

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación del recurso energético para la instalación
de un parque solar fotovoltaico-eólico en la provincia
de Yauli - región Junín**

Wendy Betzabe Zevallos Laureano
Juana Gabriela Gomez Capcha

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Oscar Paul Huari Vila
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 30 de Mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Evaluación del Recurso Energético para la Instalación de un Parque Solar Fotovoltaico-Eólico en la Provincia de Yauli- Región Junín.

Autores:

1. Wendy Betzabe Zevallos Laureano – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Juana Gabriela Gomez Capcha – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|--|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI <input type="checkbox"/> | NO <input checked="" type="checkbox"/> |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº 15 de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI <input type="checkbox"/> | NO <input checked="" type="checkbox"/> |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR
ING. OSCAR PAUL HUARI VILA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darnos un día más de vida, sabiduría y salud, luego quiero agradecer a mis padres Humberto Zevallos y Elizabeth Laureano por confiar en mí, apoyándome en cada decisión y anhelo que tengo como profesional, ellos son mi motivación para culminar con esta tesis.

Así mismo, extender mi agradecimiento al MG. ING. OSCAR PAUL HUARI VILA por su inquebrantable dedicación y paciencia, por sus palabras precisas y correcciones que han sido fundamentales para alcanzar este logro tan esperado. Valoraré siempre sus orientaciones y consejos en mi futura carrera profesional.

Por último, agradezco a la Universidad Continental por desafiarme y al mismo tiempo proporcionarme la oportunidad de obtener mi ansiado título. Reconozco el esfuerzo de cada miembro de la dirección por su incansable labor y gestión.

DEDICATORIA

A mis padres Elizabeth Laureano y Humberto Zevallos quienes fueron el motivo para la culminación, a mi abuelo Benedicto que está en el cielo por haber sido un apoyo, y por último a mis hermanos Edith Zevallos, Yuber Zevallos que, con sus sabios consejos e insistencia, fueron gestores para culminar esta tesis que tengo como profesional y decir si se pudo.

A todas las personas que más amo en mi vida, y me apoyaron en todo aspecto.

A mis padres Adolfo Gomez y Maximiliana Capcha, a mi hermana Pamela Gomez y a mi tío Hugo Gomez, que son mi principal fuente de motivación para salir adelante y lograr mis objetivos, les debo mucho y no habrá vida que compense todo lo que hicieron por mí.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLA	viii
ÍNDICE DE FIGURA	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1 Caracterización del problema	15
1.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación e importancia.....	17
1.4.1 Justificación práctica, tecnológica, ambiental y social.....	17
1.4.2 Importancia.....	18
1.5 Delimitación del proyecto	19
1.5.1 Ubicación geográfica del proyecto	19
1.6 Operacionalización de variables	19
1.6.1 Variables.....	19
CAPÍTULO II	21
2 MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes del problema	21
2.1.1 Antecedentes internacionales	21
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	23
2.1.3 Antecedentes locales	25
2.2 Bases teóricas.....	27
2.2.1 Energía solar.....	27
2.2.2 Energía eólica	46
2.2.3 Banco baterías	57
2.2.4 Inversor.....	58
2.2.5 Controladores	59

2.2.6	Sistema híbrido.....	60
2.2.7	Análisis aplicando Weibull.....	61
2.3	Bases teóricas conceptuales	62
3	CAPÍTULO III.....	65
	METODOLOGÍA	65
3.1	Método y alcance de la investigación	65
3.1.1	Tipo de investigación	65
3.1.2	Nivel de investigación	65
3.1.3	Método de la investigación.....	65
3.1.4	Método de análisis de datos (Weibull)	65
3.2	Diseño de la investigación	65
3.3	Población y muestra	66
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
3.4.1	Técnicas e instrumentos	66
3.4.2	Funciones de las aplicaciones.....	66
	CAPITULO IV	70
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.1.	Planteamiento de mediciones	70
4.2	Método de evaluación de potencial eólico y solar	70
4.2.1	Recopilación de datos en una trayectoria de 20 años	70
4.3	Medición con la aplicación de PVGIS, ENAIR	80
4.3.1	Resultado con la aplicación ENAIR 200.....	80
4.3.2	Análisis con la aplicación PVGIS	88
4.4	Medición de forma manual	95
4.4.1	Diseño de medición en toma de muestras para anemómetro.....	96
4.4.2	Anemómetro.....	96
4.4.2	Anemómetro	96
4.4.3	Radiación solar	98
4.4.4	Diseño de medición en tomas de muestra para solarímetro	98
4.5	Análisis estadísticos de estimación del viento (Weibull).....	100
4.6	Análisis estadístico de estimación de la radiación solar (Weibull)	103
4.7	Comparación de resultados	107
4.7.1	Velocidad del viento.....	107
4.7.2	Radiación solar	108
4.8	Diseño de un sistema híbrido eólico - solar	109
4.8.1	Cálculo de energía requerida para el distrito de Carhuacayán	109
4.8.2	Cálculo de aerogeneradores por ENAIR	110

4.8.3	Cálculo con datos obtenidos con aerómetro	112
4.8.4	Cálculo del sistema fotovoltaico	120
4.8.5	Cálculo del sistema fotovoltaico con medidas de solarímetro	123
4.8.6	Cálculo de regulador de carga	125
4.8.7	Cálculo de inversores	126
4.8.8	Cálculo de baterías	127
4.8.9	Cálculo energético final y proyección final.....	128
4.8.10	Proyección final.....	129
4.8.11	Tabla comparativa entre los datos obtenidos de la aplicación y los datos recopilados en nuestra medición.....	131
4.9	Discusión de resultados.....	131
CONCLUSIONES.....		134
RECOMENDACIONES.....		135
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		137
ANEXOS.....		139

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Datos Geográficos.....	19
Tabla 2. Datos de Población	19
Tabla 3. Operacionalización de variables	20
Tabla 4. Albedo de distintas superficies	29
Tabla 5. Valores de las variables climáticas más importante en estaciones del Perú	41
Tabla 6. Promedio anual de irradiación solar en el Perú	43
Tabla 7. Tabla de irradiación solar en la región Junín.....	45
Tabla 8. Velocidad del viento en diferentes capas de la tierra.....	49
Tabla 9. Valores del exponente α para estimar la velocidad del viento.....	49
Tabla 10. Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.....	70
Tabla 11. Dirección del viento. (Norte. Este) Coordenadas UTM	72
Tabla 12. Velocidad Media (m/s).	73
Tabla 13. Irradiancia en cielo despejado (kW-hr/m ² /día).	75
Tabla 14. Irradiancia difusa en la superficie de todo el cielo (kW-hr/m ² /día).	77
Tabla 15. Irradiancia difusiva (kW-hr/m ² /día)	79
Tabla 16. Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.....	81
Tabla 17. Características del Aerogenerador	81
Tabla 18. Resultados del Enair 200	83
Tabla 19. Producción de energía eólica kWh del año 2022.....	84
Tabla 20. Beneficios de una implementación de Aerogeneradores E200.	88
Tabla 21. Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.....	88
Tabla 22. Irradiación en un plano de ángulo.....	89
Tabla 23. Hora sol Pico.....	91
Tabla 24. Resultados de simulación.....	93
Tabla 25. Producción de energía.....	93
Tabla 26. Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.....	96
Tabla 27: Análisis de parámetros Weibull (Velocidad de viento-2022).....	100
Tabla 28: Constante	102
Tabla 29: Probabilidad de ocurrencia del viento	102
Tabla 30: Datos de Radiación solar promedio (2022)	103
Tabla 31: Análisis de parámetros Weibull (Radiación solar-2022).....	104
Tabla 32: Constante	106

Tabla 33: Probabilidad de ocurrencia	106
Tabla 34: Comparación de velocidad del Viento.....	108
Tabla 35: Comparación de irradiancia.....	108
Tabla 36: Evaluación de energía eléctrica por una vivienda	109
Tabla 37: Evaluación de energía eléctrica por la municipalidad	110
Tabla 38: Energía requerida por el distrito SBC.....	110
Tabla 39: energía total MDSBC	111
Tabla 40: Acumulación de energía en 1 hora y 10 min	112
Tabla 41: Datos del anemómetro de velocidad vs w/10m	113
Tabla 42: Velocidad del viento medidas por el Anemómetro del día 1 al día 15 de noviembre	115
Tabla 43: Velocidad del viento medidas por el Anemómetro del día 16 al día 30 de noviembre	120
Tabla 44: Radiación Solar medidas por el Solerimetro del día 1 al día 15 de noviembre.....	124
Tabla 45: Radiación Solar medidas por el Solerimetro del día 16 al día 30 de noviembre...	125
Tabla 46. Cuadro comparativo.....	132

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Producción de energía eléctrica en el Perú.....	16
Figura 2. Paneles solares fotovoltaicos, tomada de la fuente:	28
Figura 3. Componentes de la radiación solar. Tomado de la fuente:.....	30
Figura 4. Pirheliómetro de compensación Angstrom..	32
Figura 5. Heliógrafo Campbell-Stokes. Tomada de la fuente:..	33
Figura 6. Movimiento de la tierra al rededor del sol.....	34
Figura 7. Ángulo de declinación.....	35
Figura 8. Ángulo horario.....	35
Figura 9. Cénit.	36
Figura 10. Distancia mínima entre captadores.....	38
Figura 11. Producción de energía eólica.....	46
Figura 12. Circulación general en la atmósfera..	47
Figura 13. Isóbaras de altas y bajas presiones..	47
Figura 14. Rosa de viento.	48
Figura 15. Proceso de transformación de energía eólica en energía eléctrica..	51
Figura 16. Aerogenerador de eje Horizontal.....	55
Figura 17. Aerogenerador de eje vertical.....	55
Figura 18. Aerogenerador Savonius.	56
Figura 19. Baterías de uso fotovoltaico:..	58
Figura 20. Curva típica de eficiencia de Inversor.	59
Figura 21. Controladores de carga.	60
Figura 22. Sistema Híbrido.....	61
Figura 23. Aplicación PVGIS.....	67
Figura 24. Aplicación ENAIR.	68
Figura 25. Aplicación PAWER/DAVe.....	69
Figura 26. Gráfico de la velocidad del viento m/s por la aplicación POWER/DAVe.....	74
Figura 27. Gráfico de la irradiancia en cielo despejado.....	76
Figura 28. Grafica de la irradiancia difusa en la superficie de todo el cielo durante 20 años .	78
Figura 29. Grafica de la irradiancia difusa durante 20 años	80
Figura 30. Aerogenerador. Tomado de “ENAIR”	82
Figura 31. Gráfico de la velocidad media del viento (m/s).....	85
Figura 32. Estimación de energía producida durante el día.....	85

Figura 33. Producción de energía durante los meses de tipo de Aerogenerador Enair 200. ...	86
Figura 34. Rosa de Viento estimada por el Aerogenerador E200.....	87
Figura 35. Variabilidad en 10 Km a la redonda.	87
Figura 36. Irradiación en plano de ángulo..	90
Figura 37. Hora sol pico.....	91
Figura 38. Hora sol pico mes de junio.	92
Figura 39. Gráfico de la producción de energía mensual.	94
Figura 40. Gráfico de la Irradiación global.....	95
Figura 41. Esquema de medición de muestras para un anemómetro.	96
Figura 42. Gráfico del promedio de la velocidad del viento vs días de noviembre del 2022..	97
Figura 43. Gráfico de la Velocidad media vs hora de medición.....	97
Figura 44. Esquema de medición de muestras para un anemómetro.	98
Figura 45. Grafica promedio de la irradiación solar vs días de noviembre del 2022	99
Figura 46: Variaciones de Irradiación.	99
Figura 47: Función Exponencial.....	101
Figura 48: Confiabilidad.	103
Figura 49: Función exponencial,.....	105
Figura 50: Confiabilidad,	107
Figura 51: Características del aerogenerador E200	111
Figura 52: Regresión lineal de energía.	113
Figura 53: Características del Panel solar 545W	121
Figura 54: Características del Regulador de carga MPPT RS	126
Figura 55: Características del Inversor Axpert MAXII 6500	127
Figura 56: Características de las baterías de litio marca BYD B-Box HVS Premium 10.2 kWh:	128
Figura 57: Diseño de un Sistema Híbrido eólico-solar.	131
Figura 58: Diseño de un Sistema Híbrido eólico-solar	138

RESUMEN

El objetivo del proyecto de investigación es analizar el recurso energético para la instalación de un parque solar fotovoltaico - eólico en la provincia de Yauli, usando los datos obtenidos de la NASA. El tipo de investigación es descriptivo con un diseño no experimental, la metodología probabilística empleada fue Weibull.

El diseño del parque híbrido se basó en la demanda de energía 2572 kWh /día para abastecer la provincia de Yauli, distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, para ello se realizó una evaluación del recurso energético eólico- solar con las siguientes aplicaciones:

- ENAIR que nos permitió calcular la velocidad media del viento y producción de electricidad.
- PVIGIS que nos permitió calcular la radiación solar y la producción de electricidad.
- POWER/ DAVe es una base de datos que registra la radiación solar y la velocidad del viento en una evaluación del recurso eólico-solar, evaluando el comportamiento en los años 2000 al 2020, también mediante las aplicaciones durante el mes de octubre y noviembre y finalmente durante el mes de noviembre se observó el comportamiento de evaluación manual mediante anemómetro y el solarímetro.

Al terminar estos análisis con los equipos se observó que el parque podría generar esa demanda con una cantidad total de solo 52 aerogeneradores o 100 paquetes de paneles solares independientes. La integración de estas tecnologías posibilita la creación de un sistema híbrido, por lo que se determinó el conjunto de equipo necesario para instalar un parque eólico – solar, precisando un total de 44 aerogeneradores de marca ENAIR 200, generando una energía de 17.4KW/día con una velocidad media de 3.3905 kWh/día abasteciendo de energía eléctrica a dicho distrito.

Palabras clave: *Irradiación solar, aerogenerador, sistema híbrido*

ABSTRACT

The objective of the research project is to analyze the energy resource for the installation of a solar photovoltaic - wind park in the province of Yauli, using data obtained from NASA. The type of research is descriptive with a non-experimental design, the probabilistic methodology used was Weibull.

The design of the hybrid park was based on the energy demand of 2572 kWh/day to supply the province of Yauli, district of Santa Bárbara de Carhuacayán, for this an evaluation of the wind-solar energy resource was carried out with the following applications:

- ENAIR that allowed us to calculate the average wind speed and electricity production.
- PVIGIS that allowed us to calculate solar radiation and electricity production.
- POWER/ DAVE is a database that records solar radiation and wind speed in an evaluation of the wind-solar resource, evaluating the behavior in the years 2000 to 2020, also through applications during the month of October and November and Finally, during the month of November, the manual evaluation behavior was observed using anemometer and solarimeter.

Upon completing these analyzes with the teams, it was observed that the park could generate this demand with a total amount of only 52 wind turbines or 100 independent solar panel packages. The integration of these technologies makes it possible to create a hybrid system, so the set of equipment necessary to install a wind-solar park was determined, requiring a total of 44 ENAIR 200 brand wind turbines, generating an energy of 17.4KW/day. with an average speed of 3.3905 kWh/day supplying electricity to said district.

Keywords: *Solar irradiation, wind turbine, hybrid system*

INTRODUCCIÓN

La electricidad desempeña un papel fundamental desde la industria minera hasta las actividades domésticas y diarias; debido a la generación de electricidad mediante el uso de combustibles fósiles como el petróleo. Esta alta demanda ha llevado el agotamiento de las fuentes disponibles (petróleo). Las formas convencionales de generación de energía basadas en combustibles fósiles tienen consecuencias tanto en la salud como al medio ambiente sea en degradación de la capa de ozono y el calentamiento global (1).

Según el COES (Comité de Operación Economía del Sistema), el 25.8 % de la producción de energía eléctrica se basa en el uso de gas.

En respuesta a la creciente demanda que supera la capacidad de producción se ha observado un alza en los precios del petróleo; sin embargo, la disponibilidad de petróleo no es uniforme en términos temporales y geográficos. En este contexto, la adopción de políticas de energía renovables como la solar, eólica, biomasa e híbrida en combinación con algunas de las ya mencionadas. Estas formas de energía son impulsores importantes del desarrollo económico y la creación de empleo a nivel local o nacional, ya que la energía se produce en el lugar donde se consume, evitando la necesidad de transporte desde otras regiones del país. La mayoría de las instalaciones de energía renovable están almacenadas continuamente como un respaldo y complemento de la red eléctrica (2).

En el Perú es necesario llevar a cabo investigaciones que faciliten la implementación de plantas de energía solar y eólica, así como ampliar el aprovechamiento de sistemas híbridos para afrontar eficazmente los desafíos tecnológicos y ambientales asociados con la reducción del calentamiento global.

Nuestro proyecto de investigación se centra en analizar el potencial del recurso solar fotovoltaico y eólico para promover su aplicación y desarrollo, específicamente en la Región Junín.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1. Planteamiento y formulación del problema

1.1 Caracterización del problema

En la provincia de Yauli, específicamente en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán su principal fuente de electricidad proviene de las plantas hidroeléctricas; sin embargo, su disponibilidad se ve afectada con regularidad debido a los factores climáticos en todas las etapas, desde la generación hasta la distribución.

Según el COES (Comité de Operación Económica del Sistema) en el 2022, se observaron los siguientes detalles en la etapa de generación de energía donde se registraron 7 fallas por los fenómenos ambientales y 20 atribuidas al equipo; en la etapa de transmisión, se reportaron 21 fallas de problemas de equipos y 6 por fenómenos ambientales; finalmente, en la etapa de distribución, se identificaron 5 fallas relacionadas con problemas de equipo y 7 causadas por fenómenos naturales. Además, hay áreas dentro del distrito que carecen de suministro eléctrico, lo que resalta la necesidad urgente de aportar tecnologías que puedan mejorar el rendimiento eléctrico y beneficiar a toda la comunidad en su totalidad.

En la actualidad, el suministro eléctrico en varias ciudades del Perú sigue siendo irregular o discontinuo debido a diversos factores como son las condiciones climáticas adversas, la insuficiente producción eléctrica de plantas o centrales hidroeléctricas, la disponibilidad limitada de energía renovable como la eólica, solar y térmica, entre otros.

En la región Junín, la electricidad se obtiene principalmente de centrales hidroeléctricas, que generan 2566.71 GW.h, mientras que la energía térmica contribuye en 0.35 GW.h, generando un total de 2 567 GW.h (3), observar la Figura 1.

Según el censo del INEI de 2021, el 92.6 % de los hogares en el departamento de Junín tienen acceso a electricidad a través de la red pública y a nivel nacional, aproximadamente el 30.7 % de los hogares han experimentado interrupciones en el servicio eléctrico (4).

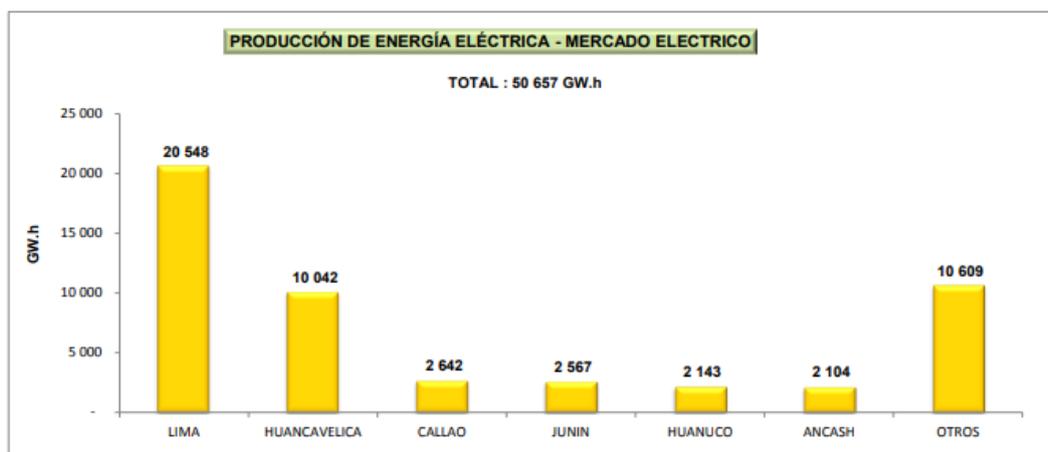


Figura 1. Producción de energía eléctrica en el Perú. Tomado de la Fuente; “Capítulo 2: Estadística eléctrica por regiones”

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. 2020, p. 3.

Así mismo, el incremento en la demanda de energía se ha visto impulsado por la situación de emergencia global, que ha resultado en un aumento en diversas actividades realizadas desde el hogar como clases virtuales y trabajos remotos.

Esta situación inesperada junto al crecimiento poblacional proyectado por el INEI, registró un crecimiento promedio anual de un 1.3 % durante el periodo de 2021(5) y subraya la necesidad de aumentar la capacidad de generación de electricidad para satisfacer las necesidades de la población.

No obstante, este aumento en la demanda de energía plantea riesgos para la salud humana y la producción de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles genera la emisión de gases de efecto invernadero alterando la calidad del aire (6). Según la OMS (Organismo Mundial de la Salud) esta contaminación conlleva a la exposición a partículas y emisiones perjudiciales, generando enfermedades respiratorias crónicas como enfermedades pulmonares obstructivas crónicas en un 35 %; el cáncer de pulmón en un 36 %, los accidentes cerebrovasculares en un 34 % y las cardiopatías isquémicas en un 27 %.

Actualmente el incremento en los niveles de dióxido de carbono se distribuye principalmente a la extensa quema de combustibles fósiles con fines de generación eléctrica. Según datos de 2016 el 3.1 % de estas emisiones provienen del carbón, mientras que en el 46.3 % se originan a partir del gas natural (7). Por ende, se busca evaluar nuevas metodologías o soluciones tecnológicas que contribuyan a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono derivadas del uso de combustibles fósiles. Una de estas tecnologías consiste en la captura del dióxido de carbono en cavidades marinas a baja temperaturas (8). Otras soluciones incluyen el empleo de energía renovable como la energía eólica solar, las cuales no generan contaminantes ni

emisiones térmicas, pese a ello, la demanda de energías renovables en nuestro país sigue siendo significativamente inferior en comparación con otras naciones (1).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo evaluar la deficiencia energética en la provincia de Yauli - Región Junín?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera se evalúa el recurso solar fotovoltaico en la provincia de Yauli - Región Junín?
- ¿De qué manera se evalúa el recurso eólico en la provincia de Yauli - Región Junín?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Analizar la implementación de un parque híbrido (eólico solar) en la provincia de Yauli - Región Junín para solucionar el déficit energético.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el recurso solar fotovoltaico en la provincia de Yauli - Región Junín.
- Evaluar el recurso eólico en la provincia de Yauli - Región Junín.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación práctica, tecnológica, ambiental y social

1.4.1.1 Implicación práctica

Actualmente, el aumento de las emisiones de dióxido de carbono se atribuye a múltiples actividades humanas como el uso excesivo de tecnologías en países desarrollados como China y Estados Unidos.

Las energías no convencionales como la energía eólica generaron 743 GW en el 2020; China y Estados Unidos instalaron casi el 75 % de las turbinas eólicas a nivel mundial, generando así beneficios significativos en el medio ambiente al evitar la emisión de 1.100 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera.

Por otro lado, la implementación de paneles solares muestra un crecimiento promedio anual del 8.3 % a nivel mundial (9).

En el Perú el crecimiento poblacional ha generado una mayor demanda de electricidad para satisfacer las necesidades de toda la población. En las zonas rurales de la región Junín, el servicio eléctrico alcanza el 77.4 % de los hogares (10), por esta razón, se ha propuesto la implementación de un sistema híbrido eólico - fotovoltaico como fuente de energía renovable con un considerable potencial de desarrollo y sostenibilidad, tanto desde una perspectiva técnica como económica.

Este sistema se basa en recursos inacabable y ofrece beneficios significativos al no generar contaminación ambiental (11), al mismo tiempo que contribuye a cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, en particular el relacionado con la “energía limpia y asequible”, al proporcionar energía para cubrir las necesidades actuales sin perjudicar al medio ambiente ni a la salud humana.

1.4.1.2 Justificación tecnológica

Se requiere de tecnologías no convencionales como la energía híbrida eólico-solar, que puedan adaptarse a la zona de estudio con el propósito de producir energía eléctrica. Para evaluar estos recursos naturales se han utilizado programas como PVGIS, ENAIR y POWER/ DAVE, los cuales respaldan la viabilidad económica del proyecto mediante el análisis de sus datos de muestreo.

1.4.1.3 Justificación ambiental

El uso excesivo de combustibles fósiles conlleva a una elevada emisión de GEI (gases de efecto invernadero) a la atmósfera, lo que contribuye al aumento de la temperatura global en la Tierra y al cambio climático mundial (11).

Este proyecto combina la energía eólica y solar para aprovechar el viento y el sol como fuentes naturales de generación de energía eléctrica. Esta forma de energía no convencional no proviene del petróleo, haciéndola respetuosa con el medio ambiente, especialmente al no generar contaminantes y convirtiéndola en una fuente de energía limpia (12).

1.4.1.4 Justificación social

El propósito de este proyecto es promover el bienestar social, centrándose en mejorar la calidad de vida de los habitantes de la provincia de Yauli - Santa Bárbara de Carhuacayán, mediante la provisión de energía eléctrica.

Este esfuerzo está alineado con uno de los objetivos en desarrollo sostenible a nivel global que busca garantizar el acceso a una energía asequible y no contaminante. Además, se espera que este proyecto genere nuevas oportunidades de empleo y aumente los ingresos económicos de la población local.

1.4.2 Importancia

La implementación de un parque híbrido en la provincia de Yauli, específicamente en el distrito Santa Bárbara de Carhuacayán tiene varios beneficios como: la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, la utilización de recursos naturales como la radiación solar y la velocidad del viento para la generación de electricidad y finalmente, la mejora de la calidad de vida de la población.

1.5 Delimitación del proyecto

1.5.1 Ubicación geográfica del proyecto

- *Santa Bárbara de Carhuacayán*

El distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán está ubicado en la provincia de Yauli, departamento de Junín, a una distancia de 124 Kilómetros de la ciudad de Lima. Este distrito es conocido por su actividad ganadera, sus aguas termales y por la producción de zinc, plomo, plata y cobre, siendo estas últimas principalmente gestionadas por la empresa Minera Alpamarca.

- *Datos geográficos*

Tabla 1. *Datos geográficos*

Altitud	4124 m.s.n.m
Coordenadas	Latitud: -11.2042 Longitud: -76.2856
Superficie	680.00Km ²
Clima	Clima tundra

Fuente: *Portal web de la Municipalidad Santa Bárbara de Carhuacayán*

- *Población*

Tabla 2. *Datos de la población*

<i>Población</i>	<i>Densidad</i>	<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>	<i>Viviendas particulares</i>	<i>Viviendas activas</i>
<i>Total</i>	<i>Km²/Hab</i>				
1104	1.71	688	416	771	333

Fuente: *portal web del INEI-2021, elaborado por INEI*

1.6 Operacionalización de variables

1.6.1 Variables

a.Indicadores de las variables de estudio

- Variable independiente:
Parque híbrido (solar fotovoltaico - eólico)
- Variable dependiente:
Analizar el recurso energético

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Udm
V.D. Analizar el recurso energético eólico – solar.	<i>Energía Eólica</i> El viento porta energía cinética de las masas de aire, un tipo de energía de alto grado termodinámica convirtiéndose en electricidad (11).	Anemómetro para la medición de velocidad de viento y energía acumulada por hora.	Velocidad del viento	m/s
			Voltaje	V
			Potencia	P
			Localización del viento	m
V.I. Parque híbrido	<i>Energía Solar</i> Es la energía obtenida a través del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol (12).	Solarímetro para la medición de energía acumulada de acuerdo con rotación del sol por horas.	Pendiente	°
			Orientación	
			Irradiación solar	I
			Temperatura media	Tm
			Humedad relativa	H
V.I. Parque híbrido	Es el grupo de aerogeneradores y sistema fotovoltaico instaladas para generar energía eléctrica a través del viento y radiación solar (7).	Es la combinación de ambos elementos para la acumulación en fuentes de almacenamiento eléctrico.	Aerogenerador de eje horizontal	u
			Paneles fotovoltaicos	-
			Batería	-
			Inversores	-
			Potencia	Mw
	Impacto medio ambiental	hc		

Nota: Udm: Unidad de medida. Adaptado de “Energía renovables”

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

El estudio titulado: “Diseño y optimización de un sistema híbrido renovable con gestión de la demanda y aplicaciones en península y modo isla”, tiene como objetivo principal la creación de una metodología para la optimización del sistema híbrido renovable, incorporando la gestión de la demanda y la capacidad de operar tanto en el modo aislado como conectado a la red, con el propósito de aplicarlo experimentalmente en granjas acuícolas de la región costera. Se empleó un enfoque metodológico que implica la aplicación de un principio de optimización manual mediante la expansión de un logaritmo para evaluar diversas configuraciones (HRES). Los resultados indicaron que la radiación solar en cinco estados de México supera los 4.85 kWh/m²/día, mientras que la velocidad del viento está por debajo de 10.8 m/s. En resumen, se concluye que las energías renovables resultan ser viables para su implementación en el sector acuícola mexicano. Esto se logra mediante un sistema compuesto por una instalación fotovoltaica de 240 kW, un generador diésel de 80kW y un banco de baterías de 129.6KWh (13).

En el artículo científico titulado: “Modelling and optimization of an off-grid hybrid renewable energy system for electrification in a rural areas”, se evalúa la eficacia de tres aldeas que emplean tecnología de energía híbrida en el distrito de Kollegal, Chamarajanagar, Karnataka, India. La implementación de energía renovable fuera de la red, se destina a reducir el costo neto del sistema, satisfacer la demanda de energía, minimizar las emisiones de CO₂ y garantizar una carga suficiente. El enfoque metodológico implica analizar la estimación de la demanda energética necesaria para cumplir con la carga mínima requerida empleando algoritmos genéticos y el software HOMER Pro. Los resultados revelan una irradiación diaria estimada de 6.50 kWh/m²/día utilizando el software HOMER, junto con una velocidad anual del viento de 3 m/s.

Se proponen cuatro combinaciones para la generación de energía: la combinación 1, incluye pila de combustible, biogás, biomasa, paneles solares y turbinas eólicas, con una demanda energética estimada de 328.266 kWh/año y un aprovechamiento del excedente de energía del 6.07 %; la combinación 2, abarca turbinas eólicas, biogás y pilas de combustible, sin batería, con una energía prevista de 396.121 kWh/año; la combinación 3, incorpora biogás, generadores de turbinas y un sistema de baterías, generando una energía estimada de 2770.92 kWh/año y una disponibilidad del 20.65 %; por último, la

combinación 4, incluye turbinas eólicas, baterías, pilas y sistema fotovoltaico con un excedente energético estimado de 276.55 kWh/año y una disponibilidad del 33.53 %. Concluye que la eficiencia de este algoritmo a baja potencia es viable mediante las combinaciones adecuadas de generación y adición de energía. La combinación óptima identificada fue la C-1 que proporciona energía sin carga insatisfecha con un costo de \$ 0.163 por kWh, demostrando ser la opción más rentable para la implementación de un sistema híbrido (14).

En el artículo científico titulado: “Synergy of solar photovoltaics-wind-battery systems in Australia”, evaluaron cómo la energía solar y eólica trabajan en conjunto en condiciones óptimas de funcionamiento de la batería, utilizando datos de análisis retrospectivo de los últimos 10 años en Australia. Se encontró que la sinergia entre la energía eólica y solar en condiciones favorables de funcionamiento de las baterías, alcanzó su punto máximo en las regiones orientales, donde el ciclo de carga de las baterías oscilaba entre 12 y 48 V aproximadamente en 32 % del tiempo. Además, el sistema híbrido de paneles solares y baterías proporcionó ingresos adicionales al sitio en la región sureste, no solo por la sinergia entre la energía eólica y solar, sino también gracias al mecanismo de optimización de la batería (15).

El propósito del artículo científico titulado: “Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area”, fue desarrollar un sistema de energía híbrido eólico - solar como una solución práctica para cubrir las necesidades energéticas de la ciudad Makadi Bay ubicada en el Mar Rojo cerca de Hurgada (Egipto). Se emplea la técnica de optimización lineal de TORSCHÉ para alcanzar la solución óptima del sistema propuesto de energía renovable híbrida, lo que permite optimizar la ubicación adecuada. Luego se evalúa el diseño del sistema híbrido que implica la correcta conversión de corriente continua a corriente alterna, ya que la producción de energía de los sistemas híbridos es relativamente baja. Para mejorar la eficiencia energética se utiliza el algoritmo EPP (Estimate- Perturb-Perturb), el cual se implementa en la sección del inversor y la batería para gestionar rápidamente los cambios en la irradiancia. En conclusión, el estudio investiga el tamaño óptimo de un sistema híbrido para una ubicación específica considerando datos meteorológicos y carga reales. El uso de la técnica de optimización TORSCHÉ proporciona la mejor configuración híbrida, permitiendo la auto - optimización de paneles fotovoltaicos y sistemas eólicos con resultados comparativos que demuestran que la combinación PV-WT es más confiable y eficiente que el sistema de paneles solares y turbinas eólicas por separado (16).

La investigación titulada: “Análisis y reacondicionamiento del sistema de generación híbrido eólico - fotovoltaico aislado de la universidad politécnica salesiana sede Cuenca”, tiene como objetivo principal llevar a cabo la puesta en funcionamiento del sistema

mediante un plan metodológico definido. A través de una metodología específica se recopiló datos utilizando tres programas: Software WRPLOT View, NASA POWER, distribución de Raleigh, los cuales permitieron recolectar información sobre la velocidad del viento y la radiación solar. Los resultados obtenidos revelaron que la generación del sistema eólico registró velocidades de viento inferiores a 3 m/s, mientras que el sistema fotovoltaico solar alcanzó una intensidad de 508.58 kWh/año, superando la generación eólica. Es importante destacar que ambos sistemas fueron instalados por separado para cumplir funciones distintas y contribuir al abastecimiento energético de la universidad. Se concluyó que la instalación no generó contaminación visual ni representó peligro para el entorno. Sin embargo, se observó que la generación real estaba considerablemente por debajo de las estimaciones esperadas, especialmente durante los meses de julio y agosto, cuando se presentan vientos fuertes que podrían afectar la generación del sistema (17).

