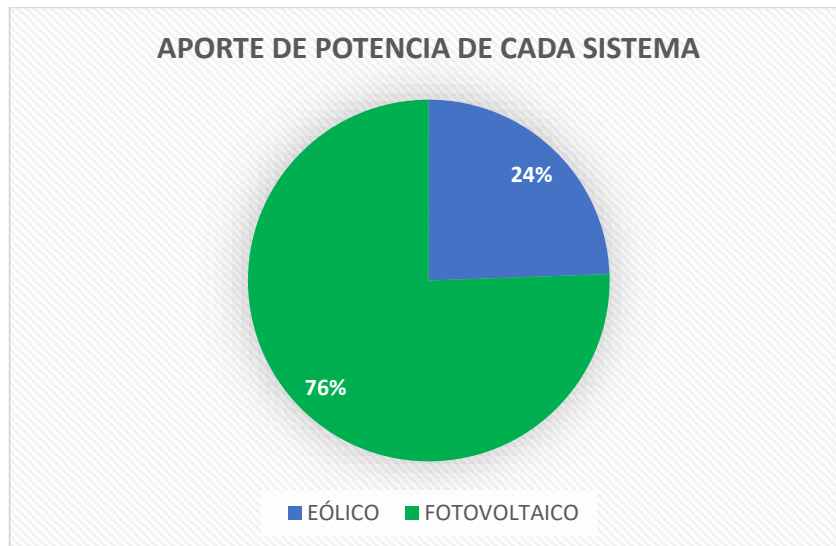


Figura 45. Aporte de generación de cada sistema.

### 5.7 Autonomía del sistema

El elemento que alimenta la demanda es la batería, la cual proporciona la autonomía del sistema. Para este proyecto, se ha establecido una autonomía de 6 horas. En este apartado, se procedió a

calcular la carga y descarga de la batería en función del aporte de cada sistema y de la demanda energética establecida.

### 5.7.1 Tiempo de carga de la batería

Para el cálculo del tiempo de carga de la batería es necesario conocer la corriente en función de la potencia generada de cada sistema, además de la corriente que consume el sistema.

#### 5.7.1.1 Cálculo de la corriente del sistema fotovoltaico

Para el cálculo de la corriente del sistema fotovoltaico se utilizó la ecuación (11).

$$I_{solar} = \frac{PE_{solar}}{V_{paneles}} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que el promedio de la potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico es 32.45W y el voltaje de los dos paneles conectados en paralelo es 18V se tiene que la corriente del sistema fotovoltaico es:

$$I_{solar} = \frac{32.45W}{18V} = \mathbf{1.80A}$$

#### 5.7.1.2 Cálculo de la corriente del sistema eólico

Para el cálculo de la corriente del sistema eólico se utilizó la ecuación (12).

$$I_{eólica} = \frac{PE_{eólica}}{V_{aerogenerador}} \quad (12)$$

Teniendo en cuenta que el promedio de la potencia eléctrica generada por el sistema eólico es 4.20W y el voltaje del aerogenerador es de 12V se tiene que la corriente del sistema eólico es:

$$I_{eólica} = \frac{4.20W}{12V} = \mathbf{0.21A}$$

#### 5.7.1.3 Cálculo de la corriente de consumo

Para el cálculo de la corriente que consume el sistema se utilizó la ecuación (13).

$$I_{consumida} = \frac{Potencia_{demanda}}{V_{sistema}} \quad (13)$$

Teniendo en cuenta que la potencia demandada es 200W y el voltaje del sistema es de 12V se tiene que la corriente del sistema eólico es:

$$I_{consumida} = \frac{200W}{12V} = 16,67A$$

### 5.7.2 Tiempo de carga de la batería

Para estimar el tiempo de carga de la batería considerando que esta se encuentra totalmente descargada se utilizó la ecuación (14) propuesta por el autor [32].

$$Tc = porcentaje\ bateria * \frac{Capacidad_{bat} * \eta *}{C_{carga}} \quad (14)$$

Considerando que la batería tiene una capacidad de 100Ah, eficiencia de 90% y la corriente de carga (*suma de la corriente solar y corriente eólica*) es de 4,62A se obtiene que el tiempo de carga de la batería de 50 % a 100% es:

$$Tc = 50\% * \frac{100Ah * 0.9}{4.62A} = 9.74h$$

### 5.7.3 Tiempo de descarga de la batería

Para estimar el tiempo de descarga de la batería considerando que esta se encuentra totalmente cargada se utilizó la ecuación (15) propuesta por el autor [32].

$$Tdes = \frac{V_{bat} * Capacidad_{bat}}{V_{bat} * I_{consumida}} * Prof_{descarga} \quad (15)$$

Considerando que la batería tiene una capacidad de 100Ah, la corriente consumida calculada anteriormente que está a plena carga y el voltaje de la batería es de 12V, se tiene que el tiempo de descarga es de:

$$Tdes = \frac{12V * 100Ah}{12V * 16,67A} * 100\% = 6h$$

Es importante considerar que el tiempo de descarga es un caso hipotético, asumido a plena carga. Este valor solo contempla la batería, sin considerar ningún aporte de corriente de carga del sistema fotovoltaico ni del sistema eólico. Para obtener un criterio más preciso, se realizarán pruebas reales, cuyos resultados se presentarán en capítulos posteriores.