2.1.2 Antecedentes nacionales

El estudio de investigación titulado: “Diseño de un sistema híbrido eólico - solar para el suministro de electricidad en el caserío membrillar distrito de Niepos - San miguel - Cajamarca”, tiene como objetivo brindar electricidad a 21 viviendas del caserío Membrillar, empleando una metodología analítica que combina estudios técnicos y económicos para evaluar la viabilidad del sistema de baja potencia en el mencionado caserío. Para medir la radiación solar, utilizaron un solarímetro con un horario de 7:00 a 18:00, mientras que para las mediciones del viento emplearon un anemómetro, para determinar los parámetros y la frecuencia de ocurrencia de eventos utilizaron el método de Weibull, con el objetivo de aprovechar las fuentes de energía renovable que luego serán integradas a la red eléctrica. Los resultados indican que el suministro diario de energía eléctrica requiere de 19.32 KW-h/día con una capacidad de 4.024KW y un costo de 0.5 soles por KW. La inversión necesaria es de 255877.42 nuevos soles, la cual se espera recuperar en un periodo de 20 años con una TIR (Tasa Interna de Retorno) del 16 % y un VAN (Valor Actual Neto) de 77097.75. Se concluye que el desarrollo de un sistema híbrido resulta rentable en áreas con recursos económicos limitados con un costo teórico de energía de S/ 0.068519 lo que contribuirá a mejorar la economía local y reducir el impacto ambiental causado por la quema de combustibles fósiles en la zona. Este enfoque beneficia a áreas aisladas que carecen de recursos energéticos, utilizando aerogeneradores y paneles solares pequeños. Además, las evaluaciones se realizaron manualmente y se utilizó la técnica de recolección de datos *Weibull* (12).

El objetivo de la investigación titulada: “Evaluación de la eficiencia energética del sistema híbrido eólico - fotovoltaico instalado en la Universidad Nacional del Santa”, fue analizar la eficiencia energética del sistema híbrido eólico - fotovoltaico instalado en la

escuela profesional de ingeniería. La metodología empleada es de tipo descriptivo en el que se desglosa el sistema en componentes eólicos y fotovoltaicos para su análisis independiente, antes de combinarlos y aplicar los conocimientos teóricos para determinar la eficiencia energética. Los resultados muestran que la eficiencia energética del sistema híbrido eólico - fotovoltaico alcanza valores máximos del 14.69 %, correspondiente a una potencia promedio de 1187 W. Bajo ciertas circunstancias de trabajo, se observa una eficiencia del 10.81 %, donde el recurso eólico genera a una velocidad de 3.6 m/s a 8 m de altura con una potencia de 351 W, mientras que el recurso solar promedia 715.49 W/m², generando una potencia de 1262.36 W; sin embargo, los datos obtenidos en el tiempo real muestran una generación de 1318 W con una irradiancia de 678.3 W/m². Se concluye que la eficiencia del sistema híbrido eólico solar es de 10.85 % y se destaca que este valor no alcanza la eficiencia máxima debido al efecto de la temperatura ambiente y su impacto directo en la temperatura de los módulos fotovoltaicos (11).

El trabajo de investigación titulado: “Diseño de un sistema eléctrico híbrido eólico - solar simulado con Homer para satisfacer las necesidades eléctricas del caserío Lanchemonchos - Chota - Cajamarca”, tiene como objetivo evaluar un sistema eléctrico aislado dimensionado con energía eólico - solar, modelado mediante el software Homer en Chota - Cajamarca. Utilizando una metodología desarrollada se realiza un análisis técnico - económico de un sistema de producción de energía renovable de baja potencia conectado a la red eléctrica. El sistema propuesto para la instalación de un sistema de energía eólico - solar independiente consta de un aerogenerador ZONHAN de 1.5 kW y 28 paneles fotovoltaicos marca Jinko de 330Wp y 24 baterías 8OPzS 800 de marca HOPPECKE. Los promedios mensuales en el parque eólico varían entre 5.68 m/s y 7.80 m/s, mientras que la irradiancia solar mínima registrada para los paneles fotovoltaicos es de 4.61 kWh/m²/día. La inversión proyectada para este proyecto de tesis es de S/ 204 781. 70 nuevos soles. El equipamiento del sistema híbrido eólico - solar simulado con Homer, muestra una rentabilidad del 21.40 % para el aerogenerador y del 78.60 % para el sistema fotovoltaico. La pérdida de carga estimada es de 3.66 %, lo que sugiere que la demanda de energía promedio para las 27 viviendas y un local comunal en el caserío Lamchemonchos es de 31. 84kW.h y la demanda máxima es de 5.92 KW (18).

El propósito del estudio de investigación: “Diseño de un sistema híbrido, solar y eólico para generar energía eléctrica en la zona rural el Horno departamento de Amazonas”, fue desarrollar un sistema que permita la generación de energía eléctrica en esta área rural. La metodología empleada implica la recopilación de datos obtenidos a través de investigaciones previas con el fin de realizar análisis y mediciones. Se utilizan fuentes confiables como el Global Atlas Solar para obtener información precisa. Los resultados obtenidos muestran que la implementación de este sistema híbrido resulta en una

generación promedio de energía de 74.5898 kWh, con una velocidad promedio de 2.251 m/s., para lograr ello, se propone la instalación de 30 paneles solares de marca Eco de 450W/24 V con un aerogenerador, 09 baterías, 01 controlador de voltaje y un inversor. Se concluye que el sistema híbrido diseñado demuestra eficiencia al cumplir con la demanda energética y abastecer a los habitantes de la comunidad rural del Horno (19).

El proyecto titulado: “Alternativas de un sistema híbrido eólico - fotovoltaico para atender la demanda de energía eléctrica y lograr mejorar la sostenibilidad ambiental en el distrito de Ninacaca - Pasco”, tiene como objetivo principal evaluar la generación eléctrica mediante un sistema combinado de energía eólica y solar para abastecer de electricidad a la zona rural del centro poblado de Rocan. Se empleó una metodología basada en técnicas constructivas para enfrentar escenarios con impactos cruzados, centrándose en el diseño de una red de baja tensión que redujera la dependencia de la red eléctrica tradicional con el fin de mejorar el suministro eléctrico. Los resultados revelaron que la energía solar estimada alcanza los 2304.47 kWh/mensuales en promedio, equivalentes a 76.82 kWh/ día durante un periodo de 20 años, para lo cual se requerirían 60 paneles con un regulador y un inversor con eficiencia del 95 %. Por otro lado, se propone la implementación de 17 aerogeneradores que generarían una energía estimada de 1895.05 kWh/ mes. Se concluye que el sistema eléctrico diseñado será dependiente de la red pública, lo que ayuda a evitar su sobrecarga. De tal modo, la distribución de energía eléctrica a través de fuentes renovables podría ofrecer una solución a la demanda energética actual en las zonas rurales (20).

2.1.3 Antecedentes locales

El objetivo de la investigación titulada: “Análisis del sistema mixtos de generación para reducir el alto consumo de energía eléctrica en el instituto regional del mármol de Junín 2021”, es examinar los sistemas mixtos de generación en dicha institución. La metodología empleada consistió en una investigación sistemática que implicó el análisis exhaustivo y la evaluación de todas las partes de un sistema híbrido de generación. Se determinó que el rendimiento fotovoltaico alcanzó el 65.4 %, con un aporte de la red eléctrica del 32.2 % y un 1.32 proveniente de la energía eólica. Para recuperar la inversión realizada, se estimó un periodo de 15 años. Se observó que la energía fotovoltaica presenta un recurso energético más destacado en momentos de mayor irradiación solar. Llegando a la conclusión que la energía renovable es viable debido a los altos índices del recurso natural disponible. Además, se espera que la implementación de este sistema híbrido reduzca la dependencia de la energía eléctrica externa, lo que contribuirá a recuperar la inversión a largo plazo generando ganancias para el instituto (21).

En trabajo de investigación titulado: “Diseño de un sistema energía híbrido para una vivienda residencial en Huancayo”, tiene como objetivo desarrollar un sistema híbrido que integre paneles solares para beneficiar a los usuarios domésticos, asegurando un rendimiento óptimo, de calidad y sostenibilidad ambiental. Este sistema fotovoltaico, al recibir la radiación solar y convertirla en electricidad para el consumo residencial, no solo proporciona ahorros económicos tanto para los consumidores como para el servicio eléctrico nacional, sino que también promueve la disponibilidad en el mercado de tecnología y dispositivos a precios y modelos diversos, lo que facilita su adopción y expansión en los hogares (22).

El propósito de la investigación titulada: “Diseño del sistema híbrido para lograr autoabastecer de energía eléctrica a las instalaciones de la Granja Experimental Agropecuaria de Yauris” es desarrollar un sistema híbrido eólico - solar para el autoabastecimiento de energía eléctrica en las instalaciones de la Granja Experimental Agropecuaria de Yauris, perteneciente a la Universidad Nacional del Centro del Perú. Esta granja se encuentra ubicada en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo y departamento de Junín. Este estudio se caracteriza por ser de aplicación práctica, con diseño no experimental y un enfoque cuantitativo, el cual genera un promedio de energía eléctrica de 3 882,175 kWh. Por lo tanto, está diseñado para producir 10 kW de potencia. Para lograrlo se requiere un aerogenerador de 30 kW y un controlador de 10 kW. En cuanto al dimensionamiento del sistema fotovoltaico se necesitan 36 paneles de 465 W y dos controladores de 100 A. Ambos sistemas están conectados a un banco de baterías compuesto por 48 unidades de 6 V y 510 Ah, así como tres inversores de 10 kW de potencia. La inversión total es de S/ 82 253,690, con un periodo de recuperación de 6 años y un costo - beneficio. Esto lo convierte en un proyecto viable frente a la alternativa de generación eléctrica no convencional (23).

El trabajo de investigación titulado: “Diseño de la instalación del sistema eléctrico solar fotovoltaica para incrementar la potencia eléctrica en el local comunal de Alto Anapati Pangoa - Junín”, tiene como objetivo desarrollar una instalación de energía solar para mejorar el suministro potencial eléctrico en la comunidad de Alto Anapati en Pangoa. Se examinaron los recursos energéticos disponibles en la zona, se evaluaron las cargas de los espacios comunes y se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico y de turbinas eólicas utilizando teorías de generación y software de simulación. La investigación se realizó con la participación de los miembros de la comunidad y se recolectaron datos por tres meses (junio, julio y agosto), los cuales se recogieron por cada hora durante 92 días. Posteriormente, estos datos se sometieron a un análisis estadístico, el cual dio como resultado una generación mensual estimada de 154.35 kW por mes, suficiente para satisfacer la demanda mensual de 74.37 kW. El

estudio demuestra que un diseño adecuado del sistema de energía solar puede aumentar la capacidad de producción y proporcionar energía a los hogares aislados de la región Junín (24).

El trabajo de investigación titulado: “Estudio de implementación de un sistema eléctrico fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica del pabellón L de la Universidad Continental - Huancayo, 2018”, tiene como objetivo determinar la propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico para reducir el costo económico del consumo de energía eléctrica convencional del pabellón L de la Universidad Continental - Huancayo, 2018. Siendo esta una investigación descriptiva y explicativa, concluyó que se redujo el costo por consumo de energía eléctrica empleando un sistema fotovoltaico por tener una viabilidad técnica, económica y financiera. La irradiación promedio solar incidente en el pabellón L de la Universidad Continental - Huancayo supera la irradiación mínima de 3.5 kWh/m^2 - día que es suficiente para generar energía eléctrica, teniendo en cuenta que la irradiación promedio en los últimos 5 años es de 6.29 kWh/m^2 y 6.10 kWh/m^2 - día para SENAMHI y NASA respectivamente (25).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Energía solar

La energía solar se deriva de la radiación electromagnética emitida por el sol que abarca todo el espectro electromagnético. Esta radiación incluye componentes como la ultravioleta (UV), la radiación visible (VIS) y la radiación infrarroja (IR). Se estima que la cantidad de energía solar que llega a la tierra es de aproximadamente $1.7 \cdot 10^{14} \text{ KW}$, conocida como radiación solar o irradiación. Como resultado en la parte superior de la atmósfera terrestre se registra una energía máxima de 1368 W/m^2 . Esta energía solar puede ser aprovechada mediante diferentes dispositivos como células solares, heliostatos o colectores térmicos, los cuales tienen la capacidad de convertirla en energía eléctrica (26).



Figura 2. *Paneles solares fotovoltaicos*

Fuente: “*La industria de la energía renovable en el Perú, 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*” elaborado por: OSINERGMIN. 2017, p. 3.

2.2.1.1 Radiación solar

La luz visible, también conocida como luz blanca es una parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir. Este espectro incluye la radiación VIS (visible), así como la radiación UV (ultravioleta) y los rayos IR (infrarroja). La radiación UV tiene una longitud de onda de alrededor de 500 nanómetros (nm, 1 nanómetro= 10^{-9} m), mientras que la VIS abarca el rango de 400 a 800 nm y la IR se encuentra entre el rango de 1000 y 4000 nm. Es importante tener en cuenta que la mayor parte de la energía radiante del sol se distribuye en el rango de longitudes de onda ultravioleta, visible e infrarrojo en las siguientes proporciones aproximadas: un 8 % rayos UV, un 39 % para la VIS y un 53 % para el IR cercano (26, p. 207).

2.2.1.2 Componentes de la radiación solar:

- **Radiación directa:** la radiación está formada por corrientes de rayos provenientes de la dirección del sol llega a la superficie de la Tierra sin ser reflejada (2).
- **Radiación difusa:** la radiación solar es absorbida y difundida por la atmósfera, de gran importancia en días nublados. Se distribuye a través de los componentes atmosféricos y alcanza la superficie desde diversas ubicaciones dentro del sistema solar (26).
- **Radiación reflejada:** este fenómeno ocurre cuando una superficie inclinada recibe la radiación reflejada del entorno, como cuerpos de agua o paisajes circundantes. Se conoce como albedo y su porcentaje varía según la tabla 4. La superficie horizontal no recibe radiación reflejada directamente debido a la

sustancia de la superficie terrestre en su línea de visión, mientras que las superficies verticales reciben la mayor cantidad de radiación reflejada (27).

Tabla 4. *Albedo de distintas superficies*

Superficie	Albedo %
Suelo negro	14 %
Bosque coníferas	15 %
Bosque tropical	15 - 20 %
Cultivos verdes	15 - 25 %
Desierto	25 - 30 %
Agua	05 %
Nieve	80 - 95 %
Hielo	50 - 70 %
Nube	36 - 90 %
La Tierra	30 %

Fuente: *“Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de Baños de Agua Santa”, elaborado por: Herrera. 2011, p. 17.*

Las cantidades de radiación directa, difusa y albedo que llegan a la superficie dependen de:

- a). Las condiciones meteorológicas actuales
- b). La inclinación de la superficie con respecto al plano horizontal
- c). La presencia de superficies reflectantes en el entorno

➤ **Radiación global:** la radiación incidente sobre la superficie se obtiene al sumar los tres componentes radiantes: la radiación directa I_D , la dispersa I_S y la radiación reflejada R , expresada mediante la siguiente fórmula (27).

$$I_T = I_D + I_S + R$$

Hay una variedad de colectores solares diseñados para aprovechar la radiación solar de diversas maneras, por ejemplo: los colectores solares planos tienen la capacidad de capturar tanto la radiación (directa + difusa); por otro lado, los colectores concentradores están diseñados específicamente para capturar la radiación directa, por ende, suelen instalarse en áreas con mínima nubosidad y cierta claridad atmosférica. En contraste, los colectores solares planos son

versátiles y pueden ser instalados en cualquier ubicación donde la exposición solar sea la adecuada (27).



Figura 3. Componentes de la radiación solar. Tomado de la fuente: “Fundamentos Energía solar y Fotovoltaica”.

Fuente: Sunfields. 2015 disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energía-fotovoltaica-radiación-geometría-recorrido-óptico-irradiancia-y-hsp/>

- **Irradiancia (G):** la unidad de medida para la potencia por unidad de área que alcanza la superficie terrestre es el vatio por metro cuadrado W/m^2 (26).
- **Irradiación (I):** la irradiación solar es la cantidad de energía incidente por unidad de área en un plano durante un intervalo de tiempo específico como una hora o un día. Se representa como la integral de (G) para ese periodo de tiempo y se expresa como (I) para una hora y (H) para un día. La cantidad se mide en Joule por metro cuadrado (J/m^2) (26).
- **Irradiación global (I_g):** es la radiación directa, difusa y reflejada del ambiente que es interceptada por una superficie esférica (26).
- **Irradiación extraterrestre (I_e):** es la radiación que incide sobre una superficie horizontal en el límite superior de la exósfera conocida como radiación extraterrestre (26).

2.2.1.3 Medida e instrumento de radiación

Para realizar una evaluación precisa de un sistema fotovoltaico es fundamental obtener datos fiables sobre la radiación solar que implica el desarrollo de un modelo adecuado, el diseño del sistema y la realización de pruebas con los colectores. Las mediciones básicas de la radiación solar incluyen los componentes de radiaciones como radiación difusa y global. El costo de obtener estos datos puede variar significativamente según los tipos de instrumentos utilizados, existen atlas de medición y base de datos meteorológicos disponible, aunque a veces pueden ser

insuficientes. En Estados Unidos, por ejemplo, existe la base de datos nacional de radiación solar (NSRDB 1994) que recopila datos de 239 lugares de todo el país, facilitando la simulación de sistemas en diversas ubicaciones. Asimismo, hay sistemas meteorológico -globales disponibles a nivel mundial (28). A continuación, se describen varios instrumentos utilizados para evaluar la intensidad de la irradiancia.

2.2.1.3.1 Pirheliómetros

La medición de la irradiación solar directa sobre una superficie perpendicular a los rayos del sol se realiza utilizando un instrumento llamado pirheliómetro. Este dispositivo está diseñado para proteger el receptor de la irradiación solar indirecta y se coloca en la parte inferior de un tubo. Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), los pirheliómetros se clasifican en patrones primarios, secundarios y de campo (28).

- **Pirheliómetros primarios:** la escala de irradiancia total se establece utilizando instrumentos altamente precisos los cuales suelen ser bastante complejos y costosos de replicar. Estos instrumentos proporcionan la máxima precisión jamás registrada en la medición de radiación solar alcanzando hasta ($1\text{Kw}/\text{m}^2$) (28).
- **Pirheliómetro secundario:** Este equipo no satisface todas las especificaciones o no está completamente caracterizado, se utiliza como estándar secundario cuando es calibrado por un grupo de normalización a nivel mundial. Debido a su precisión y su portabilidad es recomendado para diversos fines. Uno de los más conocidos es el pirheliómetro de compensación por Angstrom el cual se utiliza para calibrar tanto el pirheliómetro como piranómetros (28).



Figura 4. *Pirheliómetro de compensación Angstrom.*

Fuente: “Atlas de energía solar del Perú”, elaborado por: National Service of Meteorology and Hydrology of Perú. 2003, p. 13.

- **Pirheliómetro de campo:** este instrumento se emplea para registrar de manera continua la radiación solar y generalmente cuenta con un sistema de seguimiento automático. Este sistema de seguimiento automatizado normalmente utiliza una termopila como detector con un ángulo óptimo 2.5° a 5.5° de semi ángulo de apertura, y un ángulo de inclinación entre 1° a 2° . Estas características de diseño permiten al dispositivo seguir el movimiento del sol (28).

2.2.1.3.2 Piranómetros:

Son instrumentos que cuantifican la radiación global, abarcando tanto la radiación directa como la difusa en un plano horizontal, requieren estar resguardados contra la radiación reflejada del suelo para evitar interferencias en la medición. Para este propósito se suelen emplear sensores termoeléctricos, fotoeléctricos, piroeléctricos o elementos bimetálicos. Estas herramientas se seleccionan considerando sus atributos en términos de precisión y confiabilidad los cuales incluyen sensibilidad, tiempo de respuesta, estabilidad y respuesta ante el cambio de temperatura (28).

- **Pirómetros fotovoltaicos:** este dispositivo comprende medidores solares que utilizan una célula fotovoltaica, dichas células tienen la capacidad de producir una corriente eléctrica cuando se exponen a la radiación solar. Aunque esta corriente es breve, se debe tener en cuenta un margen de error del 3 % en la medición de la irradiancia diaria (28).

2.2.1.3.3 Heliógrafo

Este dispositivo, en forma de esfera, registra la duración de la luz solar durante el día en una ubicación específica. Su diseño implica que el lente y la imagen focalizada se desplacen a lo largo de una tira de papel. La marca en la tira se produce cuando la radiación solar directa excede un límite variable que oscila entre 120 a 210 W/m^2 , dependiendo de factores como la ubicación, turbidez atmosférica, altitud, humedad atmosférica. Por consiguiente, puede proporcionar estimaciones de la irradiación solar diaria, media mensual o anual con un margen de errores de un 10 % (28).



Figura 5. *Heliógrafo Campbell-Stokes.*

Fuente: “Atlas de energía solar del Perú”, elaborada por National Service of Meteorology and Hydrology of Perú. 2003, p.15.

2.2.1.4 Cálculo de irradiancia

La cantidad de energía que llega a un metro cuadrado (m^2) de la Tierra es máxima en el punto donde la radiación incide de manera perpendicular a la superficie terrestre.

- **Latitud del punto solar (δ):** esta indica la distancia angular entre un punto cualquiera ubicado en la superficie de la Tierra y el Ecuador. En líneas generales, los puntos ubicados en el hemisferio norte indican que los valores de latitud tienen valor positivo con un rango de 0° a 90° y para los ubicados en el hemisferio sur los valores de la latitud tienen valor negativo con un rango de -90° a 0° (27).

Este punto varía diariamente debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, así como por la inclinación del eje terrestre el cual se encuentra

inclinado a un ángulo aproximadamente de $\delta = 23.5^\circ$. El solsticio de verano (21 de junio), es el punto más al norte y experimenta una inclinación con un ángulo de $\delta = +23.5^\circ$ mientras que el punto más al sur alcanza una declinación a un ángulo de $\delta = -23.5^\circ$ en el solsticio de invierno (21 de diciembre). En los equinoccios de otoño y primavera, los días y las noches tienen una duración aproximadamente igual. La posición del Sol es crucial ya que determina la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre y afecta los cálculos posteriores sobre la radiación global (27).

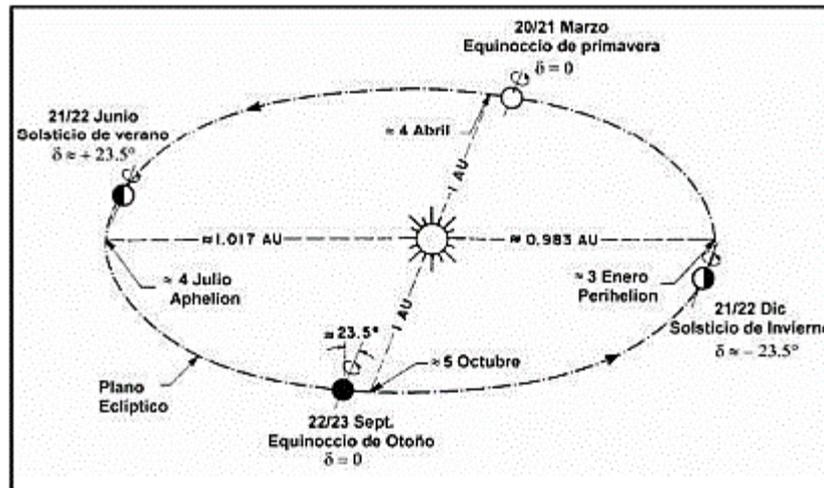


Figura 6. *Movimiento de la tierra al rededor del sol.*

Fuente: “Fundamentos del recurso solar - 2020”, elaborado por: G. Abal. 2020. Disponible en: http://les.edu.uy/FRS/clases/UIP2_MAS.pdf

Se emplearon dos sistemas de coordenadas centradas en el observador para calcular la posición precisa del Sol, las coordenadas horarias y coordenadas horizontales.

A) Coordenadas horarias:

- **La declinación solar (δ_s):** es el ángulo que define la posición de un astro respecto al Ecuador celeste y que influye en la estación del año. Un ejemplo notable es una coordenada absoluta, la cual no está sujeta a la ubicación observador en la superficie terrestre. Es mayor que 0 ($> 0^\circ$) en dirección al polo norte celeste y menor ($< 0^\circ$) en dirección al polo sur celeste y alcanza su valor máximo ($\pm 23^\circ 27'$) en los solsticios (invierno y verano) y mínimo (0°) en los equinoccios (otoño y primavera) (27).

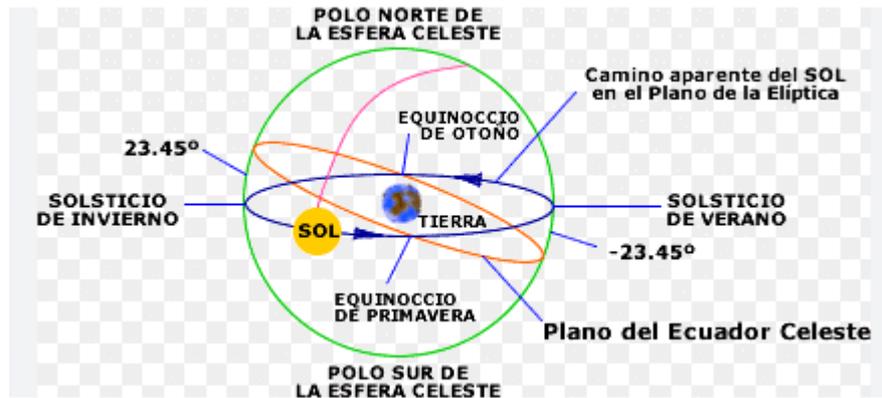


Figura 7. Ángulo de declinación.

Fuente: *Página web Wikipedia [online]. [Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2022]. Elaborado por: Wikipedia Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Declinaci%C3%B3n_%28astronom%C3%ADa%29*

- **El ángulo horario solar (ω_s):** es la medida angular a lo largo del Ecuador celeste desde el punto se cruza con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro en dirección del movimiento de las manecillas del reloj. Define la hora solar al mediodía, siendo el ángulo horario igual a cero. Cada hora, el ángulo horario aumenta en 15° . Se representa matemáticamente como $\omega = 15 (ts-12)$; donde ts es el tiempo solar en horas (27).

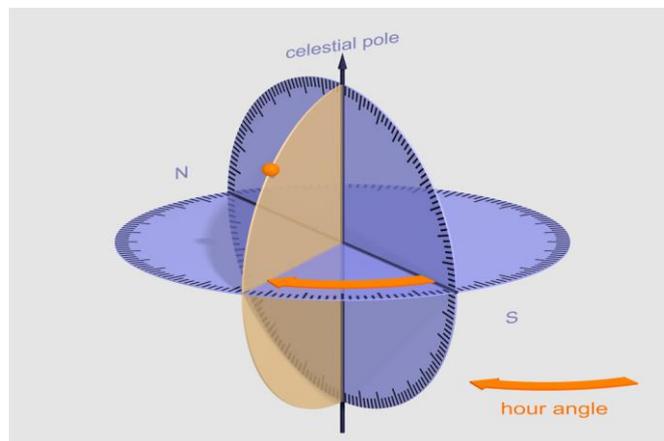


Figura 8. Ángulo horario

Fuente: *Wikipedia [online]. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2022]. Elaborado por Wikipedia. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_horario*

- **Cénit (ϕ_z):** es el punto de la esfera celeste que se encuentra justo sobre el observador en un lugar específico de la Tierra. Este punto se determina

por la intersección del radio de la Tierra que se extiende en ambas direcciones desde la posición del observador con la esfera celeste (27).

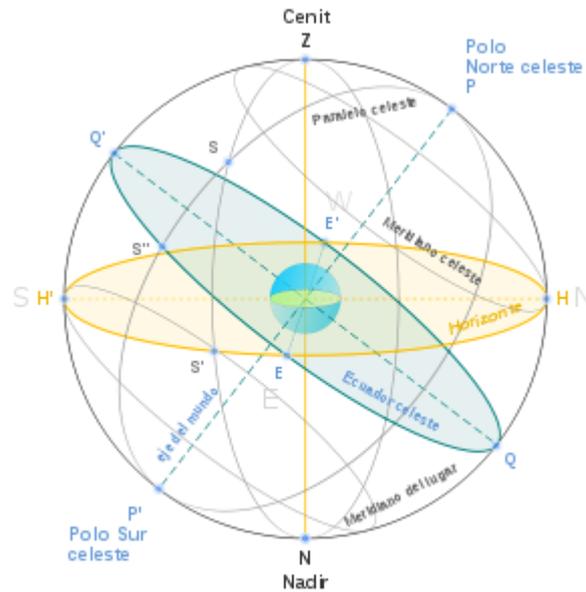


Figura 9. Cénit

Fuente: “Aula Náutica”, elaborado por: Escolaport 2019.

Determinar las coordenadas horarias es un proceso relativamente simple ya que la declinación depende únicamente del día, año y del ángulo horario de la hora. Para obtener estos dos valores primero se calcula la hora solar a partir de (27).

$$\text{hora sol} = \text{hora sol local} + 4 \left(\frac{\text{min}}{\circ} \right) (L_{\text{ref}} - L_{\text{loc}}) + \Delta t$$

Donde:

L_{ref} = longitud geográfica del meridiano de referencia ($^{\circ}$)

L_{loc} = longitud del meridiano local ($^{\circ}$)

Debido a que el Sol se adelanta y retrasa respecto a la hora solar media, se debe hacer una corrección mediante la educación del tiempo (27).

$$\Delta(\text{min}) = 9.87 \text{ sen}^2 B - 7.53 \text{ cos } B - 1.5 \text{ sin } B$$

Donde:

$$B^{\circ} = \frac{360(J - 81)}{364}$$

J: corresponde al día juliano del año (1-365)

Una vez conocida la hora solar, se calcula el ángulo horario mediante la siguiente fórmula (27).

$$\omega_S = (\text{hora solar} - 12\text{h}) \times 15^\circ$$

Donde:

ω_S = Es el ángulo horario

El ángulo horario resulta negativo en las mañanas y positivo en las tardes.

Para el cálculo de la declinación del Sol se utiliza la siguiente fórmula (27):

$$\delta_S = 23.45 \times \text{sen}\left(360 \times \frac{284 + J}{365}\right)$$

Donde:

δ_S = Es la declinación del Sol

J = Es el día juliano del año

B) Coordenadas horizontales:

- **Altura solar(hs):** El cenit solar es el ángulo entre la radiación directa del sol y el plano horizontal, su complemento se conoce como cenit solar (27).
- **El azimut solar:** El azimut es el ángulo entre la radiación solar directa y el meridiano del observador y se mide a partir del mediodía solar. Para el calcular las coordenadas horizontales se parte de las coordenadas horarias, lo que nos permite determinar la altura solar (hs) será (27):

$$\begin{aligned} \text{sen}(h_S) &= \text{sen}\phi \times \text{sen}\delta_S + \text{cos}\phi \times \text{cos}\delta_S \times \text{cos}\omega_S \text{sen}\alpha_S \times \text{sen}(h_S) \\ &= \text{cos}\phi \times \text{sen}\omega_S \end{aligned}$$

Donde:

h_S : Es la altura solar

δ_S : Es la declinación solar

ϕ : Es la latitud del lugar

ω_S : Es el ángulo horario

α_S : Es el azimut solar

Para el cálculo de la altura solar máxima ($h_{S,max}$) al medio día solar, el ángulo horario y el azimut del sol es cero, $\omega_S = 0^\circ$, $\alpha_S = 0^\circ$; por lo tanto.

$$h_{S,max} = 90^\circ - \phi + \omega_S$$

2.2.1.5 Cálculo de sombras:

La presencia de sombra es el resultado de varios obstáculos circundantes que varían a lo largo del día, dependiendo de factores como la latitud, fecha y hora en el lugar donde se lleva a cabo el proyecto, lo que puede ocasionar pérdidas de radiación solar en los captadores. Existen diferentes tipos de sombreado (27):

- Entre captadores del sistema solar
- Causado por edificios, arboles, montañas, etc.

La distancia mínima entre las filas de colectores debe ser suficientemente amplia para evitar que la sombra del borde superior de una fila se proyecte sobre la fila adyacente. Este cálculo debe realizarse al mediodía del día más desfavorable, cuando el Sol tiene su altura mínima. Además, la instalación no debe cubrir más de 5 % del área útil de los captadores cubierta por sombras (27).

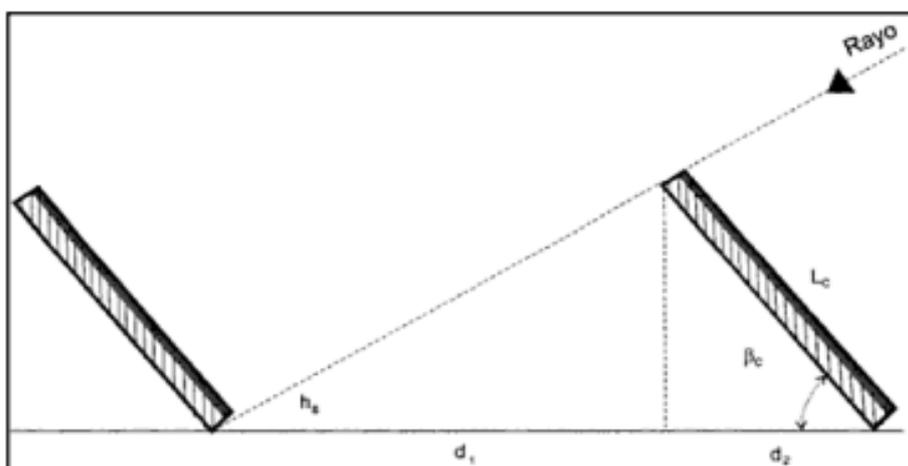


Figura 10. Distancia mínima entre captadores.

Fuente: “Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de Baños de Agua Santa”, elaborado por: Herrera. 2011, p. 24.