## 5.8 Pruebas de funcionamiento del sistema

Para comprobar la calidad del servicio que ofrece el poste híbrido se ha establecido mediciones de la capacidad de la batería como se detalla a continuación.

### 5.8.1 Prueba de descarga de la batería

Para esta prueba se consideró una carga de 226W, correspondiente a un televisor como se muestra en la Figura 46, además de considerar que la batería se encuentra completamente cargada y su voltaje en bornes es de 13,26V y esta desconectada de los sistemas fotovoltaico y eólico, se realizó el cálculo de autonomía de la batería y posteriormente se realizó la prueba real para ver el tiempo que tarda en dejar de funcionar la carga.

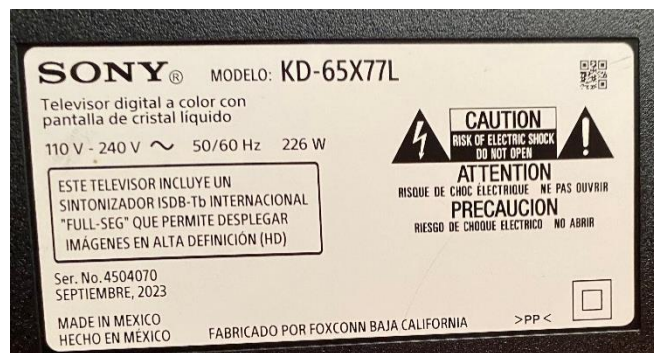


Figura 46. Placa de la carga utilizada para la prueba de descarga.

### 5.8.2 Cálculos teóricos de descarga de la batería

Para saber que potencia está consumiendo el equipo es necesario medir la corriente en AC que alimenta la carga, al realizar la medición se obtuvo 0,5 A en AC como se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Medición de la corriente AC consumida por la carga.

Para saber la potencia que en realidad consume la carga se debe multiplicar la corriente medida por los 120V de la salida del sistema.

$$P_{consumida} = 127V * 0,5A = \mathbf{63,5W}$$

La potencia que consume la carga es de 60W, esto se debe a que su brillo no se encuentra al 100%. al igual que su volumen. Posteriormente se realizó el cálculo de la corriente que absorbe de la batería aplicando la ecuación (13).

$$I_{consumida} = \frac{63,5W}{13,26V} = \mathbf{4,78A}$$

Luego de obtener el cálculo de la corriente consumida, se realizó el cálculo de tiempo de descarga de la batería utilizando la ecuación (15).

$$T_{des} = \frac{13,26V * 100Ah}{13,26V * 4,78A} * 100\% = \mathbf{20h}$$

### 5.8.3 Tiempo de descarga real de la batería en la prueba

En la prueba, la carga consume 60 W. La prueba comienza al conectar la carga y finaliza cuando la batería ya no permite el funcionamiento de la carga. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Datos de prueba de autonomía de la batería.

PRUEBA DE AUTONOMÍA DE LA BATERÍA		
Detalles	Día	Hora
Inicio de la prueba	6/7/2024	15:00
Fin de la prueba	7/7/2024	9:00
<b>Tiempo de Descarga (h)</b>	<b>18</b>	

Se observa un error del 16% entre el tiempo calculado y el tiempo real. Esto se debe a que la batería reduce su voltaje cuando está al 10% de su capacidad, por lo tanto, ya no es capaz de abastecer al inversor, lo que provoca que la carga se apague.

### 5.9 Análisis presupuestario

Para estimar el costo del poste híbrido, se ha dividido el costo en cuatro categorías:

- Equipos y materiales eléctricos
- Materiales estructurales

- Mano de obra
- Gastos varios

Haciendo el análisis de precios unitarios para cada categoría los cuales se muestran en el apartado de anexos, se estima que el costo de implementación del poste híbrido es de \$ 2120 como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Costo total del poste híbrido.