Según la Figura 10, el número de captadores es la siguiente (27):

$$L = d_1 + d_2 = L_c \times \left[\frac{\text{sen}\beta}{\tan(h_s)} + \text{cos}\beta \right]$$

Donde:

L_c = lectura del captador

β = inclinación

L = longitud de la sombra

La relación básica entre la longitud de la sombra ($L_{sombras}$), la altura del obstáculo (H_{obst}) y la altura solar (h_s) es:

$$\boxed{\tan h_s = \frac{H_{obst}}{L_{sombras}}}$$

La metodología utilizada para sombras consta por dos pasos (27):

- a. Obtención del perfil de obstáculo:** se observa el entorno a ambos lados de la línea N-S, utilizando la arista como referencia desde el punto medio del captador. Se determinan las alturas angulares (H_{obst}) de cada obstáculo, definiendo la posición de estos en relación al ángulo azimutal.
- b. Representación del perfil de obstáculos:** se examinan tanto la altura angular como la orientación de los árboles y edificios cercanos a la instalación solar, los cuales pueden obstruir la incidencia directa de los rayos solares (27).

2.2.1.6 Irradiación en plano horizontal

Cuando se estima la radiación sobre el plano horizontal de la Tierra se comienza por evaluar la intensidad de la radiación fuera de la atmósfera, la cual es tangente a la superficie del planeta. Dado que la irradiancia solar constante es perpendicular al Sol y el ángulo que forman los rayos solares con el plano tangente varía diaria y anualmente debido al movimiento solar constante, estas dos magnitudes están directamente relacionadas. Así, la radiación incidente en el plano tangente siempre es igual o menor que la constante solar. Esto se puede expresar mediante la siguiente fórmula (27).

$$I_{so}^e = S_S \times F_{TS} \times \cos(\theta_Z) = S_S \times \text{sen } h_s$$

$$I_{so}^e = S_S \times F_{TS} \times \text{sen}(\text{sen}(\varnothing) \times \text{sen}(\delta_S) + \cos(\varnothing) \times \cos(\delta_S) \times \cos(\omega_S))$$

Dónde:

S_S : es la constante solar que se aproxima 4.9256 J/m^2

- **F_{TS}**: es el término “movimiento de traslación”, describe el movimiento de la Tierra alrededor del Sol en una órbita elíptica. Este fenómeno resulta en variaciones en la distancia entre la Tierra y el Sol a lo largo del año, lo que a su vez afecta la irradiancia que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre (27).

$$\boxed{F_{TS} = 1 + 0.034 \times \cos\left(\frac{360 \times J}{365.25}\right)}$$

Integrando la ecuación de la irradiancia extraterrestre para las 24 horas de un día determinado, la siguiente ecuación es (27):

$$H_{s0}^e = \frac{24}{\pi} \times S_S \times F_{TS} \times (\omega_{S,p} \times \text{sen}\varnothing \times \text{sen}(\delta_S) + \cos\varnothing \times \cos\delta_S \times \text{sen}\omega_{S,p})$$

Donde:

$\omega_{S,P}$ es el ángulo horario de la puesta al sol y se expresa en radianes (27).

$$\omega_{S,P} = \cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta_S)$$

2.2.1.7 Irradiación en planos inclinados

La irradiación recibida en la superficie de un plano inclinado se calcula sumando la irradiación directa ($I_{s,b}$), difusa ($I_{s,d}$) y reflejada desde la superficie frente al colector ($I_{s,re}$). La irradiación en planos inclinados se representa mediante la siguiente expresión (27):

$$I_s = I_{s,b} + I_{s,d} + I_{s,re}$$

La irradiancia es la cantidad de radiación que incide en el colector, calculada a partir de mediciones de radiación directa y difusa. Cuando se dispone de datos de irradiancia, se refiere al total de radiación en el plano horizontal (H_{S0}). Para la planificación de instalaciones de energía solar es necesario convertir los datos medidos en el plano horizontal a un plano inclinado.

Utilizando el algoritmo propuesto por Lui y Jordan en 1962, es posible calcular los componentes directa, difusa y reflejada de la irradiación global. La irradiancia global diaria en un plano inclinado se expresa de la siguiente manera (27):

$$H_s = R_A + H_{S0}$$

Dónde:

R_A : Cociente entre las medidas mensuales de irradiación global diaria sobre el plano inclinado y horizontal siendo expresados de la siguiente manera (27).

$$R_A = \left[\left(1 - \frac{H_{s,d}}{H_S} \right) R_B \right] + \left[\frac{\frac{H_{s,d}}{H_S} (1 + \cos\beta_C)}{2} \right] + \left[\frac{\rho' (1 - \cos\beta_C)}{2} \right]$$

En esta última ecuación, R_B es el análogo de R_A . $H_{s,d}$ es la irradiación difusa diaria: lo cual no se tiene a disposición medias de su media mensual y por lo tanto relacionaron con Lui y Jordan, este componente con el índice de claridad se expresa de la siguiente manera (27):

$$\frac{H_{s,d}}{H_S} = 1.39 - 4.03K_T + 5.53K_T^2 - 3.11K_T^3$$

$$K_T = \frac{H_{S0}}{H_{S0}^e}$$

Existe otra ecuación que correlaciona la radiación difusa y global con la puesta del sol. Esta fue determinada en 1979 por Collares y Pereira expresada de la siguiente manera (27):

$$\frac{H_{s,d}}{H_S} = 0.775 + 0.347 \left(\omega_{S,P} - \frac{\pi}{2} \right) - \left[0.505 + 0.0261 \left(\omega_{S,P} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \times \cos(2K_T - 1.8)$$

Donde:

$\omega_{s,p}$: se expresa en radianes

Por el método de Klein, desarrollado en 1977, se obtiene el cociente de RB, para planos orientados al sur (27).

$$RB = \frac{\cos(\varnothing - \beta_C) \times \cos(\delta_S) \times \text{sen}(\omega'_{s,p}) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \times \omega'_{s,p} \times \text{sen}(\varnothing - \beta_C) \times \text{sen}(\delta_S)}{\cos\varnothing \times \cos(\delta_S) \times \text{sen}(\omega_{s,p}) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \times \omega_{s,p} \times \text{sen}\varnothing \times \text{sen}(\delta_S)}$$

Donde:

$\omega_{s,p}$: es el ángulo horario del ocaso del Sol en el plano horizontal (radianes).

$\omega'_{s,p}$: es el ángulo horario del ocaso del Sol en el plano inclinado.

\varnothing : es la latitud del lugar

β_C : es el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico

Para planos de cualquier orientación R_B se expresa la siguiente fórmula (27).

$$\begin{aligned} R_B = & (\cos\beta_C \times \text{sen}(\delta_S) \times \text{sen}\varnothing \times \left(\frac{\pi}{180}\right) (\omega'_{s..sal} - \omega'_{s,p}) \\ & - \text{sen}\beta_C \times \text{sen}(\delta_S) \times \cos\varnothing \times \text{cosa}_C \times \left(\frac{\pi}{180}\right) (\omega'_{s..sal} - \omega'_{s,p}) \\ & + \cos\beta_C \times \cos(\delta_S) \times \cos\varnothing \times (\omega'_{s..sal} - \omega'_{s,p}) \\ & + \text{sen}\beta_C \times \cos(\delta_S) \times \text{sen}\varnothing \times \text{cosa}_C \times (\omega'_{s..sal} - \omega'_{s,p}) \\ & - \text{sen}\beta_C \times \cos(\delta_S) \times \text{sena}_C \times (\omega'_{s..sal} - \omega'_{s,p}) / (\cos(\delta_S) \times \cos\varnothing \\ & \times \text{sen}\omega'_{s..sal} + \left(\frac{\pi}{180}\right) \text{sen}\omega'_{s..sal} \times \text{sen}(\delta_S) \times \cos\varnothing) \end{aligned}$$

Donde:

$\omega_{s..sal} - \omega'_{s..sal}$: son ángulos horarios de salida del Sol para el plano horizontal e inclinado en radianes.

$\omega_{s,p}$ y $\omega'_{s,p}$: S P, son ángulos para la puesta del sol, el plano horizontal e inclinado.

2.2.1.8 Radiación solar en el Perú

La red de medición de radiación solar del SENAMHI está compuesta por estaciones equipadas con piranómetros y dispositivos que registran con precisión la radiación solar directa. Además, existen instrumentos de menor precisión como el actinógrafo que proporciona datos aproximados de radiación solar y el heliógrafo que muestra de manera indirecta la irradiación solar durante las horas de luz solar. En la tabla 5 se presentan los resultados de 10 estaciones con datos piranómetros en todo el Perú, cubriendo diversas ubicaciones que incluyen áreas de la Costa, Sierra y Selva (28).

Tabla 5. Valores de las variables climáticas más importante en estaciones del Perú

Estación meteorológica	Energía solar diaria (kW h/m ²)	Heliofanía relativa (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación total (mm/año)
COSTA					
Miraflores	5.75	56	30.7	19.3	216
San Camilo	5.92	61	28.7	13.4	11
La Joya	7.03	75	27	10.1	77
SIERRA					
Bambamarca	4.56	44	19.4	9.5	737
Weberbauer	4.92	49	21.3	7.6	644
Cosmos	4.92	46	9.2	-0.7	1047
Huayao	6.00	56	19.6	4.4	765
Granja Kcayra	5.44	53	20.7	3.7	674
Chuquibambilla	6.08	59	16.8	-2.4	715
Puno	6.36	70	14.7	2.00	753
Characato	6.50	73	22.8	6.8	78
SELVA					
San Ramon SM	4.67	41	31.3	20.8	2158
El Porvenir	3.89	41	32.5	20.4	1041
Bellavista	4.78	40	32.2	20.9	928

Nota: kW h/m²: kilo whats hora.

Fuente: Tomada de la fuente “Atlas de Energía Solar del Perú”, por National service of metereology and hydrology of Perú. 2003, p. 18.

Es importante destacar que la medición de irradiación solar experimenta variaciones significativas dependiendo de la ubicación geográfica o del sitio donde se lleve a cabo el proyecto. Los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas ubicadas en diversas regiones del Perú proporcionan información valiosa al respecto. En la tabla 6 se presenta las irradiaciones anuales de los distintos departamentos del Perú (22).

Tabla 6. Promedio anual de irradiación solar en el Perú

PROMEDIO ANUAL DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA EN EL PERÚ

N°	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Irradiación solar promedio anual (Kwh/m2)
1	Iquitos	Iquitos	Maynas	Loreto	73°1527	03°4447	125	3.73
2	El Cenepa	El Cenepa	Condorcanqui	Amazonas	28°0936	04°2745	240	2.89
3	Requena	Requena	Requena	Loreto	73°5051	05°0314	180	3.66
4	Hda El Valor	El Milagro	Utcubamba	Amazonas	78°3836	05°3933	421	4.49
5	Yurimaguas	Yurimaguas	Alto Amazonas	Loreto	76°0617	05°5126	185	4.14
6	Juan Guerra	Juan Guerra	San Martin	San Martin	76°1944	06°3446	330	3.95
7	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	78°3058	07°0906	2640	4.47
8	Padre Abad	Padre Abad	Padre Abad	Ucayali	75°3027	09°0158	270	4.02
9	Tingo María	Rupa Rupa	Leoncio Prado	Huánuco	75°5941	09°1730	640	4.02
10	Huánuco	Huánuco	Huánuco	Huánuco	76°1425	09°5527	1895	4.52
11	Humaya	Leoncio Prado	Huaura	Lima	77°0000	11°0600	750	4.65
12	San Ramon	San Ramon	Chanchamayo	Junín	75°2104	11°0705	800	3.98
13	Ibera	Ibera	Tahuamanu	Madre De Dios	69°3224	11°2117	350	3.68
14	Huachac	Huachac	Chupaca	Junín	75°2029	12°0060	3350	4.97
15	Santa Ana	Santa Ana	La Convención	Cusco	72°4130	12°5137	920	4.01
16	Ayacucho	Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	74°1325	13°0926	2760	4.89
17	San Jerónimo	San Jerónimo	Cusco	Cusco	71°5259	13°3224	3220	4.69
18	Abancay	Abancay	Abancay	Apurímac	72°5230	13°3302	2376	4.75
19	Manrique	Independencia	Pisco	Ica	76°0152	13°4118	200	4.52

20	Parcona	Parcona	Ica	Ica	75°4204	14°0229	389	5.04
21	Ica	Ica	Ica	Ica	75°4324	14°0760	390	4.89
22	Hda.Majoro	Nazca	Nazca	Ica	74°5819	14°5020	410	5.02
23	Marcona	Marcona	Nazca	Ica	75°0634	15°1234	620	4.94
24	Huaraya	Moho	Moho	Puno	69°2814	15°2125	3890	5.16
25	Sibayo	Sibayo	Caylloma	Arequipa	71°2716	15°2954	3847	4.94
26	Puno	Puno	Puno	Puno	70°0138	15°5008	3875	5.19
27	Juli	Juli	Chuquito	Puno	69°2726	16°1239	3852	5.05
28	Pampa De Majes	Santa Isabel De	Arequipa	Arequipa	72°1142	16°1932	1440	5.61
29	Arequipa	Arequipa	Arequipa	Arequipa	71°3160	16°2149	2350	5.31
30	Characato	Characato	Arequipa	Arequipa	71°2855	16°2801	2451	5.32
31	Moquegua	Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	70°5558	17°1127	1412	5.36
32	Paucarani	Pachia	Tacna	Tacna	69°4609	17°3042	4541	5.41
33	Calana	Calana	Tacna	Tacna	70°1108	17°5617	675	4.99

Fuente: SENAMHI y Adaptada por “Diseño de sistema eléctrico híbrido para una vivienda residencia”, elaborado por: Jamjachi. 2021, p. 27

2.2.1.9 Radiación solar en la región Junín

En la región Junín, el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) administra 19 estaciones meteorológicas. La radiación global ha sido evaluada en diversas provincias de la región Junín y ha sido registrada exclusivamente por 3 estaciones meteorológicas equipadas con piranómetros. Estos dispositivos capturan la radiación solar en las estaciones meteorológica ubicadas en Huancayo, Tarma y Satipo. Para el procesamiento de los datos de radiación se aplicó el modelo de Bristow - Campbell y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7 (29).

Tabla 7. *Tabla de irradiación solar en la región Junín*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Pichanaki	4.15	3.99	3.99	3.73	3.41	3.31	3.47	3.93	4.38	4.46	4.37	4.12	3.94
Runatullo	4.39	3.93	4.21	4.09	4.24	4.12	4.28	4.79	4.84	4.56	4.68	4.26	4.37
Jauja	6.09	5.83	5.50	5.55	5.41	5.22	5.39	5.89	6.23	6.45	6.59	6.15	5.86
Tarma	6.23	6.12	5.89	5.48	4.98	4.72	4.87	5.36	5.81	6.12	6.29	6.15	5.67
Huasahuasi	4.70	4.22	4.30	4.46	4.31	4.18	4.26	4.72	4.98	5.05	5.22	4.72	4.59
Comas	6.32	6.01	5.77	5.53	5.17	4.90	5.05	5.63	6.10	6.37	6.64	6.39	5.82
San Ramón	4.75	4.64	4.54	4.27	3.92	3.67	3.88	4.35	4.89	5.23	5.08	4.78	4.50
Satipo	4.32	4.23	4.19	3.93	3.48	3.38	3.57	4.02	4.45	4.63	4.60	4.39	4.10
Puerto Ocopa	4.17	4.02	4.01	3.85	3.50	3.39	3.62	4.18	4.63	4.74	4.66	4.29	4.09
La Oroya	6.21	5.88	5.46	5.53	5.37	5.15	5.33	5.80	6.16	6.45	6.70	6.28	5.86
Ricrán	5.27	4.87	4.47	4.56	4.80	4.72	4.89	5.28	5.52	5.64	5.70	5.02	5.06
Ingenio	6.49	6.13	5.80	5.64	5.41	5.18	5.39	5.93	6.28	6.59	6.77	6.46	6.01
Junín	6.94	6.58	6.36	6.09	5.76	5.62	5.94	6.59	6.93	7.09	7.42	7.00	6.53
San Juan de Jarpa	5.99	5.49	5.15	5.28	5.26	5.02	5.17	5.73	6.06	6.30	6.61	6.02	5.67
Viques	6.57	6.25	6.06	5.94	5.61	5.37	5.53	6.05	6.61	6.76	6.97	6.58	6.19
Huayao	6.87	6.60	6.30	6.05	5.80	5.58	5.76	6.28	6.65	6.98	7.32	6.95	6.43
Laive	6.42	6.09	5.81	5.74	5.52	5.51	5.72	6.24	6.43	6.65	6.99	6.49	6.13
Santa Ana	5.89	5.79	5.45	5.29	5.05	4.88	5.07	5.50	5.78	6.00	6.26	5.94	5.58
Shullca	5.22	4.62	4.41	5.19	4.70	4.74	4.95	5.39	5.64	5.75	5.76	5.54	5.16
	5.63	5.33	5.14	5.06	4.83	4.67	4.85	5.35	5.70	5.89	6.03	5.66	5.35

Fuente: *Estimación de la radiación solar global, mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow, elaborado por Campbell en la región Junín, Perú*

2.2.2 Energía eólica

La energía generada a partir del viento proviene de la energía cinética derivada del movimiento del aire la que se convierte en formas útiles de energía para las actividades humanas. Las turbinas eólicas de pequeña escala tienen la capacidad de generar electricidad en áreas remotas y aisladas que no tienen acceso a la red eléctrica. Este tipo de energía eólica representa un recurso natural abundante, renovable y limpio, lo que ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar las fuentes de energía basadas en combustibles fósiles y su impacto ambiental es significativamente menor en comparación con otras fuentes de energía (7).



Figura 11. Producción de energía eólica.

Fuente: “Energía eólica: todo lo que necesitas saber sobre la energía del futuro”, elaborado por: Morillo 2016. Disponible en: <https://futuroelectrico.com/energia-eolica-que-es/>.

2.2.2.1 Viento

El viento surge del desplazamiento horizontal de masas de gas o aire incluido por las variaciones de temperatura en distintas áreas de la Tierra y su atmósfera. Este fenómeno se origina debido al calentamiento desigual en diversas regiones del planeta. El aire más cálido al ser menos denso que el aire frío, asciende hasta altitudes de aproximadamente de 10 km debido a la influencia del campo gravitacional terrestre. Posteriormente, se desplaza de zonas ecuatoriales a polares, formando un patrón de circulación de norte a sur. En ausencia de la rotación terrestre, el aire se desplazaría directamente hacia los polos y luego regresaría al Ecuador (7).

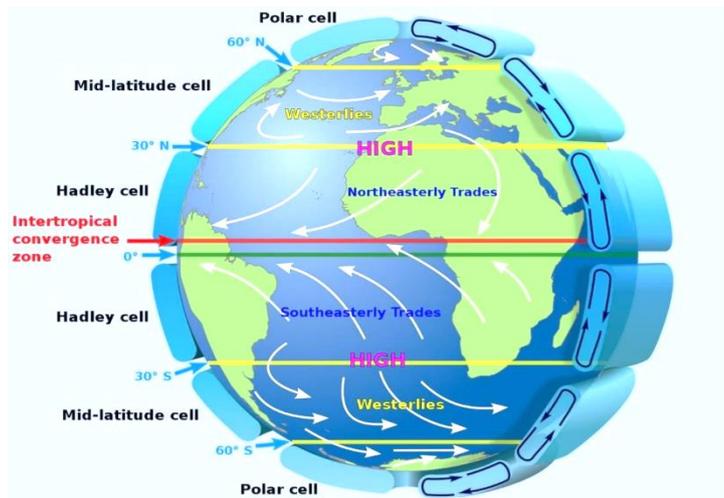


Figura 12. Circulación general en la atmósfera.

Fuente: “La industria de la energía renovable en el Perú, 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático”, elaborado por: OSINERGMIN. 2017.

2.2.2.2 Tipos de fuerzas

2.2.2.2.1 Fuerza de gradiente de presión

Si se aplica una mayor presión en una masa de aire en un lado más que en el otro, se genera una fuerza que se desplaza desde el área de alta presión hacia la zona de baja presión, perpendicularmente a las isóbaras. Estas discrepancias de presión en la superficie se representan en mapas utilizando isóbaras, lo que produce un diagrama sinóptico de tiempo o presión. La distancia entre las isóbaras indica la variación de presión en la superficie del mapa; cuando las isóbaras están próximas entre sí, indican una gran gradiente de presión que da lugar a vientos más intensos, mientras que cuando están más separadas, el gradiente de presión es menor y los vientos son más suaves (7).

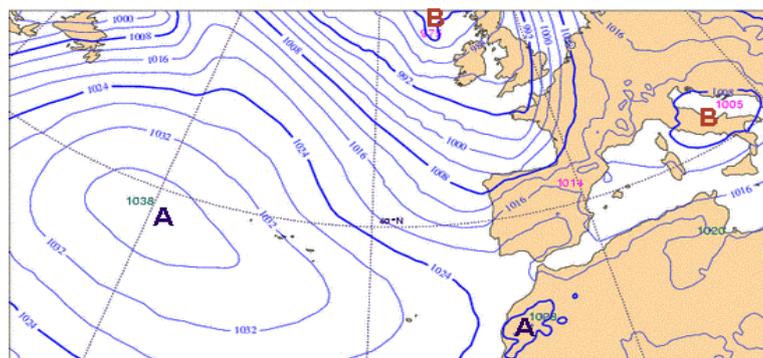


Figura 13: Isóbaras de altas y bajas presiones.

Fuente: “GWEC: Global Wind Report 2022”, elaborado por Lee and Zhao 2022.

2.2.2.2.2 Fuerza de Coriolis

La fuerza del gradiente de presión es dirigida desde las áreas de alta presión hacia las de baja presión y el viento no fluye directamente a lo largo de las isóbaras, sino que se desvía debido a la rotación de la Tierra. Esta desviación se conoce como fuerza de Coriolis que causa un movimiento curvo similar al de un disco giratorio y se produce cuando las masas de aire se desplazan a lo largo de los meridianos de la Tierra, lo que resulta en cambios en su trayectoria y velocidad. Debido a la influencia del movimiento de las masas de aire se forman anticiclones en áreas de alta presión y ciclones en áreas de baja presión debido a la aceleración de Coriolis (9).

2.2.2.2.3 Fuerza de rozamiento

El movimiento del viento se ve notablemente influenciado por la fuerza generada por la fricción entre el aire y la superficie terrestre, la cual se produce aproximadamente a una profundidad de 500 metros en terrenos planos. Esta fricción provoca una disminución en la velocidad del viento por debajo del valor geostrófico lo que impacta en la fuerza de desviación dependiendo de la velocidad y por ende disminuye (9).

2.2.2.3 Dirección del viento

Este término se refiere al punto desde el cual el viento sopla, por ejemplo: un viento del oeste (O) es aquel que proviene del oeste y se dirige al este (E). Esto se mide usualmente mediante una veleta que es un dispositivo metálico giratorio en un eje vertical impulsado por el viento y se expresa en grados o direcciones de la Rosa de Viento (9).

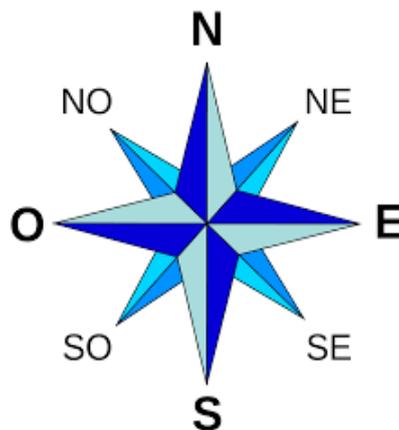


Figura 14. Rosa de viento.

Fuente: “GWEC: Global Wind Report 2022”, elaborado por: Lee and Zhao 2022.

2.2.2.4 Velocidad del viento

Se representa mediante un vector cuya longitud indica la velocidad medida en unidades de velocidad como metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) o nudos. Esta relación se expresa mediante la siguiente expresión:

$$1 \text{ m/s} = 2 \text{ nudos} = 3.6 \text{ Km/h}$$

El viento surge debido a las fluctuaciones continuas e inherentes a su naturaleza turbulenta en contraste con un flujo laminar (9).

Tabla 8. Velocidad del viento en diferentes capas de la Tierra

CAPAS	ALTURA	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	TIPO DE VIENTO
Tropósfera	0 y 5 Km	2 y 15 m/s	Moderados
Tropósfera y Estratófera	5 a 12 Km	<50 m/s	Corriente en chorro

Fuente: "GWEC: Global Wind report 2022", elaborado por Lee and Zhao 2022.

La velocidad del viento varía con la altitud, aproximadamente según una ecuación estadística conocida como Ley exponencial de Hellmann (9).

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10}\right)^\alpha$$

V_h : Es la velocidad del viento a la altura h

V_{10} : Es la velocidad del viento a 10 m de altura

α : Es el exponente de la ecuación de Hellmann que varía con la rugosidad de terreno.

Tabla 9. Valores del exponente α para estimar la velocidad del viento

LUGAR	VALOR α
Lugares llanos con hiera o hielo	0.08 - 0.12
Lugares llanos: mar o costa	0.14
Terrenos pocos accidentados	0.13 - 0.26
Zonas rústicas	0.2
Terrenos accidentados o bosques	0.20 - 0.26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0.25 - 0.40

Nota: α : velocidad del viento.

Fuente: GWEC: Global Wind report 2022", elaborado por Lee and Zhao. 2022.

Para determinar la cantidad de energía eólica necesaria para un proyecto específico es crucial tener en cuenta la velocidad media del viento en el área designada, ya que

esta velocidad puede variar a lo largo del año debido a las fluctuaciones naturales del viento (26).

2.2.2.5 Tipos de vientos inmediatos a la superficie

2.2.2.5.1 Vientos o brizas costeras

Las diferencias en el comportamiento térmico entre el mar y la Tierra conducen a una diferencia de temperatura. En el día, la Tierra se calienta considerablemente más que el mar, mientras que, durante la noche, el mar conserva el calor de manera más efectiva que la Tierra debido al alto valor específico del agua. Estas diferencias de temperatura generan variaciones de densidad que impulsan una aparente circulación del aire. Durante el día, el aire más frío y denso sobre el océano tiende a ascender, resultando en una circulación concentrada desde el mar a la Tierra a nivel inferior y una circulación opuesta en la capa superior del aire. Este fenómeno se conoce como brisa marina el cual comienza después del amanecer y alcanza su máxima intensidad en el día. Estas brisas pueden penetrar varios kilómetros tierra adentro dando lugar a ráfagas de viento frecuentes que a menudo cambian de dirección, mientras que la temperatura desciende significativamente (9).

2.2.2.5.2 Viento de montañas

Los valles intermontañosos también generan ciclos térmicos por el diferente calentamiento experimentado en cada una de sus laderas. Durante el día, las vertientes expuestas al sol que reciben la radiación solar con un ángulo de incidencia elevado se calientan intensamente. Mientras tanto, el fondo del valle permanece frío porque recibe una cantidad mínima de radiación solar. El aire en el fondo del valle y en las laderas lejanas a la exposición también permanecen fríos porque el aire se calienta esencialmente por la radiación de ondas largas emitidas por el suelo. Esta diferencia de temperatura produce un gradiente de presión que dirige el viento hacia las laderas más cálidas. Al mismo tiempo, el flujo de viento que sube hacia el valle se denomina viento de valle, durante la noche esta situación se invierte, es decir las laderas experimentan un fuerte proceso de enfriamiento debido a las pérdidas de calor por la radiación nocturna, lo que hace que el gradiente de presión apunte hacia el fondo del valle. Cuando este aire llega al fondo del valle crea un flujo de viento que se desplaza desde las regiones superiores hacia las partes bajas del mismo, el cual se denomina viento de montaña (9).

2.2.2.5.3 Viento en valles encajonados

Los estrechos valles forman auténticos corredores por los que el viento se analiza y cambia de dirección y fuerza. La acumulación de aire se produce en las zonas donde la concentración es mayor, provocando la aceleración de los vientos y el oleaje en el ascenso vertical, a medida que este valle se abre se produce un hundimiento compensatorio y la expansión horizontal del aire crea remolinos dirigidos a las laderas del valle. Para la recuperación de las energías eólicas, la circulación del calor más favorable se produce a lo largo de la costa o entre valles y laderas de montaña o cuando el viento experimenta un encajonamiento (9).

2.2.2.6 Conversión de energía eólica a energía eléctrica

La energía eólica se origina a partir del movimiento de aire, constituyendo así una fuente de energía renovable. Los aerogeneradores son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica.

En la Figura 15 se ilustran los componentes principales de un aerogenerador (26).

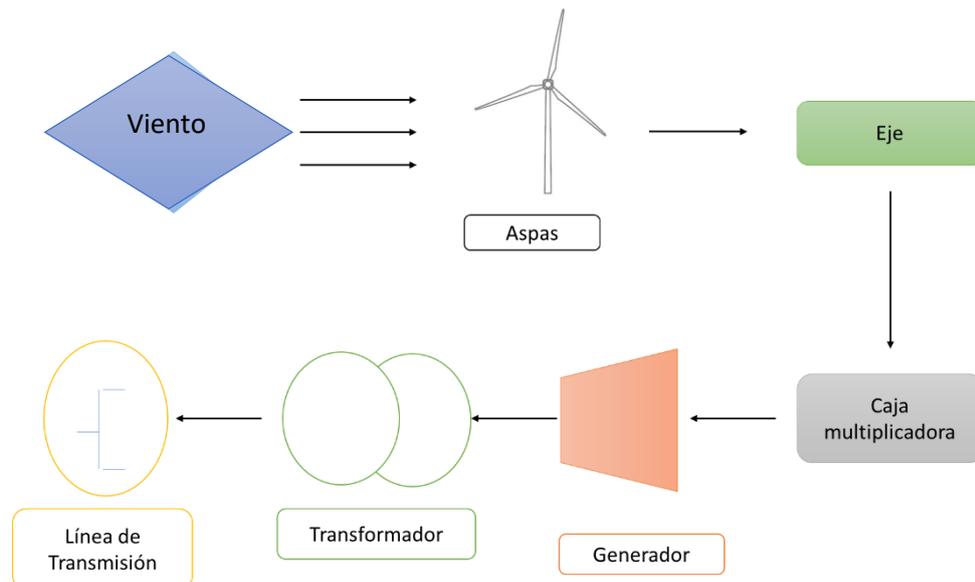


Figura 15. *Proceso de transformación de energía eólica en energía eléctrica.*

Fuente: “Fuente de Energía Renovables y No Renovables”, elaborada por Vega and Ramírez. 2014.

El viento impulsa las aspas de la turbina eólica, generando sustentación sobre ellas y provocando que el rotor, en la mayoría de las turbinas eólicas, se amplifique

mediante una caja multiplicadora el cual incrementa la velocidad de rotación de unas 20 - 30 rpm (revoluciones por minuto) a unas 1500 revoluciones por minuto, que es la velocidad necesaria para generar electricidad. Esta velocidad debe mantenerse alta y constante para garantizar que la frecuencia de electricidad producida sea de 50 Hz, tal y como requiere una red eléctrica estándar (26).

La electricidad generada por la turbina eólica pasa a través de un transformador que eleva la tensión desde el nivel de producción (690 V) hasta la tensión de la red eléctrica conectada.

La energía máxima teórica que se puede extraer de una masa de aire en movimiento viene dada por la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{1}{2} m \times V^2$$

Donde:

$E_c =$ energía cinética (Joule)

$m =$ masa de flujo de aire ($\frac{Kg}{s}$)

$V =$ velocidad del viento ($\frac{m}{s}$)

Suponiendo que el área de recolección es el área barrida por las aspas, perpendicular a la dirección del viento, la masa del flujo de aire circulante que la atraviesa es:

$$m = \rho \times a \times v$$

$\rho =$ densidad de aire ($\frac{Kg}{m^3}$)

$a =$ área de captación m^2

$v =$ velocidad ($\frac{m}{s}$)

Sumando el equivalente de masa a la ecuación de energía cinética y considerando que el área de la superficie es $a = \pi \times r^2$, la energía teórica máxima que se puede extraer del viento por unidad de tiempo, es decir la potencia es:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * \pi * r^2$$

$P =$ potencia del viento (W)

$\rho = (\rho_0) =$ densidad del aire seco = $1.225 \frac{Kg}{m^3}$

$v =$ velocidad del viento $\frac{m}{s}$

$r =$ radio del rotor (m)

La potencia teórica extraída de la masa de aire en movimiento por unidad de área ($a=1$) es entonces:

$$P_m = \frac{1}{2} * \rho * v^3$$

Donde:

$$P_m = \text{potencia meteorológica } \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Dado que la velocidad del viento luego de atravesar la superficie colectora no es cero, no toda la energía cinética que ingresa al rotor es aprovechada, esta pérdida de energía se representada por la ley de Betz, es decir, solo el 59 % de la energía se puede convertir en energía mecánica para el aerogenerador. La potencia teórica disponible por el aerogenerador P_t , por unidad de área (W/m^2), suponiendo una eficiencia teórica en un 59 %:

$$P_t = \frac{1}{2} * 0.593 * \rho * v^3$$

Donde:

$$P_t = \text{potencia total teórica } (W)$$

$$P_t = \frac{1}{2} * 0.593 * \rho * \left(\pi * \frac{d^2}{4}\right) * v^3$$

Multiplicando la densidad (ρ) del aire ($1.225 \frac{Kg}{m^3}$)* $\pi/4$, se obtiene un valor cercano a 1, por lo que la expresión se transforma en la ecuación:

$$P_t = \frac{1}{2} * 0.593 * d^2 * v^3 (W)$$

Se puede decir entonces que la potencia teórica (W) de un aerogenerador es directamente proporcional al rendimiento teórico del 59 % de estas máquinas el cual se mide por el diámetro de las aspas en metros y el volumen en cubos en metros por segundo.

Para estimar la eficiencia real (n), se debe tener en cuenta otros parámetros en función de las características del aerogenerador y del sistema eólico en lugares de instalación, teniendo en cuenta que la altura de la torre también afecta al rendimiento o energía seleccionada y que la velocidad del viento generalmente cambia con el tiempo y aumenta con la altura sobre el nivel del suelo.

$$P_t = \frac{1}{2} * n * d^2 * v^3$$

Donde:

n = eficiencia real que incluye el valor de 0.593 de la eficiencia teórica en la práctica la eficiencia real (n)es alrededor de 0.4 (40 %)

Por otro lado, la velocidad del viento no es constante las 24 horas ni en todas las estaciones del año, dependiendo de la situación la eficiencia está determinada por el factor planta que depende de la coyuntura, en este caso la velocidad del viento. El concepto de FP (factor planta) se define como el cociente entre la energía real (E_t) producida durante el mismo periodo anual (E_n) (26).

$$FP = E_t/E_n$$

Considerando que el factor planta de un aerogenerador en su entrega de energía, por año, es alrededor de un 25 % (26).

2.2.2.7 Tipos de aerogeneradores

2.2.2.7.1 Aerogeneradores de eje horizontal

Las aspas de los aerogeneradores deben cumplir con una serie de objetivos como maximizar la energía obtenida mediante un diseño aerodinámico adecuado, resistir cargas extremas y reducir el mínimo el peso y el costo. Por ende, cada aerogenerador está equipado con diversos sistemas de control que supervisan los distintos sistemas mecánicos y eléctricos necesarios para la generación de electricidad. Estos sistemas deben asegurar parámetros como: voltaje, frecuencia, potencia activa y reactiva. Estos sistemas de control se reducen físicamente a órdenes que contienen programas que pueden actuar sobre diversos mecanismos y analizarlos en tiempo real.

Existen diversos tipos de aerogeneradores de eje horizontal, cada uno con su propia curva de potencia que muestra la variación de la potencia producida en relación con la velocidad del viento. Es importante destacar que cuando la velocidad del viento es demasiado alta hasta alcanzar la potencia nominal, el aerogenerador limita la potencia generada para evitar sobrecargas mecánicas y eléctricas. Los aerogeneradores modernos utilizan un sistema de control aerodinámico que ajusta la potencia extraída a la potencia nominal del generador.

La velocidad del viento puede ser fija o variable y ambos enfoques han demostrado su confiabilidad y eficiencia a lo largo de los años. La velocidad del rotor es crucial porque influye directamente la emisión de ruido, específicamente el nivel de ruido del rotor aumenta cuando este alcanza su velocidad máxima; por lo tanto, los aerogeneradores con un diámetro pequeño aumentan su velocidad de rotación, mientras que los de rotor grande la desaceleran. Además, la torre más alta permite aprovechar más viento porque

su velocidad generalmente aumenta a mayor altura sobre el suelo esto dependiendo principalmente de las condiciones topográficas del país (26).

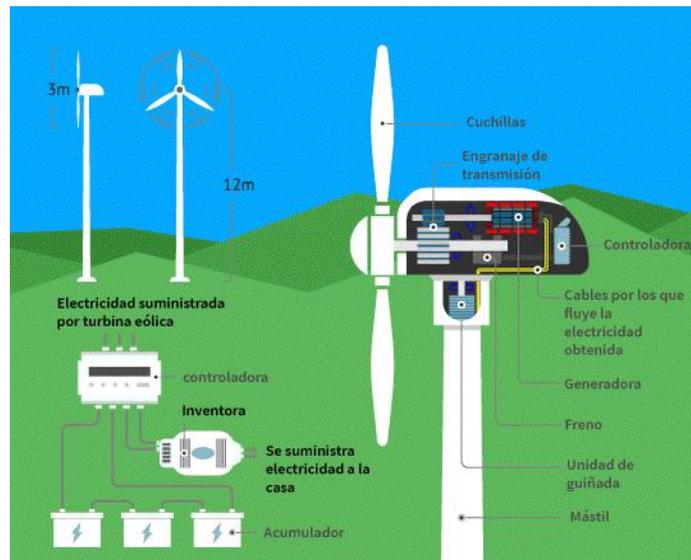


Figura 16. Aerogenerador de eje Horizontal.

Fuente: web Tipos de energía eólica. Disponible en: <https://aprende.com/blog/oficios/energía-eólica/todo-lo-que-debes-saber-sobre-aerogeneradores/>.

2.2.2.7.2 Aerogenerador de eje vertical

La característica destacada de este eje de rotación se dispone de manera perpendicular al suelo, lo que posibilita su funcionamiento incluso con un viento de baja velocidad. No precisa de un sistema de alineación y demanda contactos robustos para facilitar el giro.

En síntesis, existen dos variantes de aerogeneradores (26):

- **Darrieus:** se compone de dos o tres arcos que rotan alrededor de un eje vertical.



Figura 17. Aerogenerador de eje vertical.

Fuente web: *Tipos de energía eólica. Disponible en:*
https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28185/TFG_Juan_Francisco_Rodriguez_Buenestado.pdf?sequence=1.

- **Savonius:** se compone de dos o más semicilindros dispuestos en forma equidistante.

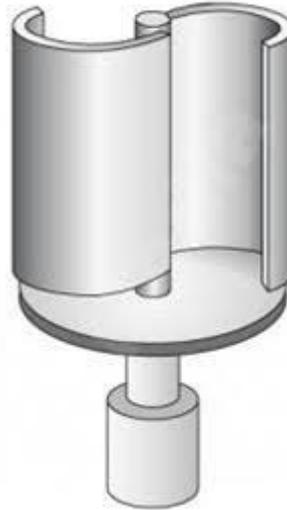


Figura 18. *Aerogenerador Savonius.*

Fuentes web: *tipos de energía eólica, disponible en:*
[file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet_TurbinasHidrocinéticasDeEjeVerticalHelicoidal-6759691%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet_TurbinasHidrocinéticasDeEjeVerticalHelicoidal-6759691%20(1).pdf),

Las ventajas principales en teoría de estos aerogeneradores de eje vertical incluyen la ubicación del generador, multiplicador y otros elementos a nivel de suelo, eliminando así la necesidad de una torre. Sin embargo, las desventajas radican en sus velocidades más bajas debido a la ausencia de una torre (26).

2.2.2.8 Aerogeneradores de tracción directa

Se trata de aerogeneradores que no cuentan con una caja multiplicadora para aumentar la velocidad de rotación del rotor eólico y en su lugar emplean un sistema de transmisión directa de energía entre el rotor y el generador. Este sistema incorpora un imán permanente que transforma la energía eólica directamente en electricidad. Al tener menos componentes móviles se disminuyen las pérdidas de energía mecánica y se elimina la necesidad de utilizar aceite lubricante en la caja de cambios. Esto conlleva a una disminución de los costos de mantenimiento, así como en una reducción en el tamaño y el peso de la góndola.

2.2.3 Banco baterías

Se trata de un sistema crucial para almacenar y suministrar energía, específicamente en sistemas híbridos. Su estructura incluye placas de Ánodo - Cátodo, junto con un electrolito que tiene la capacidad de recibir, almacenar y transmitir energía (18).

2.2.3.1 Funcionamiento de baterías

Dos conceptos fundamentales describen el funcionamiento de una batería: la capacidad en Ah (amperios - hora) y la profundidad de descarga.

La capacidad Ah representa la cantidad de amperios que una batería puede liberar multiplicándola por el número de horas durante las cuales se suministra esa corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo puede utilizar una carga específica del sistema sin necesidad de recarga. En teoría, una batería de 200 (Ah) podría proporcionar 200 amperios por una hora, 100 amperios por dos horas y así sucesivamente. Sin embargo, este caso no siempre se cumple ya que algunas baterías como las de automóviles, están diseñadas para descargar una gran cantidad de energía en un corto periodo de tiempo. En general, si la batería se descarga lentamente, su capacidad efectiva puede ser ligeramente mayor.

Las baterías comúnmente utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas y en vehículos son las de Plomo - ácido, debido a su ventaja económica en comparación con otras tecnologías de baterías. La profundidad de descarga de las baterías de plomo - ácido varía según el material con el que se mezcla el plomo; por ejemplo, si las placas están compuestas de una mezcla de plomo y antimonio, el antimonio permite una mayor profundidad de descarga sin dañar las placas, lo genera mayor duración de la batería. Por lo tanto, las baterías de plomo - antimonio - ácido tiene una profundidad de descarga mayor.

En contraste, el calcio aumenta la rigidez del plomo y reduce la autodescarga, pero la mezcla de plomo y calcio se daña si la profundidad de descarga supera el 25 %. Como resultado, las baterías de plomo - calcio - ácido son consideradas de ciclo ligero (18).



Figura 19. Baterías de uso fotovoltaico

Fuentes Web: banco de baterías. Disponible en:

https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/cuales-son-los-anyos-de-vida-de-cada-bateria-solar_1.

2.2.3.2 Características eléctricas de la batería

- **Carga:** este proceso convierte la energía eléctrica de una fuente externa en energía química almacenada en la batería.
- **Descarga:** es la conversión de la energía química almacenada en la batería de energía eléctrica utilizada por el dispositivo o equipo.
- **Ciclo:** las baterías con ciclos pasan por un proceso donde descargan desde un cierto nivel de energía almacenada y luego se recarga hasta alcanzar su nivel original de energía.
- **Densidad de energía:** es la cantidad de energía disponible por unidad de volumen (Wh/litro) o peso (W/kg) de la batería. Este valor se proporciona por el fabricante como una característica preliminar.
- **Profundidad de descarga:** son los Ah (amperios - hora) de una batería completamente cargada, expresados como porcentaje de su capacidad nominal a una tasa de descarga específica.
- **Capacidad de energía:** es la cantidad total de energía expresada en Ah (amperios - hora) que una batería puede producir a su máxima velocidad de descarga. Generalmente se expresa esta capacidad en amperios - hora considerando las tensiones nominales de la batería (18).

2.2.4 Inversor

Los inversores son dispositivos eléctricos que convierten la corriente continua en corriente alterna utilizando componentes electrónicos capaces de alternar y cambiar la

polaridad de la corriente. En sistemas de energía aislados donde no hay acceso a una fuente externa de energía, los inversores deben ser autónomos, obteniendo así la energía necesaria de la carga conectada al sistema. Por lo tanto, se recomienda utilizar inversores de onda sinusoidal pura que produzcan una salida similar a la red eléctrica convencional. Es importante que la distorsión armónica total de la tensión generada por el inversor sea inferior al 5 % en comparación con la tensión principal RMS. Además, la frecuencia nominal debe mantenerse dentro de un rango del + 5 % del valor nominal, por lo que la caja del inversor debe cumplir con un índice de protección de IP 54 para garantizar su durabilidad. El consumo propio del inversor, es decir su consumo de energía sin carga conectada no debe exceder el 2 % de la potencia nominal de salida (Figura 20). Además, las pérdidas diarias del inversor no deben superar el 5 % del consumo diario(18).



Figura 20. Curva típica de eficiencia de Inversor

Fuente: *Diseño de un sistema eléctrico híbrido eólico - solar simulado con Homer para atender la demanda eléctrica del caserío Lanchemonchos - Chota – Cajamarca -pg. 58”, elaborado por el tesista Juan Vázquez.*

2.2.5 Controladores

Los reguladores de carga, sean independientes o integrados en dispositivos eléctricos, se emplean para evitar la sobrecarga de las baterías. Su función principal es prevenir la descarga excesiva de las baterías, lo cual podría reducir su vida útil e incluso provocar un incendio o explosión. Además de proteger contra sobrecargas, los reguladores de voltaje también previenen daños a las baterías de ciclo profundo al regular el flujo de

corriente eléctrica desde los paneles solares hacia las baterías durante el periodo de descarga excesiva.

Estos reguladores pueden estar equipados con un voltímetro para monitorear el nivel de voltaje de la batería, lo que resulta crucial para determinar su nivel de carga. Asimismo, pueden incluir un amperímetro para medir la corriente eléctrica. Algunos reguladores de voltaje también pueden estar equipados con fusibles o interruptores diferenciales integrados que facilitan la centralización de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico (18).



Figura 21. Controladores de carga

Fuente web: controladores de carga, disponible en: <https://ecofener.com/blog/que-son-reguladores-carga-solar-instalacion/>

2.2.6 Sistema híbrido

Es una planta de energía factible para combinar diversas fuentes para la generación de electricidad conectándolas a una pequeña red localizada en el lugar específico y distribuir la energía. Además de la generación convencional como combustibles fósiles, se emplean fuentes renovables de energía junto a esta, en algunos casos se recurre a las baterías para almacenar la energía producida por sistemas renovables (aunque esto no siempre ocurre). Se denominan sistemas híbridos a aquellos que integran dos o más fuentes de energía renovable sin depender de combustibles fósiles y su viabilidad depende de los recursos locales y las circunstancias particulares como el sistema solar - eólico - hidroeléctrico, entre otros (19).

2.2.6.1 Configuraciones de los sistemas híbridos

Para asegurar la constancia en el suministro eléctrico, los sistemas híbridos combinan dos o más métodos de generación incorporando tanto fuente de energía renovable como convencional. Aquí se presenta un ejemplo típico de la configuración de un sistema híbrido (19):

- Estado de supervisión y control

- Estado de acondicionamiento de potencia: incluye reguladores de carga, reactivadores e inversores.
- Estado de almacenamiento de energía.



Figura 22. Sistema híbrido

Fuente: Tesis de la universidad Pedro Ruiz Gallo. Elaborado por Saucedo 2018

2.2.7 Análisis aplicando Weibull

El análisis de Weibull es un modelo estadístico que aplica probabilidades descritas en 1951 propuesto Weibull, aunque su descubrimiento se atribuye inicialmente a Frechet en 1927. Fue aplicada por primera vez por Ronsin y Rammler en 1933 para describir los tamaños de ciertas partículas. Esta distribución se caracteriza por su función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria denotada comúnmente como x , la cual se expresa mediante la siguiente fórmula (16):

$$f(x; \kappa; \lambda) = \frac{\kappa}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\kappa-1} e^{-(x/\lambda)^\kappa}$$

Donde:

$\kappa > 0$ es el parámetro de forma

$\lambda > 0$ es el parámetro de escala de la distribución

La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de estos es proporcional a una potencia del tiempo:

$\kappa < 1$ indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo

$\kappa = 1$ la tasa de fallos es constante en el tiempo

$\kappa > 1$ indica que la tasa de fallos crece con el tiempo

Este análisis de Weibull se emplea para modelar la distribución de fallos en sistemas, especialmente cuando la tasa de fallos está relacionada de forma proporcional a una potencia del tiempo.

2.3 Bases teóricas conceptuales

- **Viento:** es el movimiento de una masa de aire en la atmósfera en un movimiento horizontal (18).
- **Anemómetro:** mide la velocidad del viento y envía los datos su velocidad al controlador (18).
- **Aerogenerador:** es un dispositivo electromecánico que aprovecha la energía cinética del viento y la convierte en energía eléctrica (20).
- **Almacenamiento:** es un sistema capaz de almacenar electricidad para su posterior liberación.

Esta tecnología es especialmente adecuada para su uso con fuentes de energía intermitente como la energía eólica y solar. Un ejemplo común de este sistema son las centrales hidroeléctricas de bombeo, aunque en la actualidad las baterías son las más utilizadas (20).

- **Alternador:** es un dispositivo capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, utilizando una turbina o un elemento rotativo (20).
- **Balance energético:** es un registro que detalla el flujo de entrada y salida de energía dentro de una región geográfica o centros específicos, abarcando aspectos como la producción, exportación, importación, transformación, compra, transporte, venta y consumo de dicha energía (20).
- **Central eólica:** es la instalación destinada a transformar la energía cinética generada por el viento en energía eléctrica. El término *onshore* se refiere a las plantas ubicadas en tierra firme, mientras que *offshore* hace referencia a los parques eólicos instalados en superficies de agua como océanos y mares (20).
- **Central Pv (fotovoltaica):** es una instalación compuesta por varios módulos que convierten la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.
Se divide en dos categorías:
 - a) Aisladas (stand alone) que operan independientemente de una red y utilizan la energía generada en el lugar.
 - b) Conectadas en red (*grid - connected*) vinculadas a una red de distribución eléctrica (20).

- **Centrales híbridas:** son estaciones de energía que producen electricidad mediante la combinación de dos o más fuentes distintas que pueden incluir tanto fuentes renovables como no renovables (20).
- **Distribución:** es la fase culminante de entrega de energía eléctrica al consumidor final después de su producción y transmisión (20).
- **Enair:** es una empresa con iniciativa empresarial que, mediante su aplicación de cálculo energético se especializa en la fabricación de aerogeneradores con baja potencia.
- **Fuente de energía renovable:** son recursos energéticos que tienen la capacidad de regenerarse de forma constante como la energía solar, recursos híbridos, viento, biomasa, mar y fuentes geotérmicas (20).
- **Intensidad energética:** es un indicador que permite medir la eficiencia energética dentro de una economía específica en una determinada área o región geográfica, relacionando el PIB con el consumo bruto de energía. En resumen, indica la cantidad de energía consumida para generar una unidad de PIB (20).
- **PVGIS:** es una herramienta de software gratuita desarrollada por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, diseñada para simplificar el análisis del recurso solar y el potencial fotovoltaico.
- **Transición energética:** se trata del cambio gradual del empleo de fuentes de energía no renovable hacia fuentes renovables, lo que constituye actualmente una transición hacia una economía más sostenible con mayor énfasis en el ahorro energético y desarrollo sostenible (20).
- **Turbina eólica:** es un dispositivo electromecánico capaz de convertir la energía cinética del viento, es decir energía eólica en energía eléctrica (20).
- **Convertidor continuo:** es un elemento de la instalación encargado de igualar la tensión suministrada por el generador fotovoltaico y la tensión necesaria para el funcionamiento del equipo (18).
- **Watt (W):** es la unidad de medida de potencia incluida en el sistema internacional. Entre las múltiples unidades del vatio se encuentran en kilovatio, megavatio, gigavatio y teravatio (20).
- **Efecto fotovoltaico:** es la conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.
- **Eficiencia:** para las células solares es el porcentaje de energía solar que se convierte en electricidad por célula dependiendo de la tecnología y técnica de fabricación, varía entre 5 % y 30 % (18).
- **Inclinación:** es el ángulo en el que el panel solar forma una superficie completamente horizontal (18).

- **Inversores:** se utilizan para convertir la energía alterna en energía continua, para su posterior transmisión de energía a la población o para su almacenamiento en un banco de baterías (18).
- **Power/DAVe:** es una aplicación de mapeo web que proporciona herramientas de visualización fáciles de usar, subconjuntos de datos, gráficos e informes climáticos integrados, también proporciona parámetros climáticos que facilitan la exploración de recursos energéticos renovables, tecnologías de infraestructura sostenible y planificación agrícola, además cuenta con el apoyo del Programa de Ciencias Aplicadas de la NASA.
- **Rosa de los vientos:** es un esquema que ilustra la ubicación y el lapso temporal durante el cual el viento sopla desde distintas direcciones, detallando la duración de cada dirección. Existen muchas variantes de las rosas de los vientos, pero en el patrón típico presenta un número de cuñas (generalmente ocho, doce o dieciséis) que parten del centro de un círculo. El ancho y la orientación de cada cuña representan la dirección desde la cual sopla el viento, mientras que la longitud de una cuña representa el porcentaje del tiempo que el viento sopla desde esa dirección. Las rosas de viento más complejas usan esquemas de colores y otros dispositivos gráficos para representar la velocidad del viento e información relacionada.
- **Solarímetro:** es un dispositivo flexible para la radiación solar y ofrece una precisión elevada y una respuesta rápida. Además, permite la retención de datos y cuenta con una configuración rápida y fácil para la selección de unidades W/m^2 , así como una lectura directa.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El enfoque de esta investigación adaptada es descriptivo – comparativo y su función es detallar el propósito de la investigación mediante técnicas como la observación. Por lo tanto, los datos recopilados en este estudio no pueden ser modificados ni manipulados (30).

3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo y su propósito es analizar los resultados de la radiación solar y la velocidad del viento mediante la observación para implementar un parque híbrido (30).

3.1.3 Método de la investigación

Se emplea un enfoque cuantitativo debido a su naturaleza secuencial y demostrable, donde cada fase esta obligatoriamente precedida por pasos específicos. El proceso sigue un orden es estricto, aunque es posible redefinir algunos de estos pasos según sea necesario (31).

3.1.4 Método de análisis de datos (Weibull)

Los datos recopilados mediante mediciones manuales se someten a un análisis utilizando la probabilidad de Weibull, una técnica que facilita la estimación y permite estimar la probabilidad en función a los resultados de la medición. Esta metodología permite representar la tasa de falla, ya sea constante, creciente o decreciente durante un periodo de tiempo estimado (31).

3.2 Diseño de la investigación

Según Roberto Hernández Sampieri (30), el trabajo de investigación adopta un enfoque no experimental, combinando elementos tanto longitudinal como transversal. El enfoque transversal recopila datos en un solo momento con el propósito de describir variables y analizar su distribución y relación en el momento específico, por otro lado, el enfoque longitudinal, recolecta datos repetidamente a lo largo de un periodo extenso, permitiendo estudiar la evolución de las variables a lo largo del tiempo. Este enfoque es fundamental para comprender la dinámica y cambios que ocurren durante ese periodo temporal y puede implicar la recolección de muestras en diferentes momentos para obtener descripciones detalladas y conclusiones significativas.

3.3 Población y muestra

- Universo: el universo para este estudio se considera a la región Junín.
- Muestra: el estudio se centrará en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, provincia de Yauli.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Cuando evaluamos la radiación solar y la velocidad del viento es crucial recopilar datos de un periodo que abarque más de dos décadas. Esto nos permite controlar y analizar el comportamiento de dichos recursos naturales renovables hasta la fecha actual. Para este propósito se emplean programas especializados que disponen de bases de datos históricos como el PVGIS, ENAIR. Estas herramientas son fundamentales para determinar la viabilidad y facilitar la implementación de sistema híbrido de energía.

3.4.1 Técnicas e instrumentos

Las técnicas para este tipo de evaluación son de análisis documental. Las aplicaciones que proporcionan datos acumulados por estaciones meteorológicas suministran las zonas y parámetros requeridos para los cálculos destinados al diseño del sistema híbrido. Así mismo, se llevará a cabo la técnica de observación en campo, utilizando instrumentos como guía para la toma de muestra tanto de radiación solar como la velocidad del viento. Para el análisis de datos se utilizará como punto de partida, la proyección de las aplicaciones para el mes de noviembre de 2022 por interrelación entre variables con el análisis de Weibull, que es un modo sencillo de comprobar gráficamente si existe una correlación alta que se interpreta junto al diagrama de dispersión (31).

3.4.2 Funciones de las aplicaciones

3.4.2.1 Aplicación PVGIS:

En la actualidad, para calcular la disponibilidad de energía solar se recurre a la base de datos de irradiación solar mediante el GIS (sistemas de información geográfica). Dado que el cálculo de instalaciones solares implica una serie de variables complejas, se requiere de un software especializado para gestionar factores como irradiación, temperatura, inclinación, sombras, suciedad, tipo de módulo, correcciones de albedo. Esta aplicación proporciona un monitoreo con una resolución de 1 km^2 por mes, lo que equivale a una radiación global diaria expresada en Wh/m^2d por día. Además, la aplicación incorpora una estimación de pérdida de eficiencia del 14 %.

Esta herramienta es de fácil manejo ya que en una sección de la pantalla se pueden ubicar las coordenadas de la latitud y longitud del lugar a evaluar tal y como es el

caso de la zona de Santa Bárbara de Carhuacayán. En otra sección de la interfaz se muestran datos mensuales y anuales a través de gráficos y tablas para facilitar su comprensión (32).

The screenshot displays the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) web application. At the top, there is a header with the European Commission logo and the text 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below the header is a navigation menu with links for 'Home', 'Tools', 'Downloads', 'Documentation', and 'Contact us'. The main content area is divided into several sections:

- Map:** A map showing the location of Santa Bárbara de Carhuacayán. The map includes a scale bar (2 km) and a coordinate input field at the bottom: 'Address: Eq. Ispra, Italy Go! Lat/Lon: -11.21380 -76.28761 Go!'. A cursor is positioned at coordinates -11.214, -76.288 with an elevation of 4446 meters.
- Cursor and Terrain Settings:** A section for 'Use terrain shadows' with a checked 'Calculated horizon' option and buttons for 'csv' and 'json' exports. There is also an 'Upload horizon file' option and a 'Switch to version 5.1' button.
- PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV:** A configuration panel with various settings:
 - Solar radiation database:** Set to 'PVGIS-NSRDB'.
 - PV technology:** Set to 'Crystalline silicon'.
 - Installed peak PV power [kWp]:** Input field.
 - System loss [%]:** Input field.
 - Fixed mounting options:** Set to 'Free-standing'.
 - Slope [°]:** Set to 35.
 - Azimuth [°]:** Set to 0.
 - Optimize slope and azimuth:** Checked.
 - PV electricity price:** Checked.
 - PV system cost (your currency):** Input field.
 - Interest [%/year]:** Input field.
 - Lifetime [years]:** Input field.
- Buttons:** 'Visualize results', 'csv', and 'json' buttons are located at the bottom of the configuration panel.

Figura 23. Aplicación PVGIS.

Fuente: "Photovoltaic geographical information system", elaborado por PVGIS

3.4.2.2 Aplicación ENAIR

ENAIR es una empresa especializada en aerogeneradores de pequeña escala, es decir, con capacidades que van desde 3 a 40 kW, dirigidos principalmente a usuarios profesionales con el objetivo de garantizar la calidad de sus productos. ENAIR se adhiere a la norma internacional IEC 61400-2 que establece los estándares de producción para mini aerogeneradores a nivel mundial. Esta aplicación desarrollada por la empresa incluye modelos de aerogeneradores, información sobre el terreno, altura sobre el suelo, potencia nominal y máxima, lo que facilita la evaluación del sistema energético en el lugar del proyecto. Así mismo, esta aplicación presenta varias ventajas para la implementación del proyecto como: proporcionar datos sobre la velocidad promedio del viento y la energía generada por los aerogeneradores a alturas específicas. Sin embargo, una limitación de esta aplicación es que puede tener un margen de error entre el 1 % y el 15 % en los datos de velocidad promedio

del viento. La aplicación se basa en datos proporcionados por la NASA y PVGIS para su funcionamiento.

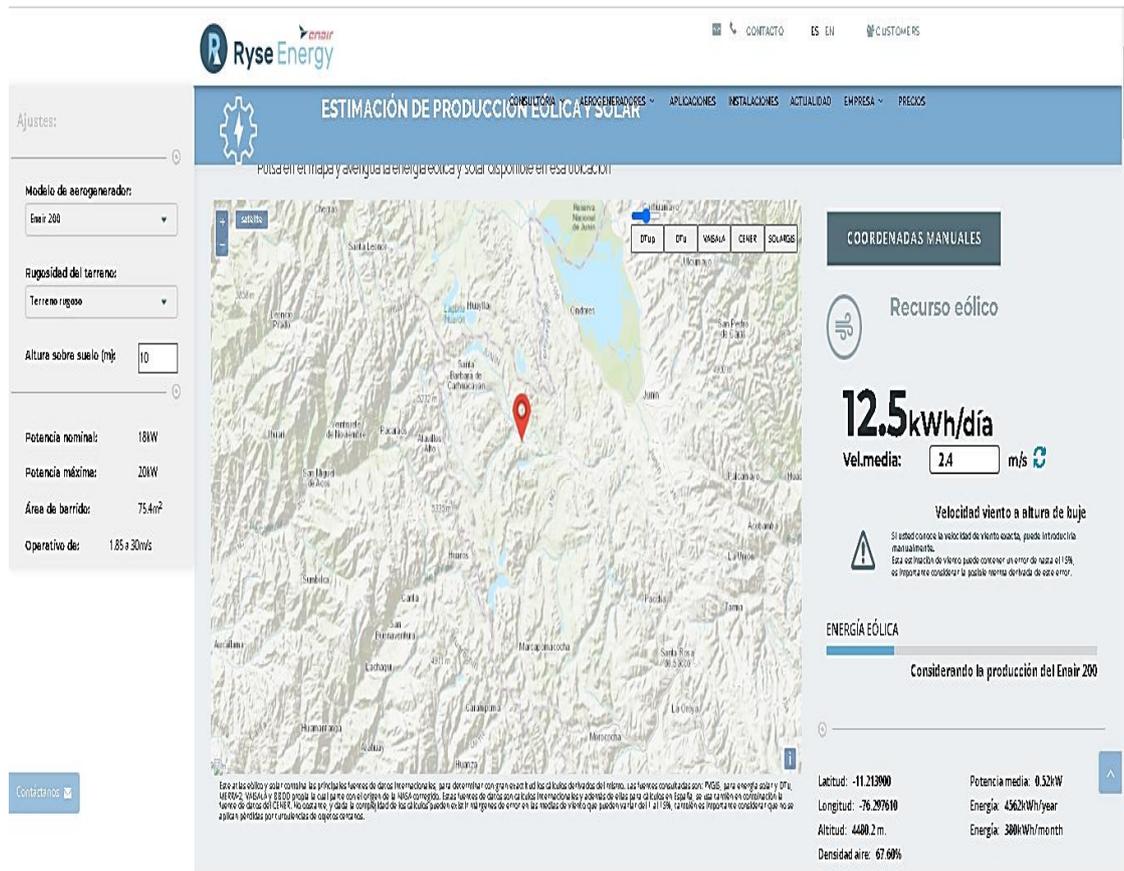


Figura 24. Aplicación ENAIR.
Fuente: “ENAIR”, elaborado por: Empresa Enair

3.4.2.3 Aplicación PAWER/ DAVE

PAWER DAVE, con sede en el Centro de Investigación Langley de la NASA en Hampton - Virginia, cuenta con el respaldo del programa de ciencias aplicadas de la NASA. Durante 25 años, PAWER ha estado comprometido en mejorar la capacidad tanto pública como privada del país para integrar datos ambientales provenientes de las investigaciones y observaciones de la Tierra por la NASA con el objetivo de impulsar una mayor implementación de energías renovables y promover la eficiencia y la sostenibilidad energética.

Power es una aplicación de mapeo web receptiva que proporciona herramientas de visualización y subconjuntos de datos, gráficos e informes climáticos integrados con una interfaz fácil de usar. Además, ofrece la capacidad de descargar conjunto de

datos. Esta herramienta permite llevar a cabo análisis de series temporales de datos a escala climática para su respectiva evaluación.

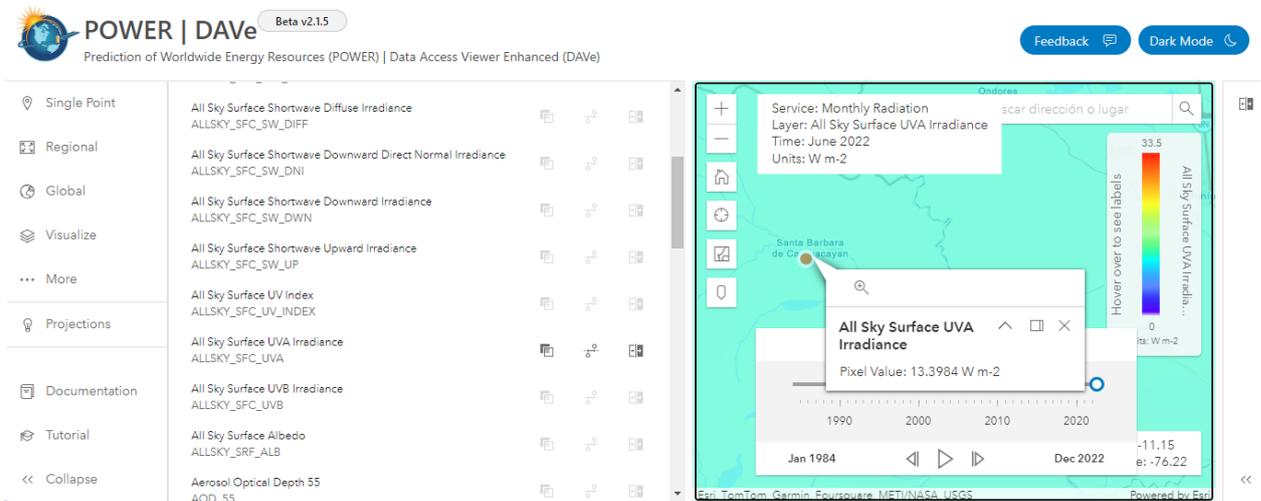


Figura 25. Aplicación PAWER/DAVE.

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/beta/data-access-viewer/>, elaborado por: PAWE/DAVE

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Planteamiento de mediciones

Por las constantes fluctuaciones del recurso natural, haya disminuido o aumentado a lo largo de los años, todos los datos recopilados por la NASA y el monitoreo continuo proporcionado por programas espaciales de paneles solares e instalación de energía eólica, dan como resultado datos reales de la NASA, el sistema híbrido está clasificado y diseñado de la siguiente manera:

- 1: Evaluación de los resultados solares y eólicos hace 20 años.
- 2: Evaluación de recursos naturales (solar y eólico) en programas ENAIR - PVGIS.
- 3: Estimar el recurso natural "Solar - viento" con los instrumentos anemómetro - solarímetro portátiles.
4. Diseñar un sistema híbrido eólico - solar para la generación eléctrica.

4.2 Método de evaluación de potencial eólico y solar

4.2.1 Recopilación de datos en una trayectoria de 20 años

Desde hace más de 20 años se vienen recopilando datos por la aplicación POWER/DAVE. Para darle énfasis y viabilidad a este proyecto, esta aplicación obtiene datos de la NASA el cual proporciona datos precisos y confiables los cuales se hallan en: <https://power.larc.nasa.gov/beta/data-access-viewer/>.

4.2.1.1 Velocidad de viento

Los cambios naturales son muy notorios bajo la influencia de diversos factores climáticos, por ello es importante estimar la velocidad promedio anual de 20 años atrás donde es posible observar su comportamiento durante este periodo.

Teniendo en cuenta lo mencionado se estimó la velocidad promedio y dirección del viento en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán con las siguientes coordenadas (tabla 10):

Tabla 10. *Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán*

Coordenadas	
Latitud	- 11.1868
Longitud	-76.2662

Fuente: *Portal web de la Municipalidad Santa Bárbara de Carhuacayán*

En primer lugar, observaremos la dirección del viento y luego la velocidad promedio (m/s) por 20 años, entre los años 2000 a 2020 mostrando las variaciones de un año a otro. Los resultados de la dirección del viento se muestran en la Tabla 11 y los de la velocidad de viento a una altura de 10 metros en la Tabla 12.