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>GASTO (\$)</b>
EQUIPOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS	1560
MATERIALES ESTRUCTURALES	87
MANO DE OBRA	370
GASTOS VARIOS	100
<b>TOTAL</b>	<b>2117</b>

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

- El barrio San Juan, en el cantón Latacunga, fue identificado como el lugar más óptimo para la instalación del sistema híbrido de energía solar y eólica. Aunque la comunidad de Alpalagal, en el cantón Pujilí, cuenta con un recurso solar ligeramente superior, el recurso eólico es significativamente mayor en el barrio San Juan. Este factor fortalece el mix energético en este sector, lo cual resultó decisivo para la selección del lugar. La comunidad del barrio San Juan ha mostrado un fuerte interés y apoyo hacia el proyecto, lo cual es esencial para la implementación exitosa y sostenible del sistema. Este apoyo comunitario, combinado con las condiciones favorables de los recursos naturales, asegura no solo la viabilidad técnica y económica del proyecto, sino también su aceptación y sostenibilidad a largo plazo. Por lo tanto, la elección del barrio San Juan

no solo optimiza el rendimiento energético, sino que también maximiza el impacto positivo en la comunidad local.

- La energía fotovoltaica constituye el mayor aporte en el sistema, representando el 76% del total, mientras que la energía eólica complementa con un 24%. Esto evidencia un correcto dimensionamiento de los equipos. La energía entregada varía a lo largo del día debido a las fluctuaciones en la radiación solar y la velocidad del viento. Por lo tanto, el análisis probabilístico proporciona una estimación de la magnitud del viento y la radiación solar en cada hora, lo cual es crucial para la carga de la batería. Según los cálculos, se estima que la batería tendrá una autonomía de 6 horas.
- Las pruebas realizadas al sistema híbrido demostraron su correcto funcionamiento. Se comprobó la carga y descarga de la batería comparando los valores reales con los teóricos, evidenciando un margen de error mínimo entre las estimaciones y los resultados reales. Asimismo, las mediciones de potencia generada por los sistemas eólico y solar se compararon con los valores calculados, confirmando el correcto funcionamiento del sistema.

## **6.2 Recomendaciones**

- Al replicar este proyecto, se recomienda realizar un estudio previo exhaustivo sobre la velocidad del viento y la radiación solar en el lugar de implementación. Este análisis es crucial para garantizar el correcto funcionamiento y la eficiencia de los equipos del sistema. Además, entender las condiciones climáticas específicas del área permitirá ajustar el diseño y dimensionamiento del sistema híbrido, asegurando su viabilidad y rendimiento óptimo a largo plazo.

- Es fundamental dimensionar los equipos de manera precisa, considerando tanto la demanda energética del sitio como los recursos energéticos disponibles. En casos donde no se disponga de equipos de medición, se pueden utilizar datos de fuentes confiables, como los proporcionados por NASA Power. Este proceso garantiza un suministro energético ininterrumpido, asegurando que el sistema opere de manera eficiente y confiable. Además, es esencial tener en cuenta las variaciones diarias de los recursos, lo que permitirá que el sistema se ajuste y continúe proporcionando energía de manera continua.
- Además de realizar las pruebas de funcionamiento se recomienda realizar un acercamiento a la comunidad local en el área de implementación para concientizar sobre el uso adecuado del poste híbrido. Además, es esencial proporcionar al personal capacitado información detallada sobre el diseño y las conexiones del sistema, de manera que puedan resolver fácilmente cualquier avería que pueda surgir en futuro

## 7 REFERENCIAS

- [1] J. Rosero, ; L Garza, ; L Minchala, ; D Pozo, and ; L Morales, “Fuentes de Generación de Energía Eléctrica Convencional y Renovable a Nivel Mundial,” *Revista Politecnica*, vol. 32, no. 2, pp. 1–12, 2013, Accessed: Jul. 21, 2024. [Online]. Available: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/5755%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/5755%20(2).pdf)
- [2] Fon Enrique Vivanco, “Energías renovables y no renovables,” pp. 1–9, 2020, Accessed: Jul. 21, 2024. [Online]. Available: <http://bcn.cl/29cx7>
- [3] AGUIRRE FABIAN and ORTEGA JHON, “ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SCOOTER ELÉCTRICO COMO SISTEMA ALTERNATIVO DE MOVILIDAD VEHICULAR EN LA CIUDAD DE CUENCA,” CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, Cuenca, 2020.
- [4] Herrera Vanessa, “SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE TURISMO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE BAÑOS DE AGUA SANTA.,” CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2011.
- [5] Hervas Jhonatan and Moscoso Miguel, “ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN BASE AL USO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL PÁRAMO CHALUPAS, PERIODO 2015.,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, LATACUNGA, 2015.
- [6] K. Santa Cruz, “Diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado nueva esperanza ubicado en el distrito de Catache-Santa Cruz - Cajamarca,” UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO,” Lambayeque, 2018. Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2823>
- [7] C. Spiegelger and J. I. Cifuentes, “DEFINICION E INFORMACION DE ENERGIAS RENOVABLES”.