Tabla 11. *Dirección del viento. (norte, este) Coordenadas UTM*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
2000	36.75	39.56	44.69	66.19	54.94	44.88	45.12	44.81	55.06	47.50	53.00	42.81	48.88
2001	25.75	40.19	42.06	65.44	42.31	55.56	48.94	52.06	47.81	52.38	56.25	53.56	49.12
2002	47.19	28.06	46.25	62.94	47.94	55.69	38.56	45.94	44.56	48.56	48.00	41.19	47.19
2003	42.88	38.62	48.81	47.62	47.19	56.31	43.25	46.00	42.31	49.56	50.38	38.62	46.06
2004	33.69	41.94	66.44	51.00	48.50	46.06	38.69	44.38	53.50	49.81	43.75	51.06	48.50
2005	29.06	47.06	39.19	54.25	49.38	50.94	56.00	56.06	33.50	41.56	50.50	47.25	47.31
2006	37.00	48.50	44.38	57.94	56.00	49.31	54.12	46.88	46.31	44.25	51.62	40.88	48.62
2007	35.75	36.69	43.12	59.69	53.38	61.19	37.81	51.00	49.12	57.75	52.19	51.25	50.00
2008	37.25	52.12	68.75	59.00	60.75	54.88	57.12	60.56	54.81	57.31	67.62	36.12	56.62
2009	52.69	36.62	52.75	62.75	52.19	51.44	39.88	46.44	51.69	53.00	42.56	21.19	49.12
2010	26.12	33.62	55.94	50.69	34.38	51.38	50.94	58.69	54.94	44.94	41.12	26.06	46.31
2011	30.44	349.31	26.44	56.75	53.44	43.69	43.00	49.88	49.50	48.75	57.44	45.75	45.75
2012	33.94	19.38	49.38	43.94	54.25	44.06	47.94	50.69	54.81	51.75	42.44	13.81	46.12
2013	38.94	43.88	36.12	47.50	39.94	41.19	52.31	47.44	49.06	37.56	51.81	30.38	43.56
2014	32.19	27.12	38.88	50.44	38.06	50.00	40.81	44.75	38.31	58.00	68.19	40.50	44.88
2015	38.19	45.81	56.44	51.56	41.06	57.25	54.12	46.56	39.00	46.69	44.31	40.12	47.25
2016	41.56	35.38	51.88	47.75	41.69	50.50	51.69	43.69	54.75	37.06	41.62	40.19	45.88
2017	50.62	37.25	36.50	45.25	33.62	41.69	57.62	44.75	45.62	42.88	38.50	21.38	42.88
2018	38.94	30.81	26.75	58.44	53.38	34.75	46.69	43.31	53.25	43.88	39.31	46.44	44.00
2019	40.12	32.44	41.50	37.94	38.75	53.81	46.25	59.75	45.69	51.56	43.62	28.31	44.88
2020	33.62	22.19	48.06	57.44	49.25	53.94	52.88	42.06	45.31	52.62	54.94	29.31	46.25

Fuente: POWER/ DAVE extraído el 2022, elaborado por: Zevallos y Gómez

Tabla 12. *Velocidad media (m/s).*

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Anual
2000	2.29	2.38	2.38	3.04	2.79	2.17	2.55	3.56	3.23	3.31	2.77	2.64	2.76
2001	2.42	2.94	2.7	3.2	2.36	3.27	2.74	3.53	3.31	3.38	2.7	2.23	2.89
2002	2.83	2.22	2.35	2.9	2.88	3.52	2.81	3.45	3.18	3.21	2.88	2.48	2.9
2003	2.97	2.74	2.79	2.71	2.97	2.77	3.16	2.84	2.62	2.92	2.77	2.86	2.84
2004	2.21	2.8	3.34	2.37	2.11	2.83	2.7	3.63	3.55	2.95	2.35	2.69	2.8
2005	2.36	2.82	2.25	2.8	2.23	2.4	3.02	3.09	2.83	2.64	2.61	2.66	2.64
2006	2.66	2.49	2.69	2.53	2.38	2.66	3.35	3.04	2.88	2.36	2.52	2.41	2.66
2007	2.62	2.55	2.6	2.88	2.28	3.34	2.48	3.57	3.66	2.93	2.54	2.66	2.84
2008	2.76	2.85	2.96	2.35	2.09	2.43	2.81	3.2	2.88	2.92	3.33	2.4	2.75
2009	2.88	2.48	2.87	3.07	2.16	2.36	2.6	2.8	3.42	3.14	2.77	2.08	2.72
2010	2.38	2.55	2.76	2.96	2.41	3.26	2.49	3.43	3.55	2.77	2.48	2.48	2.79
2011	2.41	1.95	2.4	2.82	2.98	2.54	2.92	3.26	3.05	2.46	2.99	2.59	2.7
2012	2.16	2.41	3.15	2.3	2.43	2.62	3.12	3.65	3.95	2.66	2.3	2.16	2.74
2013	2.79	2.5	2.34	2.03	2.41	2.51	3.22	2.77	3.26	2.34	2.17	2.34	2.55
2014	2.36	2.41	2.32	2.8	1.89	2.76	2.5	3.05	2.97	3.45	2.37	2.43	2.61
2015	2.7	2.88	2.8	2.8	1.88	3.09	2.62	2.86	2.73	2.91	2.8	2.62	2.72
2016	2.16	2.64	2.75	2.58	2.1	2.64	2.99	2.59	3.12	2.32	2.02	2.38	2.52
2017	2.79	2.24	2.52	2.3	2.24	2.31	3.09	2.37	3.04	2.71	2.32	2.07	2.5
2018	2.52	2.28	2.52	2.94	2.3	2.66	3.07	2.72	2.71	2.67	1.99	2.84	2.6
2019	3.01	2.23	2.76	2.51	2.4	3.19	2.78	3.62	3.96	3.1	2.62	2.4	2.88
2020	2.76	2.38	2.5	2.48	2.26	2.49	2.47	2.8	3.25	3.53	3.03	2.63	2.72
PROM	2.57	2.51	2.65	2.68	2.36	2.75	2.83	3.13	3.20	2.89	2.59	2.48	2.72
MAX	3.01	2.94	3.34	3.20	2.98	3.52	3.35	3.65	3.96	3.53	3.33	2.86	
MIN	2.16	1.95	2.25	2.03	1.88	2.17	2.47	2.37	2.62	2.32	1.99	2.07	

Fuente: POWER/ DAVE extraído el 2022, elaborado por; Zevallos y Gómez

La figura 26 muestra el comportamiento de la velocidad del viento durante los últimos 20 años, lo que significa que la velocidad más baja fue de 2.50 en el 2017 y la velocidad más alta fue de 2.90 en el 2002.

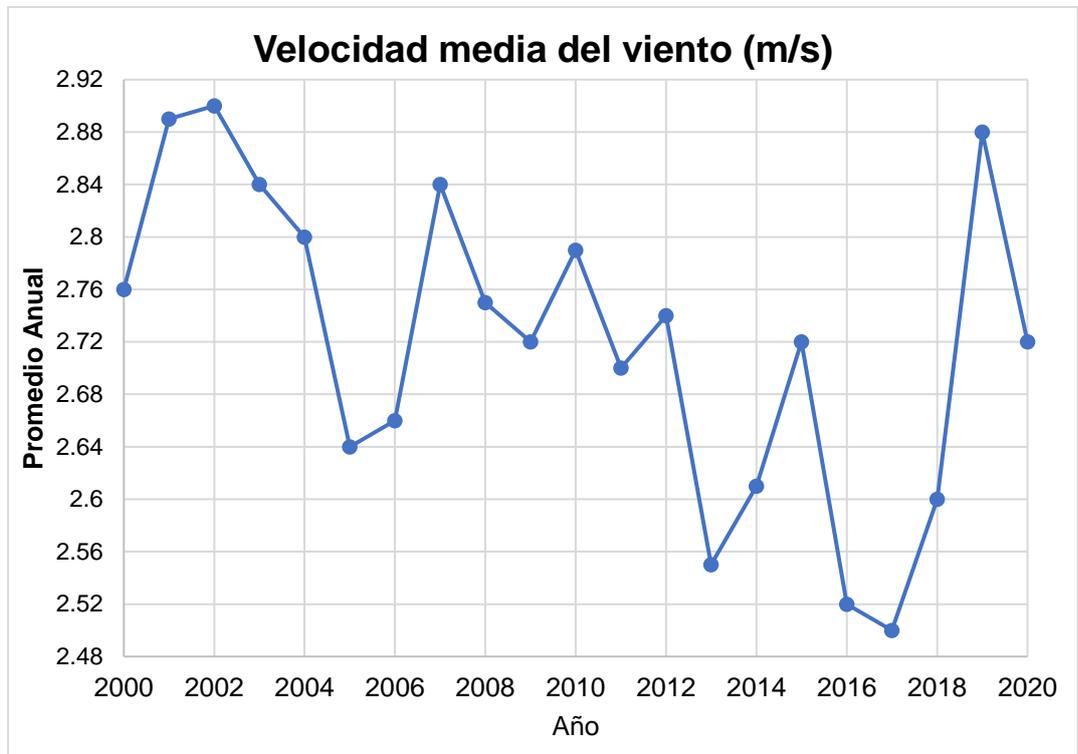


Figura 26. Gráfico de la velocidad del viento m/s por la aplicación POWER/DAVE
Fuente: elaboración propia

4.2.1.2 Radiación solar

El cambio climático surge de diversas emisiones de dióxido de carbono y otros gases liberados por procesos naturales y actividades humanas, los cuales han impactado este recurso natural (33). Para analizar la intensidad de radiación en la zona de Santa Bárbara de Carhuacayán, en las coordenadas previamente mencionadas, se empleó la aplicación POWER/DAVE durante el periodo de tiempo que abarca desde el 2000 al 2020.

De esta forma se evalúan los siguientes parámetros:

- Irradiancia en cielo despejado kW-hr/m²/día (tabla13).
- Irradiancia difusa en la superficie de todo el cielo kW-hr/m²/día(tabla14).
- Irradiancia Difusa kW-hr/m²/día (tabla13).

Lo que resalta que esta información es importante a la hora de instalar paneles solares.

Tabla 13. Irradiancia en cielo despejado (kW-hr/m²/día).

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Anual
2000	4.66	4.86	4.69	4.76	4.97	5.03	5.32	5.42	5.96	6.22	7.11	5.62	5.38
2001	3.85	4.25	3.98	5.04	5.29	5.13	5.5	6.3	5.51	5.78	5.12	6.11	5.16
2002	5.78	4.28	4.39	4.64	5.22	5.27	5.37	5.99	5.99	5.42	5.12	5.5	5.25
2003	4.56	4.6	4.51	5.13	5.23	5.52	5.67	6.07	6.28	6.59	6.75	4.29	5.43
2004	5.73	4.24	4.74	5.44	5.93	5.2	5.35	5.76	4.92	5.75	5.96	4.51	5.3
2005	5.03	4.85	4.2	5.25	5.81	5.82	5.95	6.05	6.39	6.18	6.67	4.52	5.56
2006	4.84	4.4	4.15	4.84	6.17	5.25	5.84	5.6	6.13	6.03	5.32	4.66	5.27
2007	4.62	5	3.96	4.64	5.37	5.62	5.75	5.86	5.44	5.81	6.38	5.69	5.35
2008	4.08	4.19	4.56	5.07	5.85	5.46	5.77	5.76	6.38	5.64	5.44	5.67	5.33
2009	4.4	3.89	4.09	4.92	5.45	5.62	5.56	6.2	6.25	5.87	5.15	4.57	5.17
2010	4.67	4.66	4.63	5.26	5.64	5.22	6.07	6.04	5.97	6.22	5.81	4.39	5.39
2011	4.09	4.22	4.47	4.48	5.64	5.43	5.49	6.15	5.99	6.39	5.96	4.45	5.24
2012	5.05	4.27	4.47	4.6	5.56	5.44	5.74	6.19	5.86	5.79	5.28	4.67	5.25
2013	5.28	4.27	4.21	5.92	5.26	5.25	5.38	6.05	6.46	5.68	6.21	5.11	5.43
2014	4.5	4.26	4.48	5.11	5.45	5.53	5.36	6	5.81	5.9	5.8	5.01	5.27
2015	5.26	4.35	4.3	4.79	5.13	5.37	5.87	6.2	6.32	6.19	6.03	5.46	5.45
2016	5.87	4.55	4.8	5.45	5.85	5.45	5.95	6.16	6.21	6.48	7.78	5.35	5.83
2017	3.99	3.96	3.95	4.94	4.78	5.44	5.98	6.34	5.83	6.16	6.36	5.33	5.26
2018	5.04	4.66	4.36	4.83	5.57	5.24	5.37	5.91	6.55	5.39	6.14	5.98	5.42
2019	4.62	4.18	4.61	5.1	5.54	5.65	5.69	6.39	5.92	6.36	5.72	4.66	5.38
2020	5.32	4.41	4.72	5.62	5.27	5.68	5.93	6.45	5.83	6.11	6.83	4.26	5.54
PROM. Mensual	4.82	4.40	4.39	5.04	5.48	5.41	5.66	6.04	6.00	6.00	6.04	5.04	5.36
Val. Max	5.87	5	4.8	5.92	6.17	5.82	6.07	6.45	6.55	6.59	7.78	6.11	
Val. Min	3.85	3.89	3.95	4.48	4.78	5.03	5.32	5.42	4.92	5.39	5.12	4.26	

Fuente: POWER/ DAVE extraído el 2022.

El comportamiento de la irradiancia en cielo despejado durante 20 años se muestra en la figura 27, de los datos obtenidos se interpreta que la irradiancia más baja en el 2001 fue 5.16 (kW-hr/m²/día) y la irradiancia más alta fue 5.83(kW-hr/m²/día) en 2016.

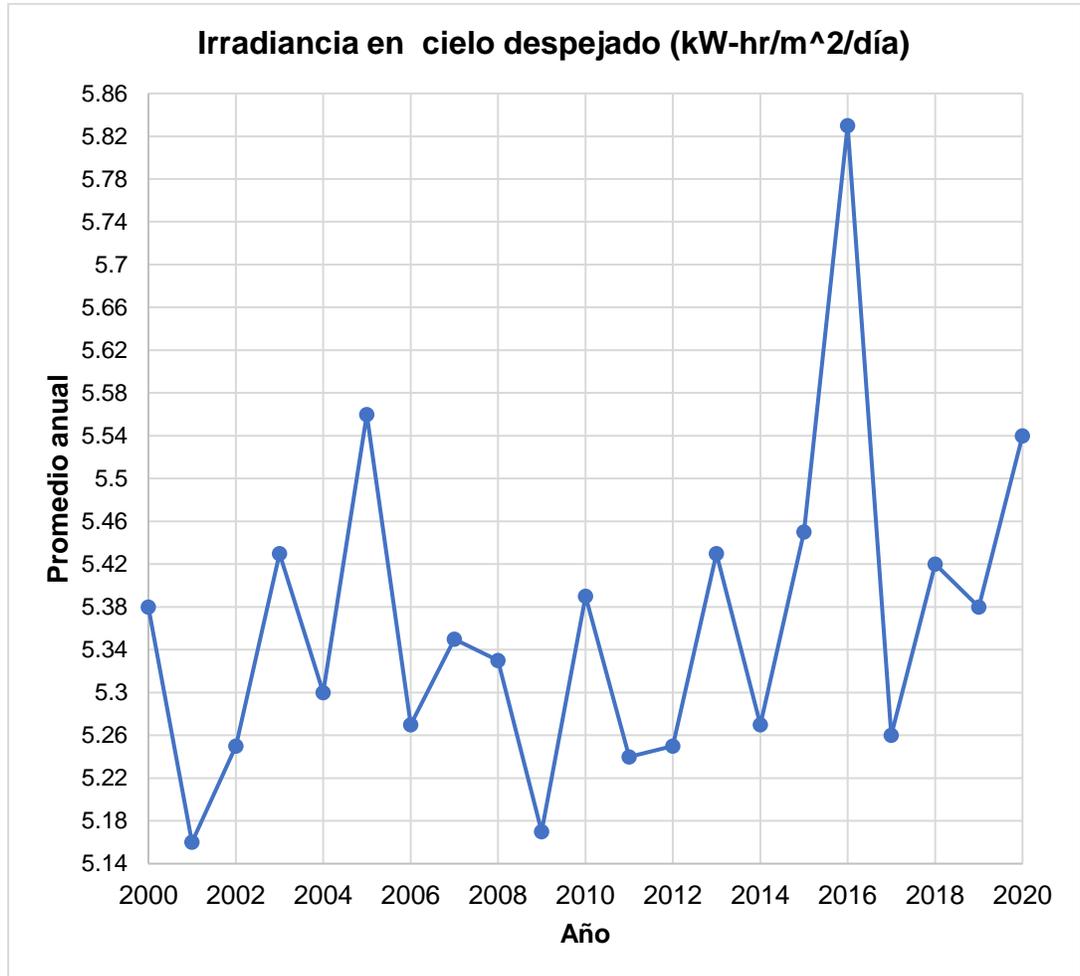


Figura 27. Gráfico de la irradiancia en cielo despejado

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Irradiancia difusa en la superficie de todo el cielo (kW-hr/m²/día).

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prom. Anual
2000	8.59	8.63	8.12	7.17	6.13	5.73	5.89	6.02	6.66	7.31	8.37	8.26	7.24
2001	8.43	8.35	7.88	7.3	6.59	6.19	6.4	7.09	7.66	8.25	8.45	8.71	7.61
2002	8.64	8.43	7.99	7.24	6.58	6.19	6.4	7.04	7.76	8.21	8.42	8.58	7.62
2003	8.45	8.26	7.96	7.26	6.55	6.18	6.39	7.01	7.73	8.33	8.65	8.35	7.59
2004	8.58	8.28	7.85	7.25	6.65	6.2	6.33	6.99	7.25	8.29	8.54	8.29	7.54
2005	8.55	8.34	7.91	7.25	6.61	6.23	6.42	6.73	7.64	8.24	8.57	8.35	7.56
2006	8.48	8.23	7.85	7.17	6.73	6.17	6.45	6.94	7.67	8.26	8.43	8.37	7.56
2007	8.49	8.36	7.88	7.18	6.56	6.22	6.41	6.91	7.31	7.99	8.57	8.54	7.53
2008	8.4	8.37	7.97	7.3	6.65	6.21	6.43	7	7.72	8.24	8.51	8.62	7.62
2009	8.45	8.31	7.86	7.23	6.59	6.26	6.39	7.15	7.8	8.32	8.5	8.49	7.61
2010	8.56	8.36	7.98	7.34	6.61	6.19	6.44	6.76	7.51	8.31	8.56	8.37	7.58
2011	8.49	8.38	8.02	7.2	6.64	6.23	6.4	7.08	7.79	8.4	8.61	8.43	7.63
2012	8.66	8.39	7.94	7.21	6.61	6.22	6.43	7.01	7.65	8.32	8.55	8.46	7.62
2013	8.59	8.44	7.85	7.39	6.53	6.16	6.41	7.07	7.88	8.31	8.67	8.52	7.65
2014	8.49	8.33	7.96	7.24	6.64	6.24	6.41	7.08	7.77	8.39	8.61	8.51	7.63
2015	8.6	8.38	7.95	7.23	6.57	6.19	6.42	7.06	7.82	8.4	8.6	8.62	7.65
2016	8.72	8.25	7.93	7.31	6.65	6.22	6.44	7.03	7.81	8.42	8.84	8.57	7.68
2017	8.43	8.36	7.92	7.26	6.53	6.19	6.47	7.09	7.65	8.4	8.59	8.57	7.62
2018	8.49	8.36	7.89	7.28	6.65	6.18	6.39	7.08	7.86	8.26	8.64	8.67	7.64
2019	8.46	8.33	7.95	7.34	6.67	6.27	6.45	7.05	7.66	8.46	8.56	8.45	7.64
2020	8.53	8.25	7.92	7.41	6.64	6.25	6.45	7.09	7.71	8.38	8.63	8.3	7.63
Prom. Mens	8.53	8.35	7.93	7.26	6.59	6.19	6.39	6.97	7.63	8.26	8.57	8.48	7.52
Val. Máx	8.72	8.63	8.12	7.41	6.73	6.27	6.47	7.15	7.88	8.46	8.84	8.71	
Val. Min	8.4	8.23	7.85	7.17	6.13	5.73	5.89	6.02	6.66	7.31	8.37	8.26	

Fuente: POWER/ DAVE extraído el 2022

La figura 28, muestra el comportamiento y variaciones de la irradiancia difusa en la superficie de todo el cielo en un periodo de 20 años con un mínimo de 7.24 (kW-hr/m²/día) en el 2000 y un máximo con 7.68 (kW-hr/m²/día) en el 2016.

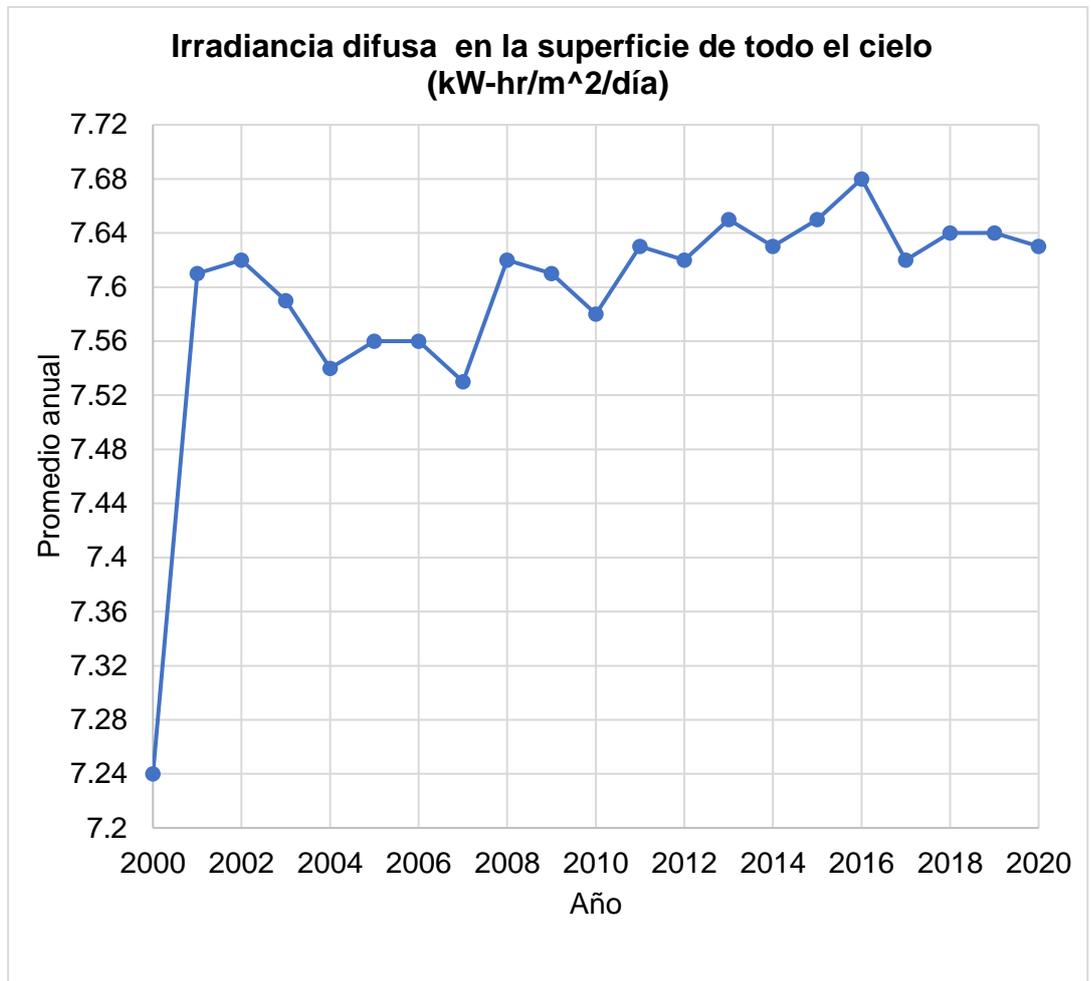


Figura 28. Gráfica de la irradiancia difusa en la superficie de todo el cielo durante 20 años,
Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Irradiancia difusiva (kW-hr/m²/día)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	2.55	2.77	2.54	2.37	1.96	1.65	1.53	1.53	2.51	2.51	2.72	2.64	2.27
2002	2.84	2.69	2.67	2.49	1.92	1.55	1.66	1.83	2.18	2.63	2.87	2.76	2.34
2003	2.73	2.66	2.63	2.23	1.98	1.4	1.43	1.6	1.99	2.16	2.38	2.62	2.15
2004	2.66	2.59	2.69	2.15	1.55	1.58	1.66	1.73	2.38	2.66	2.55	2.63	2.23
2005	2.55	2.74	2.51	2.37	1.62	1.16	1.22	1.69	2.02	2.53	2.77	2.76	2.16
2006	2.69	2.61	2.57	2.25	1.31	1.66	1.3	1.82	2.05	2.46	2.71	2.73	2.18
2007	2.62	2.72	2.45	2.45	1.77	1.32	1.36	1.81	2.34	2.72	2.56	2.8	2.24
2008	2.69	2.55	2.63	2.35	1.57	1.33	1.27	1.8	2	2.71	2.76	2.63	2.19
2009	2.66	2.57	2.65	2.34	1.77	1.3	1.52	1.56	1.98	2.44	2.71	2.59	2.17
2010	2.6	2.69	2.56	2.17	1.63	1.44	1.1	1.64	2.28	2.62	2.84	2.85	2.2
2011	2.65	2.65	2.7	2.42	1.6	1.55	1.55	1.61	2.18	2.66	2.67	2.67	2.24
2012	2.5	2.63	2.6	2.36	1.77	1.41	1.29	1.55	2.13	2.63	2.64	2.8	2.19
2013	2.46	2.6	2.7	2.01	1.93	1.53	1.5	1.74	2.01	2.62	2.45	2.73	2.19
2014	2.68	2.55	2.46	2.34	1.65	1.3	1.55	1.6	2.21	2.42	2.42	2.76	2.16
2015	2.58	2.66	2.53	2.48	1.99	1.32	1.11	1.46	1.97	2.28	2.77	2.47	2.13
2016	2.41	2.67	2.53	2.13	1.5	1.36	1.13	1.55	2.09	2.33	1.95	2.67	2.02
2017	2.65	2.5	2.54	2.34	2.04	1.38	1.16	1.45	2.21	2.41	2.87	2.76	2.19
2018	2.76	2.54	2.59	2.33	1.68	1.5	1.58	1.81	2.04	2.65	2.86	2.88	2.27
2019	2.61	2.57	2.57	2.36	1.9	1.23	1.35	1.5	2.28	2.49	2.84	2.59	2.19
2020	2.73	2.54	2.57	2.21	1.79	1.34	1.38	1.61	2.31	2.52	2.73	2.71	2.2
Prom.Men	2.51	2.50	2.46	2.20	1.66	1.35	1.32	1.57	2.06	2.40	2.53	2.57	2.09
Val. Máx	2.84	2.77	2.7	2.49	2.04	1.66	1.66	1.83	2.51	2.72	2.87	2.88	
Val. Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: POWER/ DAVE, extraído el 2022.

La figura 29 muestra las variaciones de la irradiancia difusa a lo largo de 20 años, donde la irradiancia más baja es 2.02 (kW-hr/m²/día) en el 2016 y la más alta de 2.34 (kW-hr/m²/día) en el 2002.

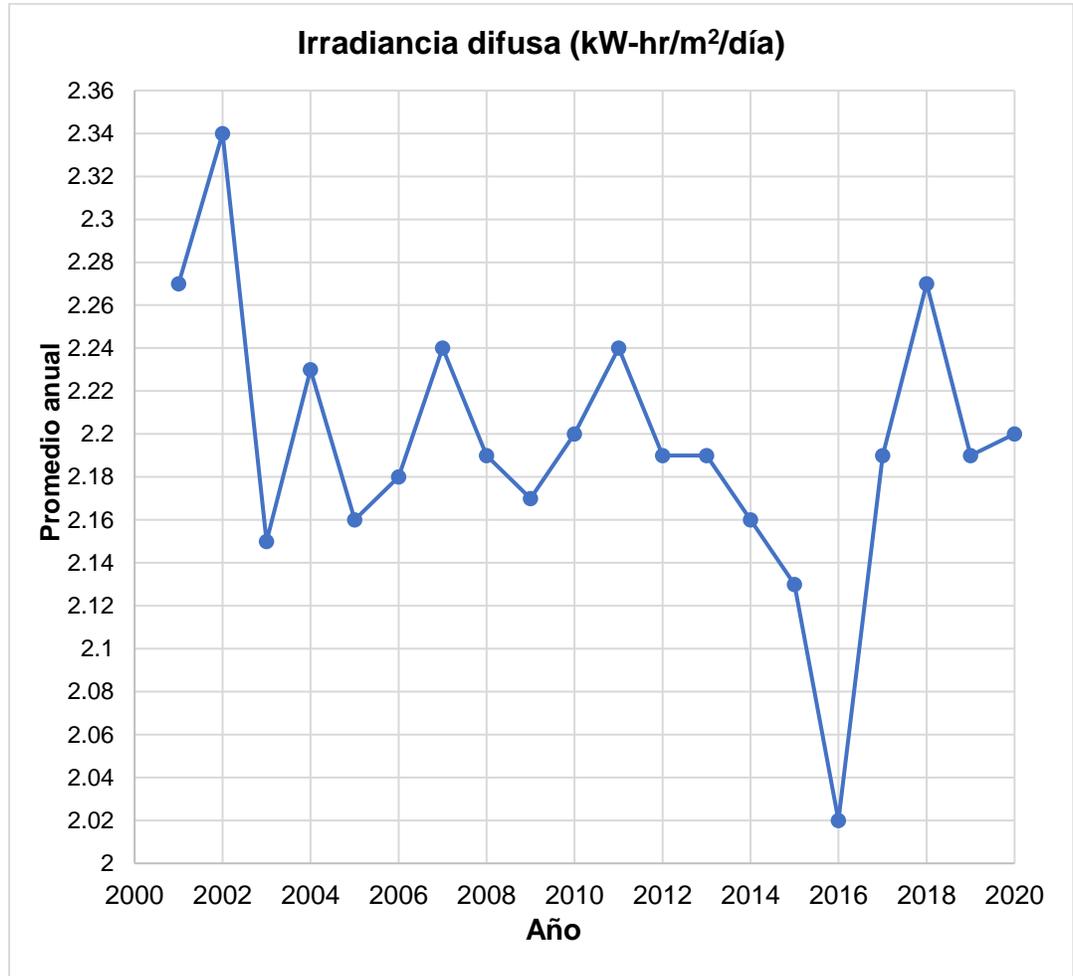


Figura 29. Gráfica de la irradiancia difusa durante 20 años

Fuente: elaboración propia

4.3 Medición con la aplicación de PVGIS, ENAIR

4.3.1 Resultado con la aplicación ENAIR 200

4.3.1.1 Características del aerogenerador

Para asegurar una operación eficiente es necesario considerar las características del aerogenerador aplicado como muestra en la tabla 16, la cual determina la viabilidad y eficiencia en la zona de Santa Bárbara de Carhuacayán. Se elige al aerogenerador

porque es el más eficiente para cubrir la deficiencia energética calculada para la población debido a la variabilidad de la velocidad de los vientos y climas.

Tabla 16. *Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.*

Coordenadas	
Latitud	- 11.1868
Longitud	-76.2662

Fuente: *portal web de la Municipalidad Santa Bárbara de Carhuacayán*

El aerogenerador en mención proporciona la potencia necesaria para cubrir las demandas energéticas de la población y compensa cualquier déficit energético.

Tabla 17. *Características del aerogenerador*

Modelo de aerogenerador E200	
Características	
Rugosidad del terreno	Terreno rugoso
Altura sobre el suelo	10 metros
Potencia nominal	18 KW
Potencia máxima	20 kW
Potencia media	0.52 KW
Densidad de aire	67.60 %
Área de barrido	75.4 m

Fuente: *Enair extraído el 2022 - Elaboración propia*

Las características mencionadas del aerogenerador ENAIR 200 se muestran a continuación en la Figura 30.



Figura 30. Aerogenerador

Fuente: Tomado de “ENAIR”- elaboración propia

4.3.1.2 Estimación de energía producida

En la aplicación ENAIR se evaluaron los siguientes parámetros:

A) Energía eólica producida

Los resultados se derivaron de las coordenadas geográficas utilizando la latitud y longitud de la provincia de Yauli específicamente en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, cada punto estimado muestra las coordenadas señaladas en la Tabla 18. La estimación se realizó durante un período de 2 meses, donde se observó la variación de cada coordenada y dentro de estos, la velocidad promedio del viento, rosa de los vientos y variación estacional. Los resultados obtenidos durante este periodo indicaron que la velocidad promedio del viento varía, de lo que se deduce que la producción de energía por parte del aerogenerador en los 12 puntos no es constante, la producción máxima de energía registrada fue de 14.79kWh/día con una velocidad promedio del viento de 2.55 m/s, mientras que la producción mínima de energía fue de 9.52 kWh/día con una velocidad promedio del viento.

Tabla 18. Resultados del ENAIR 200

Hora	Latitud	Longitud	Octubre				Noviembre			
			Velocidad media	Velocidad media a un 15% error	Energía producida kwh/día	Error al 15 % de energía Kwh/día	Velocidad media	Velocidad media a un 15% error	Energía producida kwh/día	Error al 15 %
5.00 pm	-11.21391	-76.29761	2.3	1.96	12.5	10.625	2.4	2.04	12.5	10.625
5.10 pm	-11.2151	-76.28985	2.4	2.04	11.2	9.52	2.3	1.96	11.2	9.52
5.18 pm	-11.1887	-76.22637	2.6	2.21	14.1	11.985	2.6	2.21	14.1	11.985
5.20 pm	-11.21357	-76.29887	2.2	1.87	13	11.05	2.4	2.04	13	11.05
5.22 pm	-11.21518	-76.3053	2.5	2.13	15.5	13.175	2.6	2.21	15.5	13.175
5.24 pm	-11.21613	-76.30355	2.5	2.13	15.5	13.175	2.6	2.21	15.5	13.175
5.26 pm	-11.21546	-76.30143	2.5	2.13	15	12.75	2.6	2.21	15	12.75
5.28 pm	-11.21495	-76.29861	2.4	2.04	14.4	12.24	2.5	2.13	14.4	12.24
5.33pm	-11.21699	-76.30493	2.5	2.13	16.2	13.77	2.6	2.21	16.2	13.77
5.38 pm	-11.21617	-76.30603	2.5	2.13	15.9	13.515	2.6	2.21	15.9	13.515
5.40 pm	-11.121	-76.177	3	2.55	17.4	14.79	3	2.55	17.4	14.79
10.45 am	-11.21391	-76.29761	2.3	1.96	12.5	10.625	2.4	2.04	12.5	10.625
10.50 am	-11.2151	-76.28985	2.4	2.04	11.2	9.52	2.3	1.96	11.2	9.52
10.55 am	-11.1887	-76.22637	2.6	2.21	14.1	11.985	2.6	2.21	14.1	11.985
10.59 am	-11.21357	-76.29887	2.2	1.87	13	11.05	2.4	2.04	13	11.05
11.00 am	-11.21518	-76.3053	2.5	2.13	15.5	13.175	2.6	2.21	15.5	13.175
11.02 am	-11.21613	-76.30355	2.5	2.13	15.5	13.175	2.6	2.21	15.5	13.175
11.04 am	-11.21546	-76.30143	2.5	2.13	15	12.75	2.6	2.21	15	12.75
11.06 am	-11.21495	-76.29861	2.4	2.04	14.4	12.24	2.5	2.13	14.4	12.24
11.07am	-11.21699	-76.30493	2.5	2.13	16.2	13.77	2.6	2.21	16.2	13.77
11.10am	-11.21617	-76.30603	2.5	2.13	15.9	13.515	2.6	2.21	15.9	13.515
11.20 am	-11.121	-76.177	3	2.55	17.4	14.79	3	2.55	17.4	14.79

Fuente: ENAIR, extraído el 2022. - Elaboración Propia

Para calcular la energía generada en kilovatios - hora (kWh) se emplearon las coordenadas con mayor producción eléctrica registrada en octubre y noviembre, así mismo, se consideró la velocidad promedio del viento estimada por la aplicación con un margen de error del 1 a 15 %. Observando la estimación de energía para todo el año, se obtuvo una producción de 6366 kWh..

Tabla 19. Producción de energía eólica kWh del año 2022

Producción eólica en kWh			
Mes	Velocidad del viento (m/s)	kWh/día	kWh/mes
Enero	3.2	21.1	653
Febrero	3.2	21.7	612
Marzo	3.1	20.5	635
Abril	2.9	15.7	471
Mayo	2.7	13	402
Junio	2.7	12.5	376
Julio	2.8	14.7	457
Agosto	2.8	15.2	472
Septiembre	3.1	19.9	597
Octubre	3	17.7	549
Noviembre	3	17.2	516
Diciembre	3.1	19.9	617
Promedio	3	17.4	531
Promedio total		6366 kWh/AÑO	

Fuente: ENAIR extraído el 2022.

La figura 31 muestra la velocidad promedio con un margen de error del 15 % para cada mes del año, así también se observa que en enero y febrero la velocidad promedio es de 3.2 m/s. Como conclusión, se determina que la velocidad promedio anual es de 3.0 m/s.

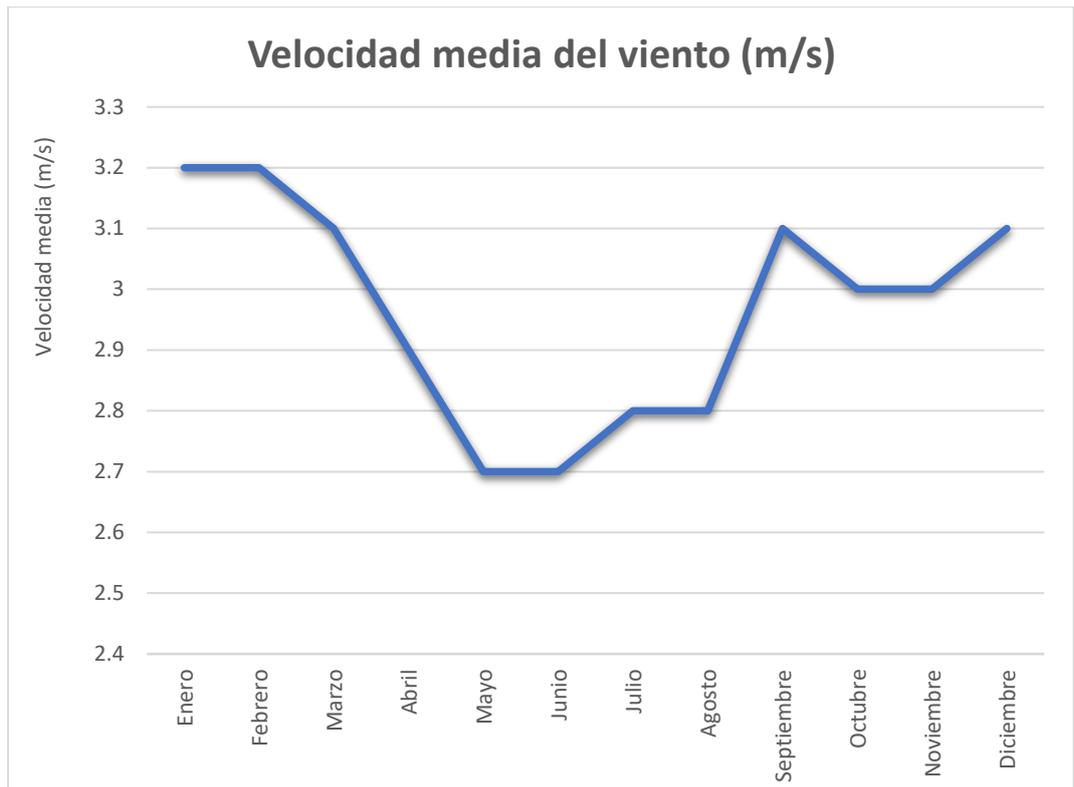


Figura 31. Gráfico de la velocidad media del viento (m/s)

Fuente: ENAIR 200. Elaboración Propia

En promedio, la producción de energía fue de 13 kWh/día para todos los días de mayo y de 12.5 kWh/día para los de junio. En la figura 32 podemos observar que la mayor producción de energía para todos los días fue en febrero con un valor de 21.7 kWh/día y en marzo con una producción de energía de 20.5 kWh/día. El promedio anual durante el día es de 17.4kWh/día. Estos datos son obtenidos de la aplicación ENAIR para el cálculo de aerogeneradores.

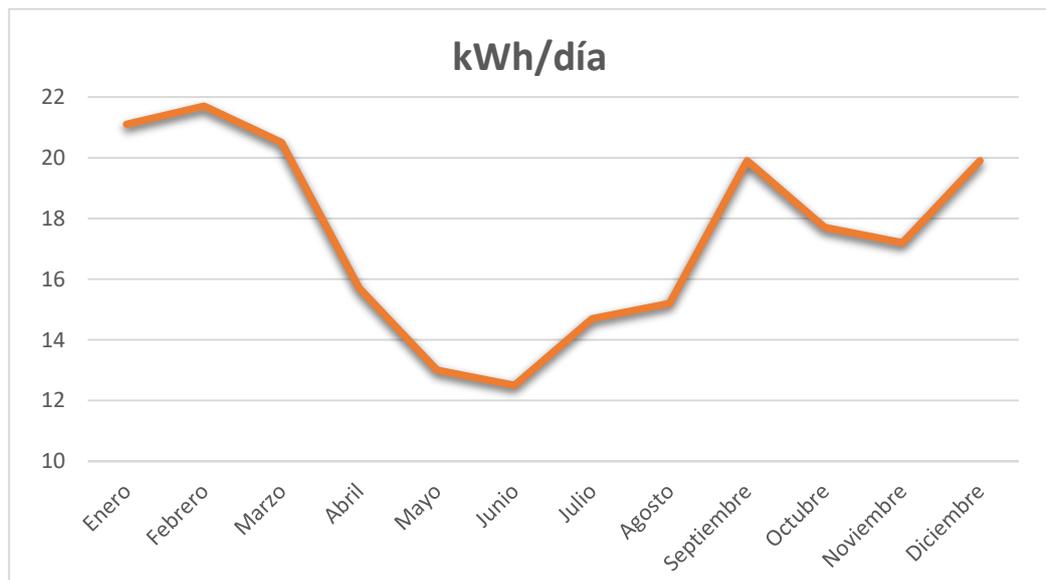


Figura 32. Estimación de energía producida durante el día.

Fuente: ENAIR 200. Elaboración Propia

La representación de la estimación de la producción de energía eólica como se muestra en la figura 33, revela que el menor registro de producción energética fue de 376 kWh/mes en junio, mientras que el máximo alcanzado fue de 653 kWh/mes en enero. El promedio anual se sitúa en 531 kWh/día.

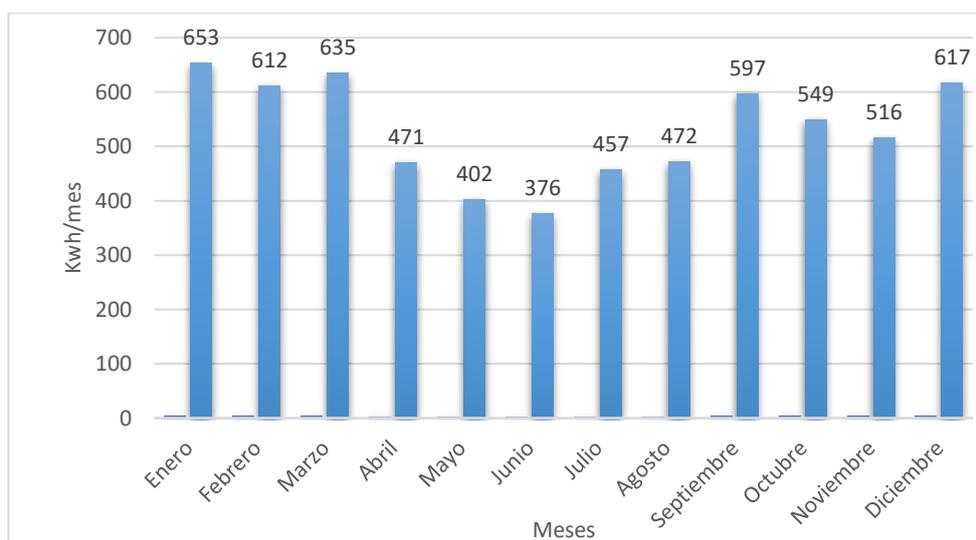


Figura 33. Producción de energía durante los meses de tipo de Aerogenerador Enair 200.

Fuente: ENAIR Elaboración propia

4.3.1.3 Rosa de los vientos

La dirección del viento predominante conocida como rosa de los vientos se determina mediante la aplicación de ENAIR, la cual es fundamental para la ubicación adecuada de aerogenerador con el propósito de generar energía. La figura 34, ilustra que el viento proviene principalmente del suroeste y se concentra en el noroeste.

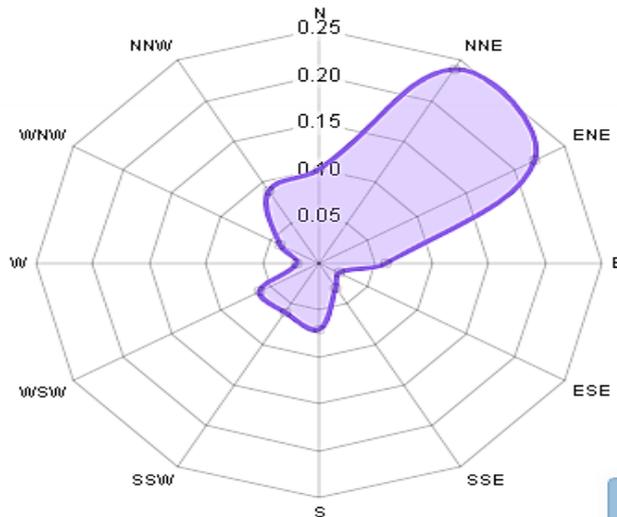


Figura 34. Rosa de los vientos, estimada por el Aerogenerador E200.

Fuente: ENAIR

4.3.1.4 Variación espacial

La velocidad promedio del viento se observa en el área de 10km^2 que se muestra en la figura 35, En esta evaluación, se ordenan las velocidades promedio de mayor a menor, y se calculan los promedios. Así, cuando el porcentaje es del 100 %, obtenemos una velocidad promedio del área en su totalidad. Sin embargo, a medida que el porcentaje disminuya, la velocidad del viento aumenta dentro del cuadro seleccionado (28).

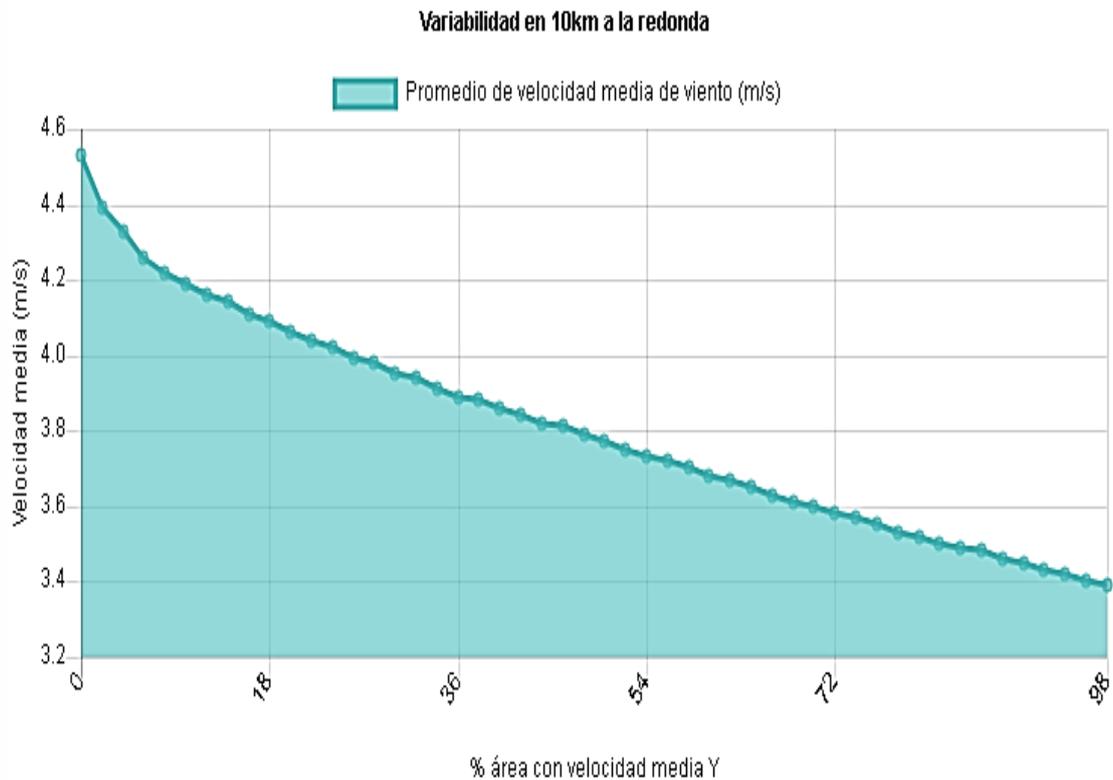


Figura 35. Variabilidad en 10 Km a la redonda

Fuente: ENAIR

4.3.1.5 Beneficios

La aplicación Enair proporciona información sobre las ventajas al instalar un aerogenerador, una ellas es la liberación del dióxido de carbono a la atmósfera, ya que la instalación de un aerogenerador evita la emisión de 5.97 toneladas/año de dióxido de carbono, lo que equivale a sembrar 920 árboles y generando un ahorro de 5971.32 euros /año.

Tabla 20. Beneficios de una implementación de aerogeneradores E200.



Fuente: ENAIR extraído el 2022.

4.3.2 Análisis con la aplicación PVGIS

Según la Unión Europea, esta aplicación PVGIS es altamente eficiente y confiable ya que proporciona resultados precisos basados en datos recopilados por satélites de la NASA. Además, dicha aplicación está alineada con el *Acuerdo Verde de la Unión Europea*, promoviendo así el ecodiseño de paneles fotovoltaicos y fomentando la eficiencia energética para combatir la pobreza energética en países en desarrollo. El uso de esta aplicación es simple ya que solo requiere ingresar las coordenadas geográficas del lugar como latitud y longitud. Un claro ejemplo, este proyecto se encuentra ubicado en las coordenadas detalladas en la Tabla 21.

Tabla 21. Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán.

Coordenadas	
Latitud	- 11.1868
Longitud	-76.2662

Fuente: portal web de la Municipalidad Santa Barbara de Carhuacayán

Esta aplicación calcula la electricidad generada por paneles solares, la irradiancia global a lo largo del año y las horas sol pico de cada mes; los resultados se presentan en la tabla 22 donde se muestra la irradiación global.

Tabla 22. *Irradiación en un plano de ángulo*

Mes	Irradiación en plano de ángulo (kWh/m ²)
Enero	173.3
Febrero	146.1
Marzo	137.1
Abril	110.9
Mayo	93.0
Junio	75.2
Julio	84.7
Agosto	112.9
Septiembre	132.8
Octubre	160.6
Noviembre	173.5
Diciembre	167.3

Fuente: *PVGIS extraído el 2022. - Elaboración por PVGIS*

En la figura 36 se muestra que la irradiación alcanza su punto más alto en enero con una producción energía de 173.3 kWh/m², mientras que, en junio, la producción de electricidad es más baja de 75.2 kWh/m². Estos datos fueron obtenidos a través de la aplicación PVGIS.

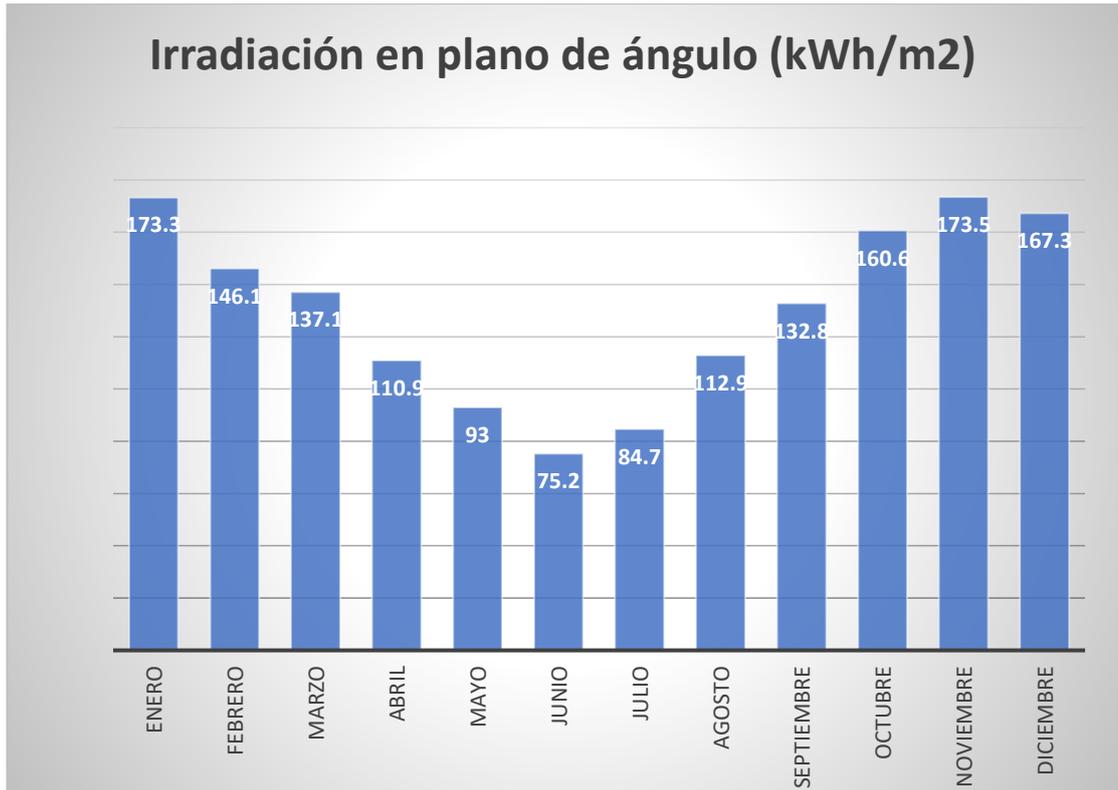


Figura 36. Irradiación en plano de ángulo.

Fuente: PVGIS

4.3.2.1 Cálculo HSP (Hora Sol Pico)

Las horas sol pico que representan momentos clave de irradiación solar durante el día son de gran importancia en la instalación y operación eficiente de un parque solar, ya que indican los periodos precisos de mayor exposición a la radiación solar, lo cual es fundamental para calcular la producción eléctrica. Para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$HSP = \frac{IRRADIANCIA\ GLOBAL}{DÍAS\ DEL\ MES}$$

Los resultados de este cálculo se presentan en la Tabla 23, donde se observa que, en noviembre, el HSP fue de 5.78 horas, lo que indica una alta potencia de radiación diaria y sugiere un mayor potencial para la generación de electricidad, estos resultados fueron obtenidos mediante la aplicación PVGIS.

Tabla 23. Hora Sol Pico

Mes	Irradiación en plano de ángulo (kWh/m ²)	Hora Sol Pico
Enero	173.3	5.5903
Febrero	146.1	5.2179
Marzo	137.1	4.5700
Abril	110.9	3.5774
Mayo	93.0	3.0000
Junio	75.2	2.5067
Julio	84.7	2.8233
Agosto	112.9	3.6419
Septiembre	132.8	4.4267
Octubre	160.6	5.1806
Noviembre	173.5	5.7833
Diciembre	167.3	5.3968

Fuente: PVGIS extraído el 2022. Elaboración por PVGIS

4.3.2.2 Irradiación diaria

Los resultados de la irradiación de la hora sol pico mencionados fueron obtenidos utilizando la aplicación PVGIS. En la figura 37, se puede apreciar que las horas de mayor radiación solar ocurren durante un lapso de 5 horas en noviembre. Este periodo inicia a las 8.00 am con una irradiación global de 626.67 W/m² y finaliza a las 13.00 pm, alcanzando una producción de energía de 645.74 W/m².

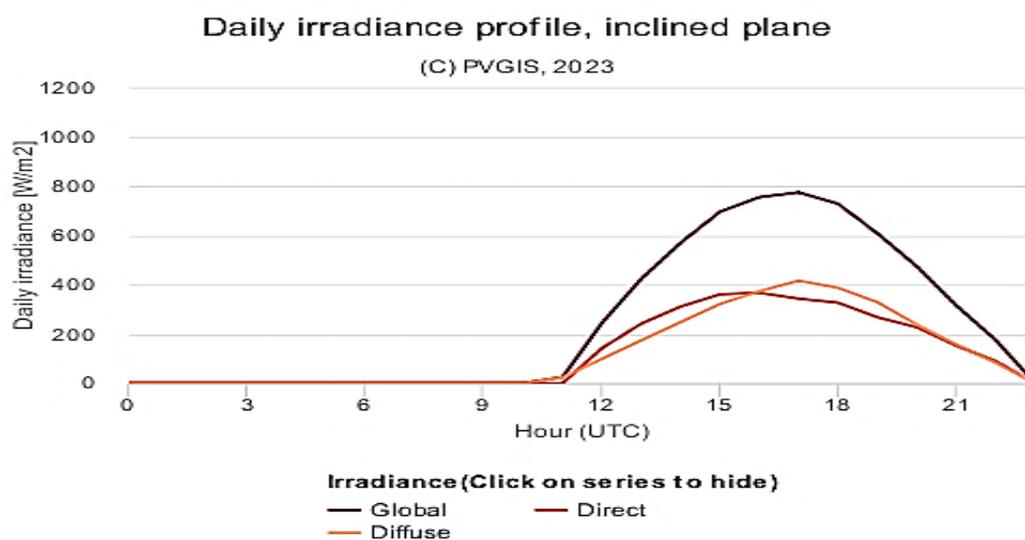


Figura 37. Hora Sol pico

Fuente: Tomado de lá Fuente "PVGIS", 2022.

Los resultados de la irradiancia diaria fueron obtenidos mediante la utilización de la aplicación de PVGIS. En la Figura 38 se muestran las horas de máxima radiación solar durante un lapso de 5.18 horas en octubre. La irradiancia global empieza a las 12.00 pm generando una producción eléctrica de 467.09 W/m^2 y finaliza a las 5:00pm, con una producción eléctrica de 836.64 W/m^2 .

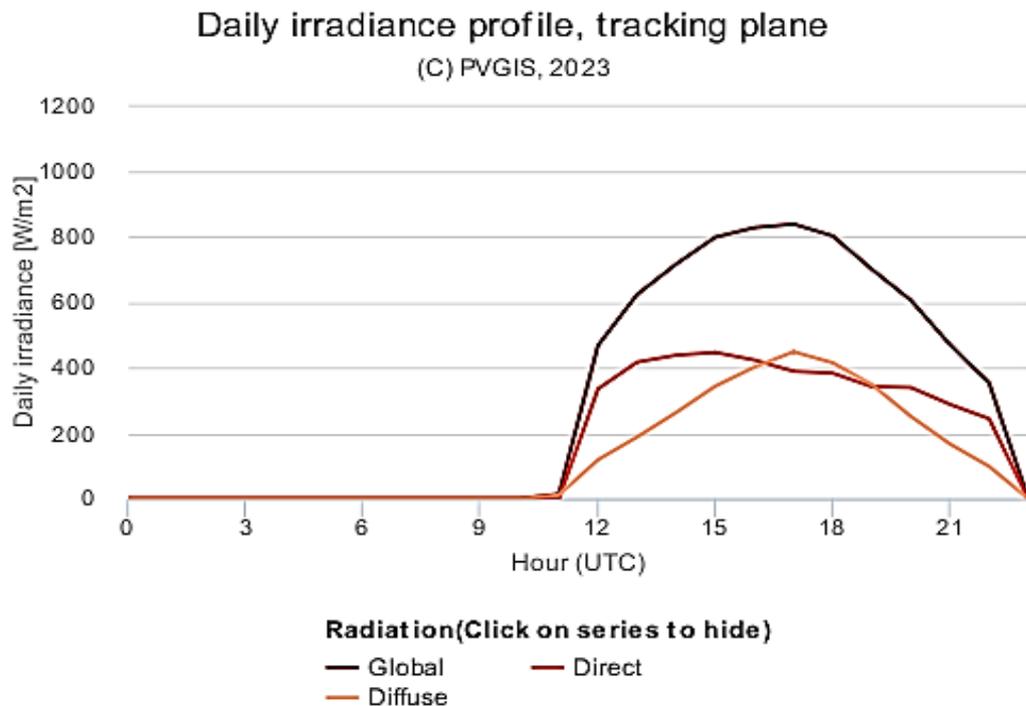


Figura 38. Hora Sol pico mes de junio

Fuente: PVGIS - 2022

4.3.2.3 Rendimiento fotovoltaico conectado a red

Los datos proporcionados por la aplicación ENAIR indican que la producción eléctrica anual del sistema solar es de 1255.92 kWh. Esta estimación considera varias características claves del sistema que incluye:

- El tipo de panel fotovoltaico (silicio monocristalino).
- La pérdida del sistema que se estima en un 14%.
- El ángulo de inclinación óptimo del panel que se fija en 36° .

Estos datos se basan en las coordenadas específicas proporcionadas donde la irradiancia solar anual se calcula en 1567.32 kWh/m^2 (ver tabla 24).

Tabla 24. Resultados de simulación

Resultados de la simulación	
Tecnología fotovoltaica	Silicio monocristalino
FV instalado	1 kWp
Pérdida del sistema	14 %
Ángulo de inclinación	36° opt
Ángulo de azimut	0°
Producción anual FV	1255.92 kWh
Irradiación anual	1567.32 kWh/m ²
Variación interanual	28.53 kWh

Fuente: PVGIS extraído el 2022.

En la tabla 25 se muestran los datos de producción de energía tanto diario como mensual, la desviación estándar y la irradiación diaria y mensual; los cuales se capturan a lo largo del día. Se registra una producción energética promedio diaria de 3.44 kWh/d y una producción mensual de energía de 104.66 kWh/mes. Estos resultados se generaron utilizando la aplicación PVGIS.

Tabla 25. Producción de energía

Mes	(kWh/d)	(kWh/mes)	(kWh/m ² /d)	(kWh/m ² /mes)	(kWh)
Enero	4.55	141.17	5.59	173.34	9.87
Febrero	4.25	119.14	5.22	146.12	6.45
Marzo	3.6	111.7	4.42	137.12	5.02
Abril	2.96	88.78	3.7	110.9	4.76
Mayo	2.3	71.18	3.0	92.97	1.2
Junio	1.85	55.48	2.5	75.15	1.59
Julio	2.04	63.31	2.73	84.67	0.96
Agosto	2.88	89.15	3.64	112.91	3.54
Septiembre	3.6	107.99	4.43	132.79	14.82
Octubre	4.22	130.9	5.18	160.58	3.85
Noviembre	4.7	141.02	5.78	173.48	8.74
Diciembre	4.7	141.02	5.78	173.48	8.74
PROMEDIO	3.44	104.66	4.29	130.61	2.38

Nota: Producción de energía diaria promedio del sistema dado (kWh/d), Producción de energía mensual promedio del sistema dado (kWh/mes), Σ diaria promedio de la irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh/m²/d), Σ mensual promedio de irradiación global por metro

cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh/m²/mes), Σ de la producción mensual de energía por variación interanual (kWh).

Los datos de producción de energía mensual fueron obtenidos mediante la aplicación de PVGIS. En la figura 39 se presenta la producción mensual de energía, donde enero, noviembre y diciembre registran los niveles más altos de producción energética, mientras que junio y julio los niveles más bajos.

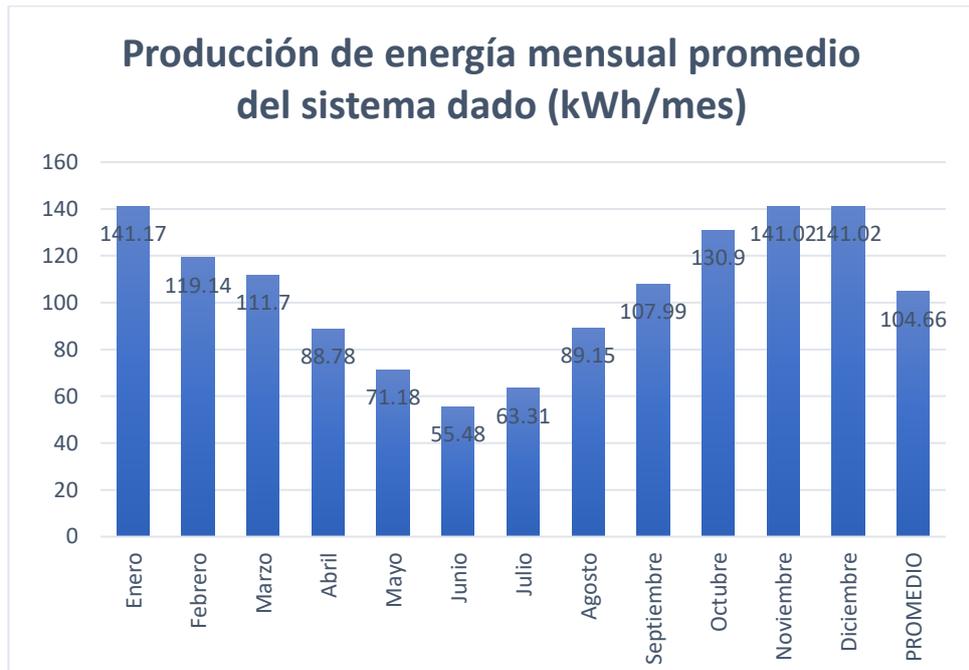


Figura 39. Gráfico de la producción de energía mensual.

Fuente: PVGIS

Los siguientes datos mensuales promedio de irradiación global por metro cuadrado fueron obtenidos mediante la aplicación de PVGIS. En la figura 40 se muestra la irradiación global a lo largo de todo el año, indicando que los niveles más bajos de irradiación global ocurrieron en junio y julio, mientras que los niveles más altos se observaron en enero, noviembre y diciembre.

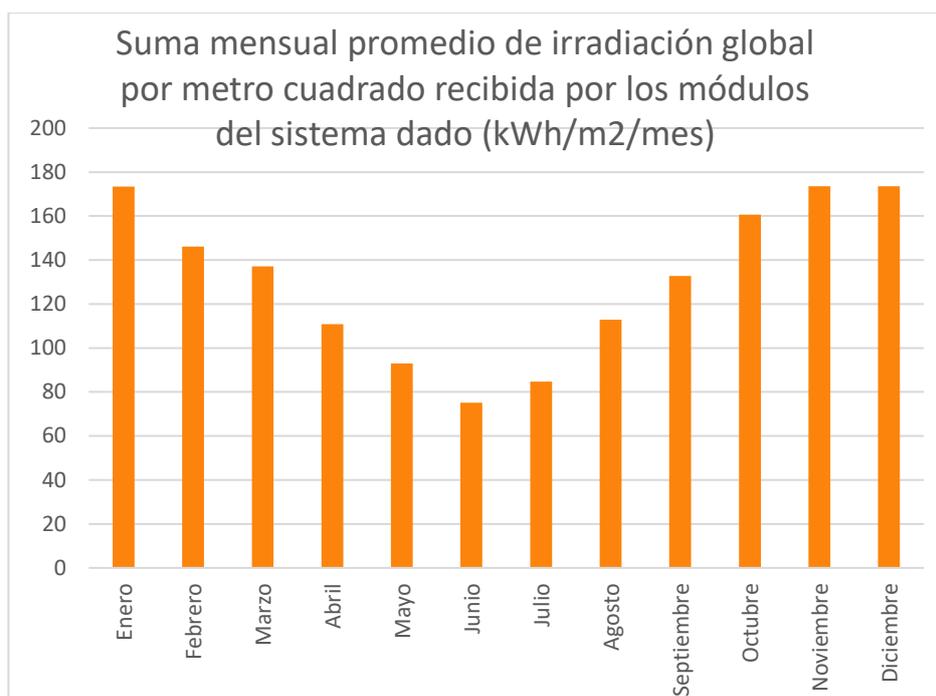


Figura 40. Gráfico de la irradiación global

Fuente: PVGIS

4.4 Medición de forma manual

Se llevó a cabo una evaluación manual de la radiación solar y de la velocidad del viento en la provincia de Yauli, específicamente en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán con el objetivo de obtener datos relevantes utilizando dos instrumentos importantes: el anemómetro UTE 363 el cual cuenta con un certificado de calibración adjunto (anexo 14) que mide la velocidad del viento y la temperatura, así mismo se usó solarímetro (Solar Power SM206 - Solar Meter) que también cuenta con un certificado de calibración adjunto (anexo 15) y se encarga de medir la radiación solar. Este monitoreo se realizó a lo largo del mes de noviembre y se detallan las coordenadas en la tabla 26.