- [8] López Jessica, “ENERGÍA RENOVABLE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL ECUADOR,” CARRERA DE ECONOMÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2023.
- [9] Nuñez Fabian, “UTILIZACIÓN DE SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES HÍBRIDO SOLAR-EÓLICO, APLICADO AL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL BORDE COSTERO DE LA CIUDAD DE PUERTO MONTT,” UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, Puerto Montt, 2012.
- [10] Ministerio de Energía y Minas, “ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR,” 2013. [Online]. Available: [www.awstruepower.com](http://www.awstruepower.com)
- [11] R. Ayala, J. Freire, J. Lopez, and J. Salazar, “Análisis de la energía eólica como sustituto para la energía convencional en casas del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador,” *Athenea Engineering sciences journal*, vol. 2, no. 3, pp. 40–46, Mar. 2021, doi: 10.47460/ATHENEA.V2I3.15.
- [12] “Generalidades | Proyecto Energía Eólica - MIEM.” Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <http://www.energi aeolica.gub.uy/index.php?page=generalidades>
- [13] “¿Cómo funcionan las turbinas eólicas? - Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica.” Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.sectorelectricidad.com/18010/como-funcionan-las-turbinas-eolicas/>
- [14] Leal Manuel and Dominguez Aitor, “Diseño de Aerogeneradores,” pp. 1–37.
- [15] Vaca Diego and Ordoñez Freddy, “MAPA SOLAR DEL ECUADOR,” Quito, Jan. 2020.
- [16] M. A. Laborde and R. J. J. Williams, “ENERGIA SOLAR,” pp. 1–161, 2016, Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: [www.ancefn.org.ar](http://www.ancefn.org.ar)
- [17] Camilo Arancibia Bulnes and Roberto Best y Brown, “ENERGIA DEL SOL,” pp. 1–8, 2010.
- [18] “1.1. El efecto fotoeléctrico.” Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: [https://seslab.org/fotovoltaiico/11\\_el\\_efecto\\_fotoelctrico.html](https://seslab.org/fotovoltaiico/11_el_efecto_fotoelctrico.html)
- [19] T. y C. Ministerio de Industria, “Energía Solar Termica,” pp. 1–148, 2006.
- [20] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, “LA RADIACION SOLAR,” pp. 1–13, 2006.

- [21] “Espectro Solar - Eficiencia Energética.” Accessed: May 16, 2024. [Online]. Available: <https://certificacionenergetica.info/espectro-solar/>
- [22] Figueroa Danner, “MODELAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADA A LA RED CONSIDERANDO LA VARIACIÓN DE IRRADIANCIA SOLAR EN UNA BANANERA EN EL CANTÓN VENTANAS,” UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, Latacunga, 2022.
- [23] Jamjachi Juan Jesus, “Diseño de un sistema eléctrico híbrido para una vivienda residencial,” FACULTAD DE INGENIERIA, UNIVERSIDAD CONTINENTAL, Huancayo, 2021.
- [24] Morales Adrian and Gomez Diego, “DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS APLICADOS AL ÁREA RESIDENCIAL EN UN SECTOR COSTERO DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR,” CARRERA DE ELECTRICIDAD, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2022.
- [25] P. Chiradeja and R. Ramakumar, “An approach to quantify the technical benefits of distributed generation,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 19, no. 4, pp. 764–773, Dec. 2004, doi: 10.1109/TEC.2004.827704.
- [26] Sandoya Adrian and Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, “INSTALACIONES ELECTRICAS (NEC),” pp. 1–33, Feb. 2018.
- [27] RESUN, “GLOBAL PROFESSIONAL PV PRODUCTS INTERGRATED SOLUTIONS SUPPLIER.” Accessed: Jul. 09, 2024. [Online]. Available: [WWW.RESUNSOLAR.COM](http://WWW.RESUNSOLAR.COM)
- [28] MORNINGSTAR, “Controlador de carga solar EcoPulse,” 2017. [Online]. Available: [www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com)
- [29] Pro-Viento, “Dimensions & Weight High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery HTB12-100,” 2016. [Online]. Available: [www.CSBattery.cn](http://www.CSBattery.cn)
- [30] C. L. Cortés Cortés, G. S. Gómez Gómez, F. Betancur Londoño, S. X. Carvajal Quintero, and N. Guerrero González, “Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales,” *TecnoLógicas*, vol. 23, no. 47, pp. 1–21, Jan. 2020, doi: 10.22430/22565337.1403.

- [31] M. Hussain and S. K. Park, "Systematic analysis of wind resources for eolic potential in Bangladesh," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/app11177924.
- [32] V. Vakharia, M. Shah, P. Nair, H. Borade, P. Sahlot, and V. Wankhede, "Estimation of Lithium-ion Battery Discharge Capacity by Integrating Optimized Explainable-AI and Stacked LSTM Model," *Batteries*, vol. 9, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/batteries9020125.