La recolección de datos inició a las 11:00 y finalizó a las 18:00 horas, teniendo un registro cada 10 minutos, donde se observó que entre las 11:00 y las 14:00 horas se registra una mayor radiación solar, mientras que la velocidad del viento aumentó a partir de las 15:00 horas hasta las 18:00 horas.

Tabla 26. Ubicación del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán

Coordenadas	
Latitud	- 11.1868
Longitud	-76.2662

Fuente: portal web de la Municipalidad Santa Bárbara de Carhuacayán

4.4.1 Diseño de medición en toma de muestras para anemómetro

Este diseño fue concebido para desarrollar un método analítico en relación a las mediciones manuales utilizando el anemómetro.

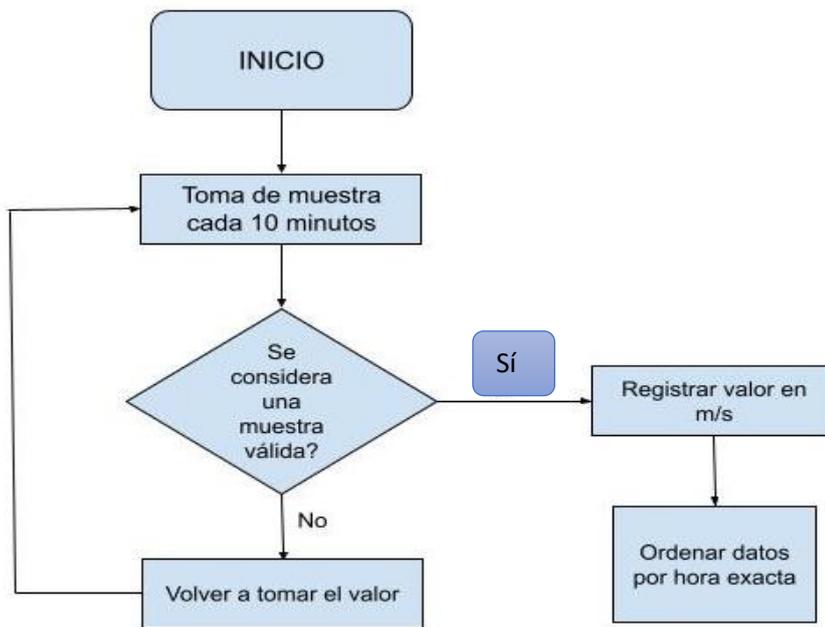


Figura 42. Esquema de medición de muestras para un anemómetro.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Anemómetro

Los datos recogidos por el anemómetro variaron durante los 30 días de noviembre de 2022 por diversos factores como la estación del año, topografía, etc.

En el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán se llevó a cabo el monitoreo de la velocidad del viento, observando condiciones parcialmente nubladas durante el proceso. El monitoreo se realizó cada 10 min. durante un periodo de 8 horas. Los datos obtenidos durante este monitoreo se detallan en la Tabla 42 y 43.

Del total de datos recolectados se encontró que la velocidad máxima registrada fue de 18.5 m/s; mientras que la mínima fue de 1.2 m/s.



Figura 43. Gráfico del promedio de la velocidad del viento vs días de noviembre de 2022.

Fuente: elaboración propia

La figura 43, muestra el comportamiento del promedio diario, mientras la velocidad del viento se estimó en m/s. Los resultados fueron analizados con el programa de Microsoft Excel, el cual ayuda a interpretar que la velocidad más alta es 18.5 m/s a las 16:00 y la velocidad más baja es 1.2 m/s a las 12:45 pm; demostrando así que la velocidad del viento varía durante el día.

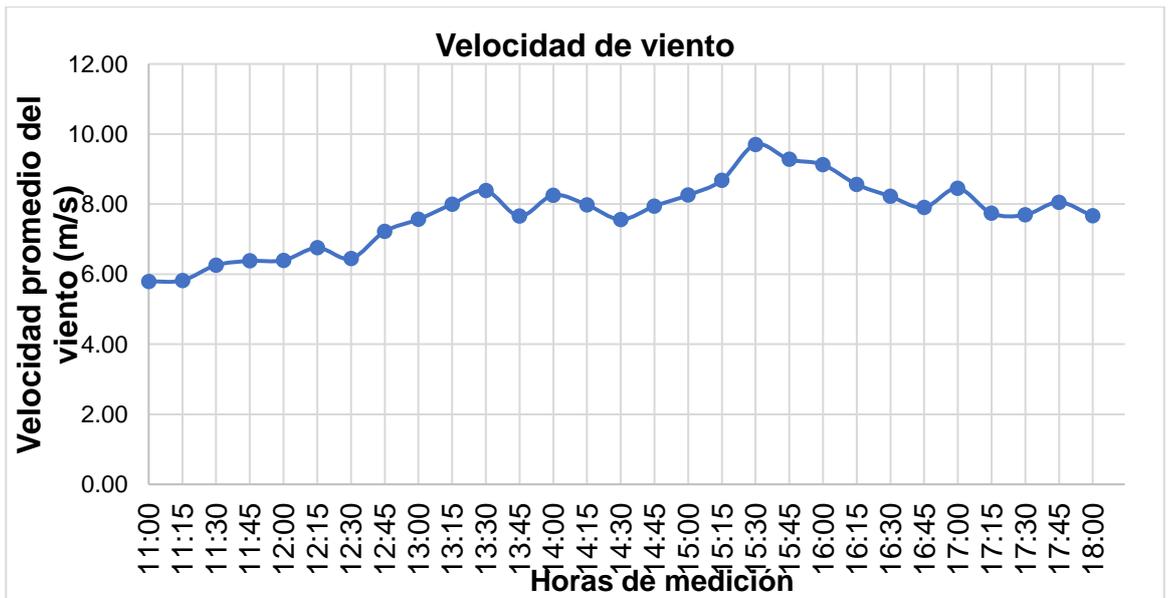


Figura 44. Gráfico de la velocidad media vs hora de medición

Fuente: elaboración propia

4.4.3 Radiación solar

La radiación solar es una fuente de energía indeterminada en diferentes partes del Perú y para medir la irradiancia se debe calcular las HSP (Horas Sol Pico) y posteriormente los datos de irradiancia durante el mes noviembre de 2022 en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, lo mencionado se observa en la Tabla 41 y 42, a continuación, se calcula el HSP durante el mes de noviembre y se obtiene 5.73HSP. Luego de haber realizado los cálculos correspondientes, las HSP nos indican que en el mes de noviembre existe 5.73 de irradiancia solar en el día.

4.4.4 Diseño de medición en tomas de muestra para solarímetro

Este diseño fue concebido para desarrollar un método analítico con relación a las mediciones manuales utilizando el solarímetro.

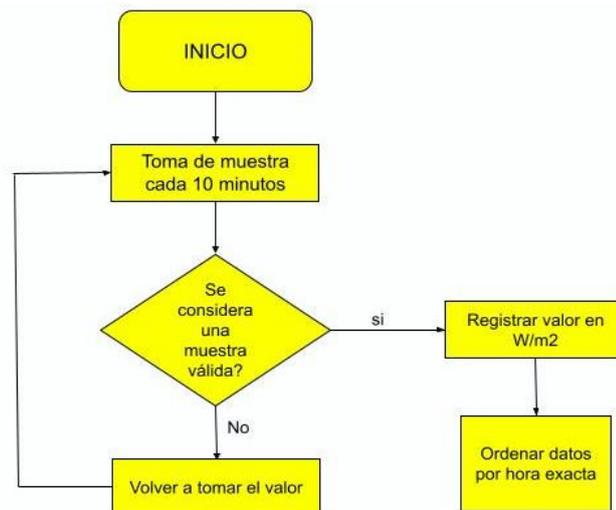


Figura 45. Esquema de medición de muestras para un anemómetro.

Fuente: Elaboración propia

Entonces, se llevó a cabo una evaluación manual en el punto de monitoreo, desde las 11:00 am hasta 5.00 pm. en el mes de noviembre. Después de recopilar los datos a lo

largo de los 31 días, se calculó el promedio mediante el uso de Microsoft Excel.

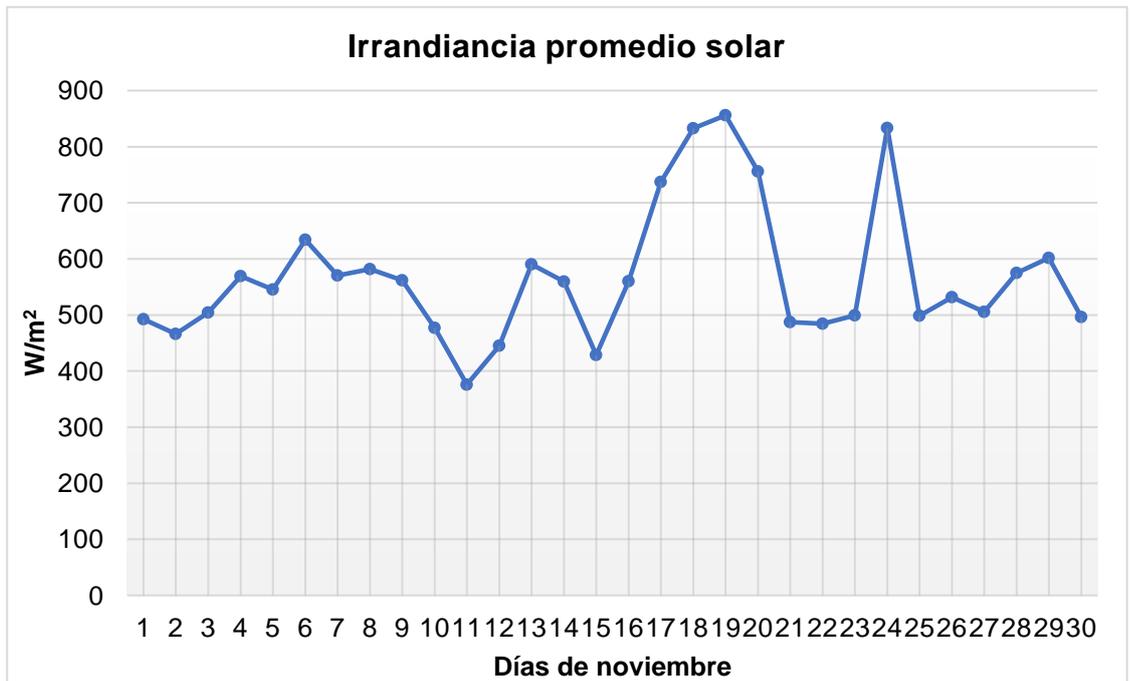


Figura 46. Gráfica promedio de la irradiación solar vs días de noviembre de 2022.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 46 se muestran las variaciones de la irradiación solar en diferentes momentos del día, esta evaluación manual arrojó los siguientes resultados: a partir de las 11:00 am la irradiación recibida fue 620.52 W; a las 13:45 pm la irradiación mayor fue 784.796 W y a partir de las 15:00 pm la irradiación solar disminuye, por lo que los resultados hacen cumplir la HSP (Hora Sol Pico) en el mes de noviembre.

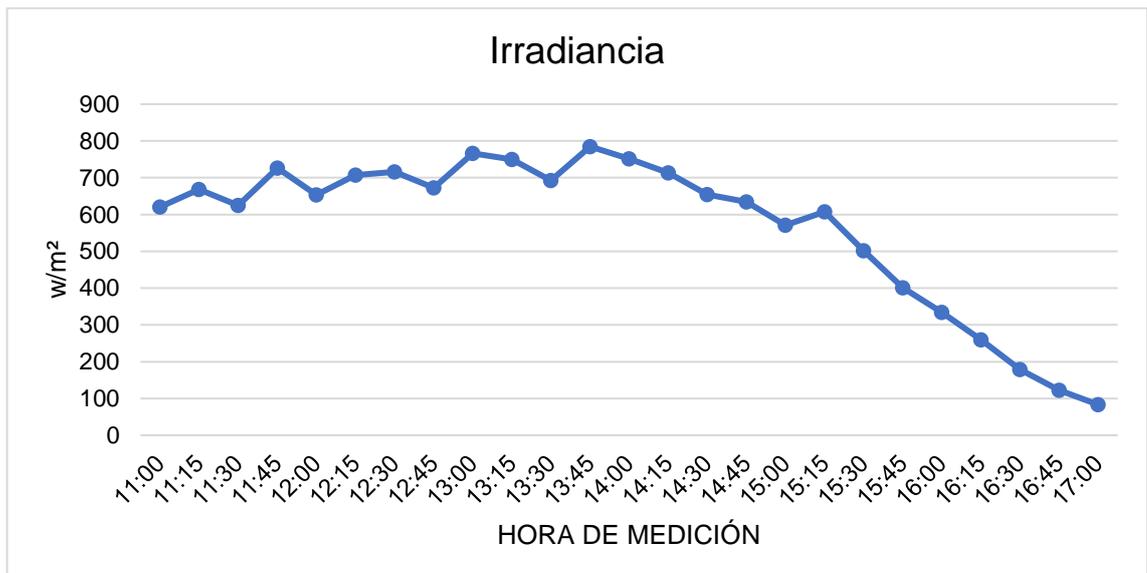


Figura 47: Variaciones de irradiación.

Fuente: elaboración propia

4.5 Análisis estadísticos de estimación del viento (Weibull)

Luego de recibir los datos de velocidad del viento en el mes de noviembre, se realiza un análisis de probabilístico mediante el método de Weibull, cuya tarea es determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos mediante la estimación manual. Se utilizará el programa de Microsoft Excel para la evaluación de estos resultados.

Pasos para encontrar una probabilidad:

- a) Ordenar los valores promedio obtenidos por hora.
- b) Ordenar los valores promedios en orden ascendente.
- c) La ecuación $Rango = ((Mx - 0.3) / (N + 0.4))$ determina la mediana de la lista de observaciones, donde: Mx = es la medida del valor de radiación en el punto x y N = es el número de observaciones.
- d) La función de Weibull expresada como una función exponencial se resuelve linealizando los ejes cartesianos utilizando el logaritmo de la función tanto para los ejes x como para y , que eventualmente forman puntos enmarcados por la ecuación de la recta.
- e) El eje Y tiene la expresión de $\ln(\ln(1 / (1 - \text{Median Rank})))$ y el eje X tiene los valores de las mediciones de radiación.

La siguiente tabla muestra el orden de los resultados promedios de menor a mayor, así como fórmulas para encontrar el valor x , y de la ecuación exponencial (34).

Tabla 27: Análisis de parámetros Weibull (Velocidad de viento - 2022)

Nº	Velocidad del viento	median= $((Mx - 0.3) / (N + 0.4))$	$1 / (1 - \text{Mediana})$	$x = \ln(\text{velocidad del viento})$	$y = \ln(-\ln(1 - \text{media}))$
1	5.80	0.02	1.02	1.76	-3.73
2	5.80	0.06	1.06	1.76	-2.82
3	6.30	0.09	1.10	1.84	-2.34
4	6.40	0.13	1.14	1.86	-2.01
5	6.40	0.16	1.19	1.86	-1.75
6	6.40	0.19	1.24	1.86	-1.53
7	6.80	0.23	1.30	1.92	-1.35
8	7.20	0.26	1.36	1.97	-1.19
9	7.60	0.30	1.42	2.03	-1.05
10	7.60	0.33	1.49	2.03	-0.92
11	7.70	0.36	1.57	2.04	-0.79
12	7.70	0.40	1.66	2.04	-0.68
13	7.70	0.43	1.76	2.04	-0.57
14	7.70	0.47	1.87	2.04	-0.47
15	7.90	0.50	2.00	2.07	-0.37

16	7.90	0.53	2.15	2.07	-0.27
17	8.00	0.57	2.32	2.08	-0.18
18	8.00	0.60	2.51	2.08	-0.08
19	8.10	0.64	2.75	2.09	0.01
20	8.20	0.67	3.03	2.10	0.10
21	8.30	0.70	3.38	2.12	0.20
22	8.30	0.74	3.82	2.12	0.29
23	8.40	0.77	4.39	2.13	0.39
24	8.50	0.81	5.16	2.14	0.50
25	8.60	0.84	6.26	2.15	0.61
26	8.70	0.87	7.95	2.16	0.73
27	9.10	0.91	10.89	2.21	0.87
28	9.30	0.94	17.29	2.23	1.05
29	9.70	0.98	42.00	2.27	1.32

Fuente: *Elaboración propia*

Luego de conseguir los datos de x, y se realiza una función exponencial en Excel para obtener los datos de confiabilidad del diseño, dicha información se muestra en la figura 47.

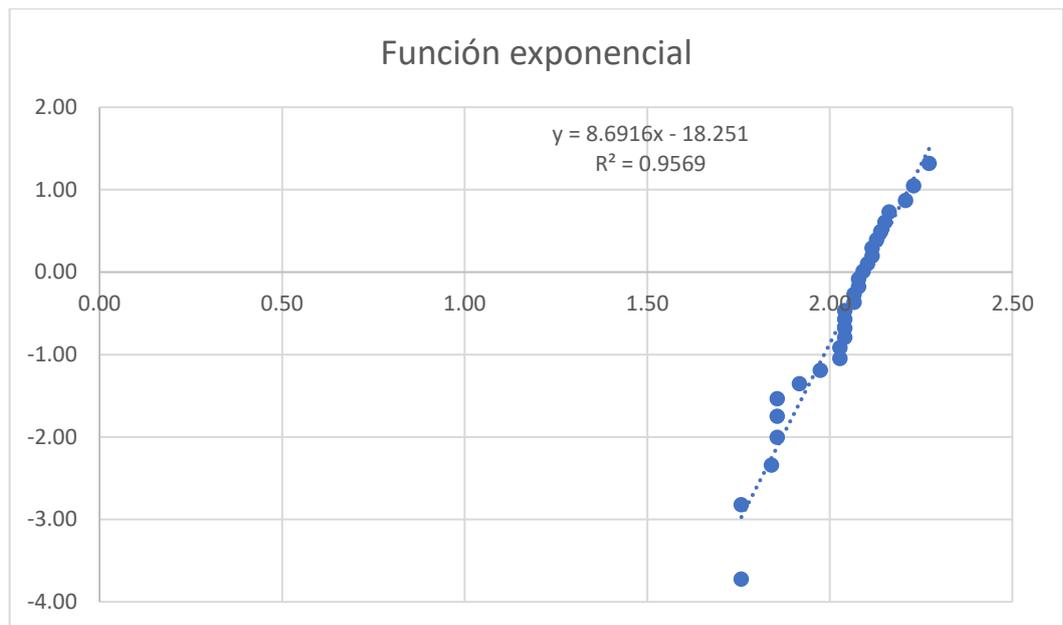


Figura 48: *Función exponencial*

Fuente: *elaboración propia*

A continuación, obtenemos los datos de la ecuación lineal obtenidos por la función exponencial.

$$y = 8.6916x - 18.251$$

Donde:

$$\text{Beta} = x$$

Constante=y=k

$$\text{Eta} = e^{\frac{y}{x}}$$

Tabla 28: *Constante*

BETA	8.69
CONSTANTE	18.25
ETA	8.16

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 29, se estima la velocidad promedio del viento y el porcentaje de ocurrencia, donde la confiabilidad se da en porcentaje (%).

Tabla 29: *Probabilidad de ocurrencia del viento*

Tiempo	%
1	100 %
5.8	95 %
5.8	95 %
6.3	90 %
6.4	89 %
6.4	89 %
6.4	89 %
6.8	82 %
7.2	72 %
7.6	58 %
7.6	58 %
7.7	55 %
7.7	55 %
7.7	55 %
7.7	55 %
7.9	47 %
7.9	47 %
8.0	43 %
8.0	43 %
8.1	39 %
8.2	37 %
8.2	35 %
8.3	32 %

8.3	32 %
8.4	28 %
8.5	24 %
8.6	21 %
8.7	18 %
9.1	8 %
9.3	5 %
9.7	1 %

Fuente: *Elaboración propia*

Los datos recopilados fueron procesados, obteniendo luego un modelo de confiabilidad que nos ayudará a interpretar los resultados obtenidos.

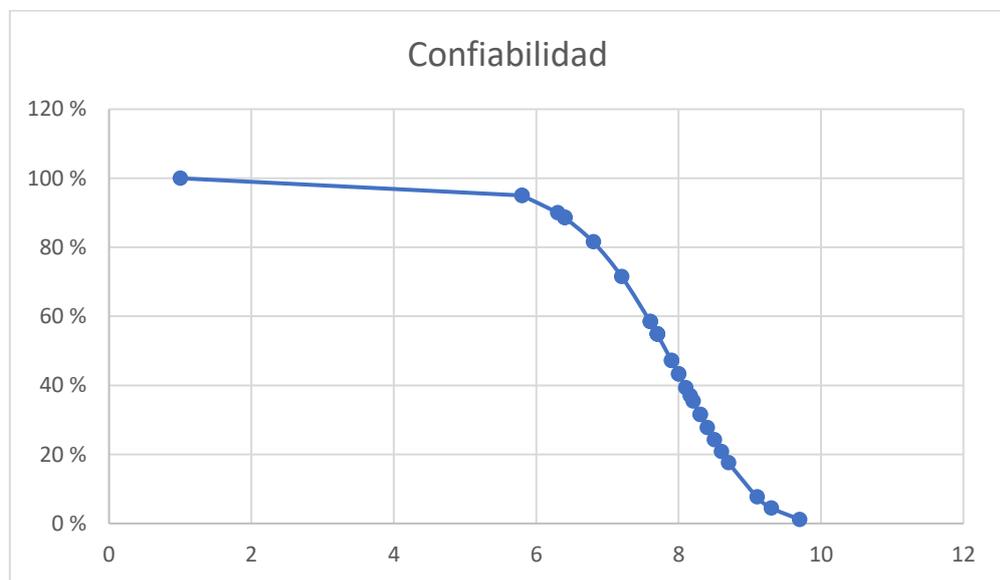


Figura 49: Confiabilidad

Fuente: *elaboración propia*

Por lo tanto, la probabilidad de obtener una velocidad del viento de 8.16 m/s en noviembre es del 39 %.

4.6 Análisis estadístico de estimación de la radiación solar (Weibull)

Asimismo, la radiación solar se estimó en W/m².

La radiación solar promedio en noviembre se enumera en la tabla 30.

Tabla 30: Datos de radiación solar promedio (2022)

N°	Radiación solar promedio
1	620.52
2	668.60
3	605.16

4	703.81
5	633.01
6	685.54
7	693.80
8	651.43
9	743.13
10	726.56
11	671.36
12	760.65
13	728.34
14	691.62
15	634.44
16	615.36
17	554.13
18	588.85
19	486.80
20	388.94
21	323.96
22	251.89
23	174.27
24	119.54
25	81.41

Fuente: *Elaboración propia*

Después de ordenar los datos del promedio de la radiación solar de forma ascendente, extraemos los valores de x - y obtenemos la ecuación exponencial en la Tabla 31.

Tabla 31: *Análisis de parámetros Weibull (Radiación solar - 2022)*

N°	Radiación solar promedio	Rango= ((Mx-0.3) /(N+0.4))	1/(1- MEDIANA)	Ln	LN-lnR
1	83.23	0.03	1.03	4	-3.58
2	122.62	0.07	1.07	5	-2.67
3	179.15	0.11	1.12	5	-2.19
4	259.31	0.15	1.17	6	-1.85
5	334.06	0.19	1.23	6	-1.59

6	400.84	0.22	1.29	6	-1.37
7	501.89	0.26	1.36	6	-1.18
8	571.46	0.30	1.44	6	-1.02
9	607.26	0.34	1.52	6	-0.87
10	620.52	0.38	1.62	6	-0.73
11	624.58	0.42	1.73	6	-0.60
12	634.69	0.46	1.85	6	-0.48
13	653.27	0.50	2.00	6	-0.37
14	654.43	0.54	2.17	6	-0.25
15	668.6	0.58	2.37	7	-0.15
16	672.88	0.62	2.62	7	-0.04
17	692.66	0.66	2.92	7	0.07
18	707.46	0.70	3.30	7	0.18
19	713.48	0.74	3.79	7	0.29
20	715.96	0.78	4.46	7	0.40
21	726.38	0.81	5.40	7	0.52
22	749.68	0.85	6.86	7	0.66
23	751.42	0.89	9.41	7	0.81
24	766.81	0.93	14.94	7	0.99
25	784.8	0.97	36.29	7	1.28

Fuente: *Elaboración propia*

La figura 49 muestra la función exponencial obtenida a partir de los valores de radiación solar en W/m².

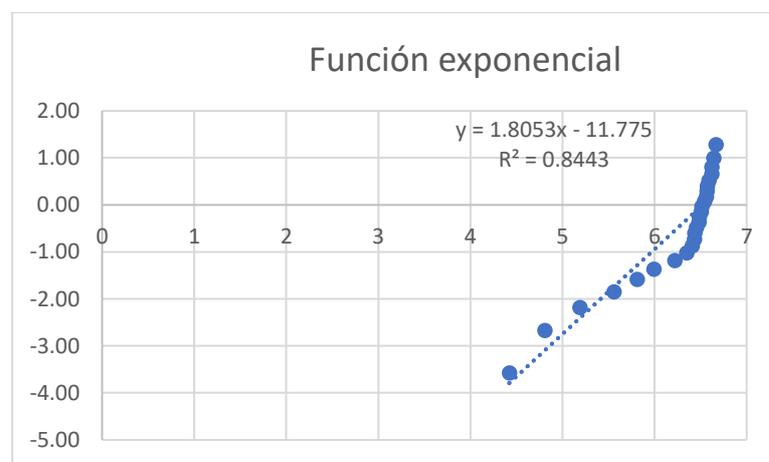


Figura 50: *Función exponencial*

Fuente: *elaboración propia*

Posteriormente, los datos se obtienen de la ecuación lineal obtenida con la función exponencial.

$$y = 1.8053x - 11.775$$

Donde:

Beta= x

Constante=y=k

Eta= $e^{\frac{y}{x}}$

Tabla 32: *Constante*

BETA	1.8053
CONSTANTE	11.775
ETA	680.2508592

Fuente: *Elaboración propia*

De manera similar, los resultados promedio de la radiación solar se utilizan para obtener el porcentaje (%) de confiabilidad en la tabla 33.

Tabla 33: *Probabilidad de ocurrencia*

Radiación	%
1	100 %
83.23	80 %
122.62	72 %
179.15	62 %
259.31	50 %
334.06	41 %
400.84	35 %
501.89	26 %
571.46	22 %
607.26	20 %
620.52	19 %
624.58	19 %
634.69	19 %
653.27	18 %
654.43	18 %
668.6	17 %
672.88	17 %
692.66	16 %
707.46	15 %

713.48	15 %
715.96	15 %
726.38	15 %
749.68	14 %
751.42	14 %
766.81	13 %
784.8	12 %

Fuente: *Elaboración propia*

Los datos recopilados fueron procesados, lo que resultó en la obtención de un modelo de confiabilidad que nos ayudará a interpretarlos.

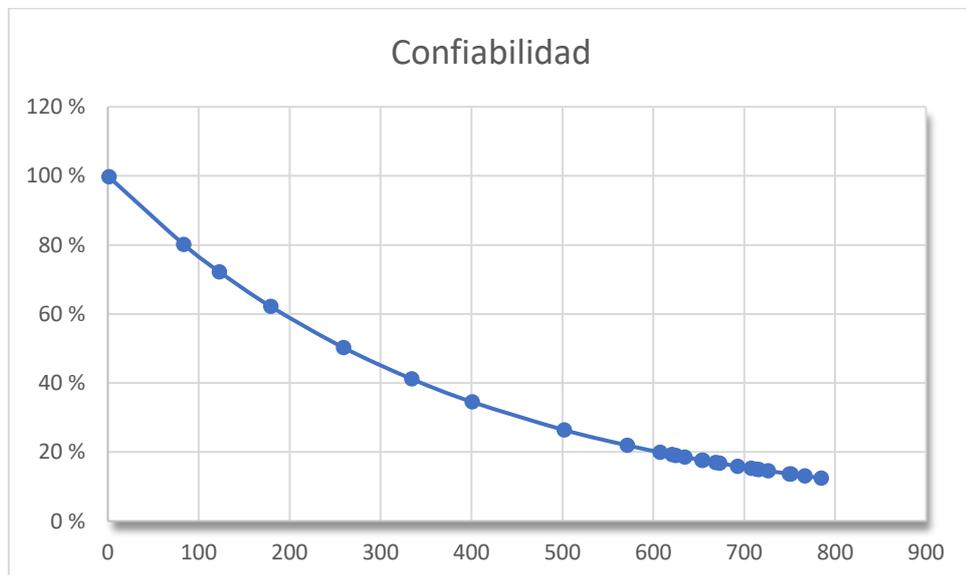


Figura 51: *Confiabilidad*

Fuente: *elaboración propia.*

Posteriormente se llega a la conclusión que con una probabilidad del 17 % se obtendrá en noviembre un valor de radiación solar de 680.2508592 W/m².

4.7 Comparación de resultados

4.7.1 Velocidad del viento

Una vez obtenido los resultados de la velocidad media del viento se deben comparar, para ello se consideran los siguientes datos: datos del año 2015 - 2020, aplicaciones de ENAIR y manual.

Los resultados se analizaron y presentaron en una tabla comparativa que examinó las fluctuaciones promedio de la velocidad del viento. Estos datos se obtuvieron mediante el uso de las herramientas proporcionadas por ENAIR y el estudio de los datos recopilados

durante los cinco años. También se incluyó la evaluación manual realizada en noviembre, tal y como se indica en la Tabla 34.

Tabla 34: Comparación de velocidad del Viento

	Velocidad media del Viento							
	Datos antiguos						Aplicaciones	Manual
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	ENAIR	Anemómetro
Enero	2.7	2.16	2.79	2.52	3.01	2.76	3.2	
Febrero	2.88	2.64	2.24	2.28	2.23	2.38	3.2	
Marzo	2.8	2.75	2.52	2.52	2.76	2.5	3.1	
Abril	2.8	2.58	2.3	2.94	2.51	2.48	2.9	
Mayo	1.88	2.1	2.24	2.3	2.4	2.26	2.7	
Junio	3.09	2.64	2.31	2.66	3.19	2.49	2.7	
Julio	2.62	2.99	3.09	3.07	2.78	2.47	2.8	
Agosto	2.86	2.59	2.37	2.72	3.62	2.8	2.8	
Setiembre	2.73	3.12	3.04	2.71	3.96	3.25	3.1	
Octubre	2.91	2.32	2.71	2.67	3.1	3.53	3	
Noviembre	2.8	2.02	2.32	1.99	2.62	3.03	3	8.16
Diciembre	2.62	2.38	2.07	2.84	2.4	2.63	3.1	

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, existe un comportamiento progresivo en los años 2015 - 2020, así mismo, en los años 2020 y 2022 el comportamiento es constante, por lo que la evaluación manual tuvo un incremento de 8.16 m/s con una probabilidad de ocurrencia del 39 %.

4.7.2 Radiación solar

Los resultados fueron a comparados y visualizados en un cuadro comparativo evaluando las variaciones en la irradiancia, los resultados obtenidos a través de la aplicación PVGIS, la evaluación de los últimos 5 años de datos y la evaluación en noviembre tal y como se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35: Comparación de irradiancia

	Irradiancia w/m ²							
	Datos antiguos						Aplicaciones	Manual
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	PVGIS	Solarímetro
Enero	2600	2400	2700	2800	2600	2700		
Febrero	2700	2700	2500	2500	2600	2500		
Marzo	2500	2500	2500	2600	2600	2600		
Abril	2500	2100	2300	2300	2400	2200		
Mayo	2000	1500	2000	1700	1900	1800		

Junio	1300	1400	1400	1500	1200	1300		
Julio	1100	1100	1200	1600	1400	1400		
Agosto	1500	1600	1500	1800	1500	1600		
Setiembre	2000	2100	2200	2000	2300	2300		
Octubre	2300	2300	2400	2700	2500	2500		
Noviembre	2800	2000	2900	2900	2800	2700	256.311	680.25
Diciembre	2500	2700	2800	2900	2600	2700		

Fuente: *Elaboración propia*

En conclusión, existe un comportamiento progresivo en el 2015 - 2020, también se puede observar que en el 2020 y 2022 se observa una baja irradiancia, por lo tanto, la evaluación manual tuvo una irradiancia de 680.25 W/m² con una probabilidad de ocurrencia de 17 %.

4.8 Diseño de un sistema híbrido eólico - solar

4.8.1 Cálculo de energía requerida para el distrito de Carhuacayán

En la Tabla 36 se calcula la energía eléctrica requerida para una vivienda del distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, el cual se basa en el análisis de los electrodomésticos presentes en una vivienda específica, así como las horas de funcionamiento de cada uno de ellos, permitiendo determinar el consumo energético diario en watts/hora* día (Wh/día).

Tabla 36: *Evaluación de energía eléctrica por una vivienda*

EQUIPOS	CANTIDADES	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	HORAS/DÍA FUNCIÓN	CONSUMO (Wh/día)
Televisión	1	150	150	3	450
Iluminador led	5	20	100	5	500
Refrigeradora	1	200	200	24	4800
Lavadora	1	500	500	1.5	750
Equipo de sonido	1	30	30	2	60
Licuada	2	150	300	0.5	150
Plancha	1	1000	1000	0.5	500
Laptop	1	50	50	2	100
Cargador de celular	4	11	44	4	176
Móden	1	0.05	0.05	8	0.4
SUB TOTAL			2374.05		7486.4

Fuente: *Elaboración propia*

Posteriormente, se calcularon los requerimientos energéticos de la municipalidad de Santa Bárbara de Carhuacayán y mediante la observación se determinaron los electrodomésticos en funcionamiento y las horas de uso correspondiente tal y como se presenta en la tabla 37.

Tabla 37: *Evaluación de energía eléctrica por la municipalidad*

Equipos	CANTIDADES	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	HORAS/DÍA FUNCIÓN	CONSUMO (Wh/día)
Luz pública	30	150	4500	12	54000
Cámara de vigilancia	20	50	1000	24	24000
Impresora	2	100	200	4	800
Computadora	5	50	250	5	1250
SUB TOTAL			5950		80050

Fuente: *Elaboración propia*

Después de determinar el consumo energético tanto de la vivienda como de la Municipalidad, se procedió a calcular la energía consumida en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán. En este cálculo se consideró la cantidad de viviendas presentes, así como los patrones de consumo a lo largo del día, mes y año. Ver la tabla 38.

Tabla 38: *Energía requerida por el distrito SBC*

	Cantidad	kWh /día	kWh/mes	kWh/año
Vivienda	1	7.486	224.592	2695.104
Vivienda	333	2492.83	74789.136	897469.632
MDSBC		80.05	2401.5	28818
Total		2572	77340	928080

Fuente: *Elaboración propia*

4.8.2 Cálculo de aerogeneradores por ENAIR

Para saber el número de aerogeneradores necesitamos conocer la cantidad de energía producida por día, mes y año según la Tabla 39, así como, las características del aerogenerador que se instalarán según la figura 51.

Tabla 39: *energía total MDSBC*

kWh/día	kWh/mes	kWh /año
2572	77340	928080

Fuente: *Elaboración propia*



Figura 52: Características del aerogenerador E200

Fuente: https://www.enair.es/descargas/Ficha_Técnica/Ficha_Tecnica_E200_es.pdf.
elaboración por Enair

Según los resultados de la simulación eléctrica por el aerogenerador ENAIR 200 ubicado en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, la energía diaria disponible es de 14.79 kWh/día, lo que significa que cada molino tiene un multiplicador que llegaría a duplicar la energía estimada a un 29.58 kWh/día; para calcular el número de aerogeneradores necesarios en la implementación de un sistema híbrido se debe tener en cuenta el suministro energético.

Teniendo en cuenta que el consumo de energía diaria por parte de la población de Santa Bárbara de Carhuacayán es de 2572 kWh/día, que se especifica en la tabla 39, para la implementación de un sistema híbrido se divide entre dos. Esto significa que la mitad estará destinada para los aerogeneradores y la otra para los paneles fotovoltaicos. Por lo tanto, el aerogenerador asumirá el consumo energético de 1286 kWh/día:

$$ET = \text{ENERGÍA POR UN AEROGENERADOR} * \text{N}^\circ \text{ AEROGENERADORES}$$

$$ET = 29.58 \frac{kWh}{día} * 44$$

$$ET = 1301.52 \text{ kWh/día}$$

Donde:

ET= energía total

4.8.3 Cálculo con datos obtenidos con aerómetro

Si consultamos la hoja técnica del aerogenerador ENAIR 200, podemos conocer la potencia necesaria para que las aspas puedan girar a una velocidad específica del viento. Para ello se hizo un cálculo de energía cada 10 min. siendo proyectado para 1 hora. Ver tabla 40.

Tabla 40: Acumulación de energía en 1 hora y 10 min

Velocidad (m/s)	w/1H	w/10m
1.9	0	0
2	10.00	1.67
3	40.00	6.67
4	245.01	40.83
5	449.98	75.00
6	925.17	154.19
7	1400.11	233.35
8	2100.58	350.10
9	2795.95	465.99
10	3389.28	564.88
11	3981.16	663.53
12	4162.73	693.79
13	4282.62	713.77
14	0	0
15	0	0

Fuente: *Elaboración propia*

Donde:

W/1H: Cuánto de energía acumula en una hora

W/10m: Cuánto de energía acumula en 10 minutos

En otras palabras, cuando las velocidades del viento son inferiores a 1.9 m/s, las aspas permanecen inmóviles y no se produce acumulación de energía; mientras que, cuando la velocidad del viento es igual o superior a 14 m/s, el sistema activa los frenos de carga en la batería para evitar una sobrecarga. Ver tabla 41.

Tabla 41: Datos del anemómetro de velocidad vs w/10m

Velocidad (m/s)	w/10m
1.9	0
2	1.67
3	6.67
4	40.83
5	75.00
6	154.19
7	233.35
8	350.10
9	465.99
10	564.88
11	663.53
12	693.79
13	713.77
14	0
15	0

Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 52, se presenta el análisis de regresión lineal de la energía basado en los datos recopilados por el anemómetro manual cada 10 min.

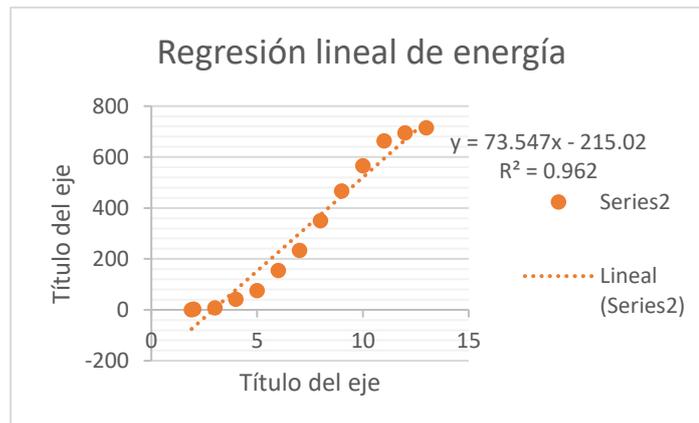


Figura 53: *Regresión lineal de energía*

Fuente: *elaboración propia*

Por lo tanto, se determina la energía acumulada en función de la velocidad del viento m/s, utilizando los datos de velocidad del viento recopilados en la provincia de Yauli, distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán durante el mes de noviembre en un periodo de 10 min., los cuales se detallan minuciosamente en las tablas 42 y 43.

Tabla 42: Velocidad del viento medidas por el anemómetro del día 1 al día 15 de noviembre

Anemómetro – velocidad del viento (m/s)																
Días del mes de noviembre - 2022																
HOR A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
11:00	1.60	4.70	8.60	6.70	4.20	6.10	5.90	4.90	6.80	8.30	3.90	6.70	4.60	6.00	5.90	
Enero (W)	-	130.65	417.48	277.74	93.88	233.62	218.91	145.36	285.10	395.42	71.81	277.74	123.30	226.26	218.91	
11:10	3.20	5.90	7.40	4.10	6.80	5.20	7.50	3.30	5.00	7.60	4.30	8.90	7.50	6.70	6.80	
Enero (W)	20.3 3	218.91	329.23	86.52	285.10	167.42	336.58	27.69	152.72	343.94	101.23	439.55	336.58	277.74	285.10	
11:20	1.90	5.30	6.10	7.90	4.00	3.60	7.80	3.60	4.40	6.00	4.10	9.50	3.20	6.30	8.50	
Enero (W)	-	174.78	233.62	366.00	79.17	49.75	358.65	49.75	108.59	226.26	86.52	483.68	20.33	248.33	410.13	
11:30	3.70	4.60	5.30	9.20	4.30	2.40	6.50	4.90	6.70	5.90	3.30	10.50	6.50	8.10	7.40	
Enero (W)	57.1 0	123.30	174.78	461.61	101.23	3.57	263.04	145.36	277.74	218.91	27.69	557.22	263.04	380.71	329.23	
11:40	4.80	7.30	6.40	10.50	7.70	5.20	5.80	6.00	5.50	6.90	2.60	12.10	5.10	10.00	7.50	
Enero (W)	138. 01	321.87	255.68	557.22	351.29	167.42	211.55	226.26	189.49	292.45	3.57	674.90	160.07	520.45	336.58	
11:50	3.20	6.80	7.50	6.30	8.40	4.90	7.20	4.80	6.90	5.30	4.90	11.30	7.20	9.30	5.90	
Enero (W)	20.3 3	285.10	336.58	248.33	402.77	145.36	314.52	138.01	292.45	174.78	145.36	616.06	314.52	468.97	218.91	
12:00	5.10	7.40	5.80	9.30	6.20	3.50	8.50	4.40	7.30	6.50	4.20	8.00	6.20	10.40	4.50	

Enero (W)	160. 07	329.23	211.55	468.97	240.97	42.39	410.13	108.59	321.87	263.04	93.88	373.36	240.97	549.87	115.94
12:10	5.80	5.30	7.70	12.80	8.30	6.40	6.30	7.60	6.80	5.50	7.30	8.90	5.00	8.50	9.40
Enero (W)	211. 55	174.78	351.29	726.38	395.42	255.68	248.33	343.94	285.10	189.49	321.87	439.55	152.72	410.13	476.32
12:20	5.20	6.10	5.80	11.40	8.60	5.60	7.30	8.20	9.50	7.20	8.40	7.50	5.90	8.10	8.90
Enero (W)	167. 42	233.62	211.55	623.42	417.48	196.84	321.87	388.07	483.68	314.52	402.77	336.58	218.91	380.71	439.55
12:30	4.90	5.30	7.20	7.50	5.80	3.80	9.30	6.20	10.60	8.30	6.60	4.60	6.10	6.80	9.00
Enero (W)	145. 36	174.78	314.52	336.58	211.55	64.46	468.97	240.97	564.58	395.42	270.39	123.30	233.62	285.10	446.90
12:40	3.80	7.50	5.10	8.70	6.90	5.40	11.80	9.30	12.40	5.20	7.40	7.30	7.90	6.50	11.10
Enero (W)	64.4 6	336.58	160.07	424.84	292.45	182.13	652.83	468.97	696.96	167.42	329.23	321.87	366.00	263.04	601.35
12:50	4.10	6.70	7.20	5.70	4.30	8.30	10.50	11.90	8.90	4.30	7.00	9.40	6.60	9.50	10.50
Enero (W)	86.5 2	277.74	314.52	204.20	101.23	395.42	557.22	660.19	439.55	101.23	299.81	476.32	270.39	483.68	557.22
13:00	3.40	8.30	6.70	7.40	4.90	9.40	12.80	9.60	7.30	7.10	9.90	8.10	9.30	7.40	10.70
Enero (W)	35.0 4	395.42	277.74	329.23	145.36	476.32	726.38	491.03	321.87	307.16	513.10	380.71	468.97	329.23	571.93
13:10	2.50	5.10	13.00	5.80	6.60	10.50	11.70	8.80	9.50	5.80	7.30	8.40	8.70	6.80	9.70

Enero (W)	4.51	160.07	741.09	211.55	270.39	557.22	645.48	432.19	483.68	211.55	321.87	402.77	424.84	285.10	498.39
13:20	1.50	6.90	8.10	6.70	6.10	7.00	8.60	7.50	15.50	9.80	8.10	7.60	9.20	5.20	8.40
Enero (W)	-	292.45	380.71	277.74	233.62	299.81	417.48	336.58	924.96	505.74	380.71	343.94	461.61	167.42	402.77
13:30	1.20	7.50	10.00	8.30	7.60	9.70	7.80	5.90	8.80	10.70	9.20	10.10	10.00	6.80	9.60
Enero (W)	-	336.58	520.45	395.42	343.94	498.39	358.65	218.91	432.19	571.93	461.61	527.80	520.45	285.10	491.03
14:10	2.50	6.40	11.40	8.90	8.80	8.60	6.90	6.30	9.50	12.40	8.60	7.60	12.80	10.60	9.20
Enero (W)	4.51	255.68	623.42	439.55	432.19	417.48	292.45	248.33	483.68	696.96	417.48	343.94	726.38	564.58	461.61
15:10	3.70	7.90	12.70	10.70	9.60	8.00	7.00	8.70	11.30	13.90	9.70	9.50	12.50	7.20	8.30
Enero (W)	57.1 0	366.00	719.03	571.93	491.03	373.36	299.81	424.84	616.06	807.28	498.39	483.68	704.32	314.52	395.42
15:20	5.50	8.60	13.20	12.80	8.80	9.40	8.50	10.90	12.50	11.60	11.10	11.20	13.70	7.80	9.40
Enero (W)	189. 49	417.48	755.80	726.38	432.19	476.32	410.13	586.64	704.32	638.13	601.35	608.71	792.57	358.65	476.32
16:00	5.10	6.10	10.40	14.30	8.30	12.80	9.90	9.60	9.80	8.60	13.30	8.60	9.50	6.00	8.10
Enero (W)	160. 07	233.62	549.87	836.70	395.42	726.38	513.10	491.03	505.74	417.48	763.16	417.48	483.68	226.26	380.71
16:40	4.00	9.30	6.90	11.70	9.90	13.70	11.40	11.70	8.80	9.10	10.90	7.00	11.40	7.30	8.10
Enero (W)	79.1 7	468.97	292.45	645.48	513.10	792.57	623.42	645.48	432.19	454.26	586.64	299.81	623.42	321.87	380.71
16:50	1.90	7.40	7.90	9.70	8.00	12.50	9.60	12.80	9.40	7.50	12.90	7.20	10.80	9.00	5.30

Enero (W)	-	329.23	366.00	498.39	373.36	704.32	491.03	726.38	476.32	336.58	733.74	314.52	579.29	446.90	174.78
15:00	1.80	7.70	8.70	8.80	7.50	10.60	9.70	14.90	7.30	8.40	11.70	9.40	11.50	8.10	18.50
Enero (W)	-	351.29	424.84	432.19	336.58	564.58	498.39	880.83	321.87	402.77	645.48	476.32	630.77	380.71	1,145.60
15:10	4.50	8.50	6.90	5.90	5.30	8.50	8.60	13.40	5.20	6.80	9.50	12.30	9.60	7.50	8.30
Enero (W)	115.94	410.13	292.45	218.91	174.78	410.13	417.48	770.51	167.42	285.10	483.68	689.61	491.03	336.58	395.42
17:20	7.70	6.30	4.20	8.10	6.90	13.50	7.40	12.20	8.40	9.40	7.10	13.20	8.30	5.50	7.50
Enero (W)	351.29	248.33	93.88	380.71	292.45	777.86	329.23	682.25	402.77	476.32	307.16	755.80	395.42	189.49	336.58
17:30	9.40	9.60	3.00	7.80	6.00	9.40	6.00	10.70	5.60	9.30	8.20	10.60	7.40	6.80	6.30
Enero (W)	476.32	491.03	6.67	358.65	226.26	476.32	226.26	571.93	196.84	468.97	388.07	564.58	329.23	285.10	248.33
17:40	8.90	10.90	3.70	5.00	4.20	10.80	5.90	9.70	7.30	8.40	7.50	11.50	7.90	5.20	7.90
Enero (W)	439.55	586.64	57.10	152.72	93.88	579.29	218.91	498.39	321.87	402.77	336.58	630.77	366.00	167.42	366.00
17:50	7.20	10.60	2.60	4.90	6.70	11.50	3.70	12.60	8.90	6.90	8.70	13.20	6.40	4.40	7.30
Enero (W)	314.52	564.58	5.12	145.36	277.74	630.77	57.10	711.67	439.55	292.45	424.84	755.80	255.68	108.59	321.87
18:00	6.80	8.20	4.30	5.80	7.90	9.60	4.50	13.30	9.40	5.00	8.50	14.90	7.20	5.70	6.20

Enero (W)	285. 10	388.07	101.23	211.55	366.00	491.03	115.94	763.16	476.32	152.72	410.13	880.83	314.52	204.20	240.97
Suma toria	3,58 3.77	9,076.9 1	9,518.7 4	11,614. 28	8,370.8 5	11,156. 23	11,003. 84	12,423. 29	11,805. 50	10,511. 07	10,428. 12	13,997. 20	11,268. 61	9,466.7 0	11,724. 60

Fuente: *Elaboración propia*

Menor energía acumulada = 3.583 KW (Día 1)

Mayor energía acumulada= 13.997 KW (Día 12)

Tabla 43: Velocidad del viento medidas por el anemómetro del día 16 al 30 de noviembre

Anemómetro – velocidad del viento (m/s)															
Días del mes de noviembre - 2022															
HORA	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11:00	6.80	5.40	6.20	5.20	6.50	4.30	6.10	5.50	5.10	6.90	7.90	5.90	6.10	4.80	6.20
Ener(W)	285.10	182.13	240.97	167.42	263.04	101.23	233.62	189.49	160.07	292.45	366.00	218.91	233.62	138.01	240.97
11:15	4.30	4.70	8.30	3.60	4.60	6.20	4.90	5.10	3.70	5.70	6.30	6.40	5.70	6.70	8.20
Ener(W)	101.23	130.65	395.42	49.75	123.30	240.97	145.36	160.07	57.10	204.20	248.33	255.68	204.20	277.74	388.07
11:30	8.20	7.90	9.60	7.40	5.20	8.30	5.00	3.60	6.20	6.00	8.10	6.50	9.80	7.30	6.40
Ener(W)	388.07	366.00	491.03	329.23	167.42	395.42	152.72	49.75	240.97	226.26	380.71	263.04	505.74	321.87	255.68
11:45	6.50	9.40	13.10	6.50	3.80	4.70	6.20	4.80	5.70	7.10	7.60	8.50	5.10	8.90	4.10
Ener(W)	263.04	476.32	748.45	263.04	64.46	130.65	240.97	138.01	204.20	307.16	343.94	410.13	160.07	439.55	86.52
12:00	7.10	9.20	10.20	7.30	3.20	5.50	5.90	2.30	2.20	4.30	7.20	6.90	7.40	6.20	3.50
Ener(W)	307.16	461.61	535.16	321.87	20.33	189.49	218.91	4.12	3.87	101.23	314.52	292.45	329.23	240.97	42.39
12:15	10.20	10.60	11.50	10.70	6.90	6.00	5.10	2.50	4.70	6.30	4.60	6.20	9.80	5.30	2.30
Ener(W)	535.16	564.58	630.77	571.93	292.45	226.26	160.07	5.15	130.65	248.33	123.30	240.97	505.74	174.78	1.70
12:30	7.30	10.50	9.30	8.60	17.80	4.10	5.60	4.90	3.80	5.70	8.60	6.40	8.10	6.10	3.40
Ener(W)	321.87	557.22	468.97	417.48	1,094.12	86.52	196.84	145.36	64.46	204.20	417.48	255.68	380.71	233.62	35.04
12:45	6.40	7.70	7.20	9.80	8.40	5.30	6.00	9.80	4.30	6.90	7.30	4.20	7.80	8.30	5.60
Ener(W)	255.68	351.29	314.52	505.74	402.77	174.78	226.26	505.74	101.23	292.45	321.87	93.88	358.65	395.42	196.84
13:00	9.90	11.10	8.10	7.40	3.10	3.50	3.80	15.50	5.70	4.80	8.90	7.30	9.50	10.30	4.30
Ener(W)	513.10	601.35	380.71	329.23	12.98	42.39	64.46	924.96	204.20	138.01	439.55	321.87	483.68	542.51	101.23
13:15	8.30	12.90	9.90	5.70	2.60	7.90	8.50	13.60	9.80	8.20	10.20	8.70	12.50	11.60	7.50
Ener(W)	395.42	733.74	513.10	204.20	4.81	366.00	410.13	785.22	505.74	388.07	535.16	424.84	704.32	638.13	336.58
13:30	7.50	8.40	8.70	8.60	4.10	10.00	10.60	9.80	11.80	10.10	7.80	8.00	13.60	10.90	5.30
Ener(W)	336.58	402.77	424.84	417.48	86.52	520.45	564.58	505.74	652.83	527.80	358.65	373.36	785.22	586.64	174.78
13:45	5.30	6.90	8.00	9.20	5.80	6.20	4.80	10.40	9.60	9.40	4.40	7.60	11.70	9.50	6.00
Ener(W)	174.78	292.45	373.36	461.61	211.55	240.97	138.01	549.87	491.03	476.32	108.59	343.94	645.48	483.68	226.26
14:00	6.40	8.80	10.40	7.30	9.10	7.30	6.80	4.80	9.00	10.00	10.20	9.30	14.20	6.80	4.90
Ener(W)	255.68	432.19	549.87	321.87	454.26	321.87	285.10	138.01	446.90	520.45	535.16	468.97	-	285.10	145.36
14:15	7.50	8.90	7.30	10.50	7.40	8.10	8.00	5.10	7.30	9.70	9.30	8.70	12.40	8.40	4.30
Ener(W)	336.58	439.55	321.87	557.22	329.23	380.71	373.36	160.07	321.87	498.39	468.97	424.84	696.96	402.77	101.23
14:30	10.60	4.70	5.70	8.60	6.00	6.50	3.70	4.80	10.00	10.60	9.60	9.80	9.30	10.20	5.40
Ener(W)	564.58	130.65	204.20	417.48	226.26	263.04	57.10	138.01	520.45	564.58	491.03	505.74	468.97	535.16	182.13
14:45	11.10	7.50	8.50	6.70	8.70	5.30	4.50	7.60	8.10	9.00	9.70	6.30	7.50	9.60	4.90
Ener(W)	601.35	336.58	410.13	277.74	424.84	174.78	115.94	343.94	380.71	446.90	498.39	248.33	336.58	491.03	145.36
15:00	10.90	9.40	7.90	6.00	5.30	6.20	3.80	7.80	8.40	9.30	5.80	7.30	11.70	8.70	8.70
Ener(W)	586.64	476.32	366.00	226.26	174.78	240.97	64.46	358.65	402.77	468.97	211.55	321.87	645.48	424.84	424.84
15:15	9.90	7.40	8.90	6.80	7.10	5.10	5.50	8.30	7.30	7.50	7.70	8.90	12.80	10.50	5.90
Ener(W)	513.10	329.23	439.55	285.10	307.16	160.07	189.49	395.42	321.87	336.58	351.29	439.55	726.38	557.22	218.91
15:30	10.80	9.20	9.80	11.10	4.20	6.10	10.80	8.90	10.20	7.10	9.70	9.20	10.70	11.40	6.80
Ener(W)	579.29	461.61	505.74	601.35	93.88	233.62	579.29	439.55	535.16	307.16	498.39	461.61	571.93	623.42	285.10
15:45	8.50	8.40	10.10	9.30	8.30	7.20	11.50	9.30	11.20	6.80	8.10	10.40	10.50	10.60	7.70
Ener(W)	410.13	402.77	527.80	468.97	395.42	314.52	630.77	468.97	608.71	285.10	380.71	549.87	557.22	564.58	351.29
16:00	12.00	7.20	10.30	9.10	7.90	8.30	11.90	10.60	11.60	4.30	9.00	7.80	7.00	9.50	6.10
Ener(W)	667.54	314.52	542.51	454.26	366.00	395.42	660.19	564.58	638.13	101.23	446.90	358.65	299.81	483.68	233.62
16:15	10.30	9.30	12.50	7.30	6.30	7.40	13.00	12.70	7.70	2.60	4.10	11.70	8.50	6.80	4.80
Ener(W)	542.51	468.97	704.32	321.87	248.33	329.23	741.09	719.03	351.29	4.58	86.52	645.48	410.13	285.10	138.01
16:30	10.40	6.30	11.10	8.10	4.20	10.20	12.60	7.90	6.00	4.90	5.20	9.70	7.40	7.70	2.90
Ener(W)	549.87	248.33	601.35	380.71	93.88	535.16	711.67	366.00	226.26	145.36	167.42	498.39	329.23	351.29	6.10
16:45	9.40	7.80	8.50	7.50	5.10	11.90	12.90	19.90	6.30	6.00	5.50	6.50	8.30	8.30	4.20
Ener(W)	476.32	358.65	410.13	336.58	160.07	660.19	733.74	-	248.33	226.26	189.49	263.04	395.42	395.42	93.88
17:00	8.10	7.30	7.40	8.20	6.00	13.80	13.60	9.00	10.10	7.10	10.00	4.40	9.20	5.80	3.80
Ener(W)	380.71	321.87	329.23	388.07	226.26	799.93	785.22	446.90	527.80	307.16	520.45	108.59	461.61	211.55	64.46
17:15	9.40	7.50	6.10	6.40	4.50	12.80	14.00	6.90	6.50	10.20	11.30	6.10	6.30	6.20	1.90
Ener(W)	476.32	336.58	233.62	255.68	115.94	726.38	814.64	292.45	263.04	535.16	616.06	233.62	248.33	240.97	-
17:30	5.30	6.90	6.20	7.70	3.10	8.40	14.20	6.40	7.50	12.50	11.80	5.70	5.60	10.00	4.60
Ener(W)	174.78	292.45	240.97	351.29	12.98	402.77	829.35	255.68	336.58	704.32	652.83	204.20	196.84	520.45	123.30
17:45	6.90	8.40	5.70	6.50	2.60	10.30	16.30	6.50	7.20	12.70	12.10	8.50	6.70	11.70	3.90
Ener(W)	292.45	402.77	204.20	263.04	5.12	542.51	983.80	263.04	314.52	719.03	674.90	410.13	277.74	645.48	71.81
18:00	4.80	9.10	5.90	6.90	2.80	9.70	12.10	5.30	6.40	10.00	6.80	6.90	7.50	12.60	5.80
Ener(W)	138.01	454.26	218.91	292.45	4.87	498.39	674.90	174.78	255.68	520.45	285.10	292.45	336.58	711.67	211.55
Sumatoria	11,423.05	11,327.44	12,327.68	10,238.95	6,383.02	9,694.70	11,982.01	9,488.53	9,516.44	10,098.17	11,033.26	9,930.05	12,255.87	12,202.65	4,883.02

Fuente: *Elaboración propia*

Por lo tanto, si consideramos que el aerogenerador:

Para un periodo de 24 horas, la energía máxima alcanza aproximadamente 48 kW-día, calculada de la siguiente manera, $13.997 \times 24/7 = 47.99$ kWh-día. Esta cantidad se refiere a la energía máxima disponible. Sin embargo, la demanda energética en la provincia de Yauli distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán asciende a 2572 kW-día, detallada en la tabla 39, asimismo se sabe que ya no existen aerogeneradores de 48kw-día, el más aproximado es de 50 kw.

Es decir que, el número de aerogeneradores requeridos sería igual a $= 2572/50 = 51.44$, haciendo un total de 52 aerogeneradores.

4.8.4 Cálculo del sistema fotovoltaico

Para determinar la cantidad de paneles solares requeridos, es necesario tener en cuenta las especificaciones del panel solar tal y como se ilustra en la figura 53. Posteriormente, se realiza el cálculo de la cantidad necesaria de paneles solares para el sistema híbrido.

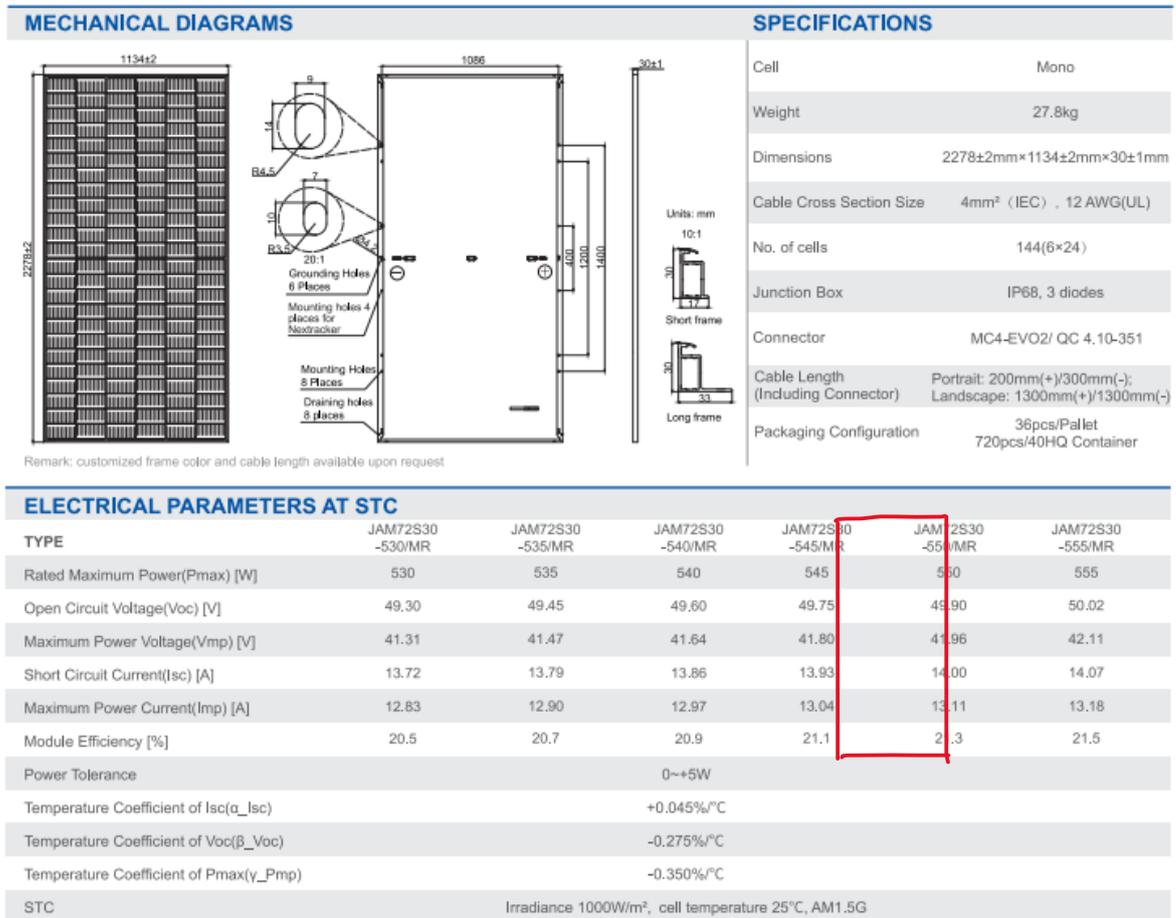


Figura 54: Características del panel solar 545W

Fuente: <https://cdn.autosolar.pe/pdf/datasheet-jasolar-545w.pdf>

Para calcular el número de paneles solares, se considera la mitad de la energía necesaria para la provincia de Yauli, distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán. Por lo tanto, se utilizará la otra mitad de la energía, es decir, 1286 kWh para completar el sistema híbrido.

Hallando la energía generada:

$$E_{gen} = \frac{E_{carga_total}}{n_T}$$

$$E_{gen} = \frac{128600W}{0.796}$$

$$E_{gen} = 161934.6734 \text{ Wh/día}$$

Donde:

Energía de carga total: $2572/2 = 1286 \text{ kW}$ es igual a $128600W$

Hallando (n_T):

n_T : coeficiente que determina la eficiencia del sistema fotovoltaico

$$n_T = n_B * n_C * n_R * n_X$$

Donde:

n_B = Eficiencia de la batería (96 %)

n_C = Eficiencia del inversor (91 %)

n_R = Eficiencia del regulador (96 %)

n_X = Eficiencia por otras pérdidas (95 %)

$$n_T = 0.96 * 0.91 * 0.96 * 0.95$$

$$n_T = 0.796$$

Hallando la energía extra:

La energía extra es aquella que está contemplada por los días nublados.

$$E_{extra} = \lambda_{extra} * E_{gen}$$

Donde:

$$\lambda_{extra} = 0.2 = 20 \%$$

$$E_{extra} = 0.2 * 161934.6734$$

$$E_{extra} = 32386.9346 \text{ Wh/día}$$

Hallando la Energía total:

La energía total requerida por un sistema fotovoltaico.

$$E_{gen_total} = \gamma * (E_{gen} + E_{extra})$$

Donde:

γ = Factor de seguridad (11 %)

E_{gen} = Energía generada

E_{extra} = Energía extra

$$E_{gen_total} = 1.1 * (161934.6734 + 32386.9346)$$

$$E_{gen_total} = 213753.7688 \text{ Wh/día}$$

Hallando la energía diaria:

Se determina la energía diaria proporcionada por un panel solar

$$E_{panel} = W_{P(T)} * HSP * \left(\frac{V_{np}}{V_p}\right)$$

Donde:

$W_{P(T)}$ = Potencia pico del panel

HSP = Horas sol pico

V_{np} = Tensión nominal del panel

V_p = Tensión pico

$$E_{panel} = 545 * 5.78 * \frac{12}{24}$$

$$E_{panel} = 1575.05 \text{ wh/día}$$

Cálculo del número de paneles:

$$N_{TP} = \frac{E_{general_total}}{E_{panel}}$$

Donde:

N_{TP} = Número total de paneles

$$N_{TP} = \frac{213753.7688}{1575.05}$$

$$N_{TP} = 135.71 \text{ paneles}$$

$$N_{TP} = 136 \text{ paneles}$$

Hallando la cantidad de paneles en serie:

$$N_{ps} = \frac{V_{nom}}{V_{np}}$$

Donde:

V_{nom} = voltaje nominal

V_{np} = voltaje pico

N_{ps} = número de paneles en serie

$$N_{ps} \frac{24V}{12V} = 2$$

Hallando la cantidad de paneles en paralelo:

$$N_{pp} = \frac{N_{TP}}{N_{ps}}$$

$$N_{PP} = \frac{136}{2}$$

$$N_{PP} = 68$$

4.8.5 Cálculo del sistema fotovoltaico con medidas de solarímetro

Durante todas las mediciones realizadas en el mes de noviembre las cuales se llevaron a cabo desde las 11am hasta las 5pm, momento en que el sol se oculta con el objetivo de registrar tanto la máxima como la mínima cantidad de energía acumulada.

Tabla 44: Radiación solar medidas por el solarímetro del día 1 al día 15 de noviembre

HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11:00	467.8	598.9	752.5	485.7	745.9	345.7	865.3	589.1	456.4	297.5	745.6	234.9	867.9	494.5	589.5
11:15	349.9	678.1	896.2	345.8	692.1	497.8	696.3	387.7	297.6	463.2	579.2	389.8	797.3	667.3	698.3
11:30	134.6	456.9	745.4	384.2	569.6	624.7	414.9	423.5	312.3	567.2	657.9	578.5	497.3	598.4	498.6
11:45	286.5	783.5	497.9	680.8	973.2	769.5	688.3	689.9	560.5	568.3	457.2	834.9	387.6	896.9	690.8
12:00	678.4	378.4	938.1	639.4	793.7	825.9	783.4	565.3	759.8	356.8	345	752.8	122.9	486.1	875
12:15	582.1	320.7	437.5	678.6	1297	1040	893.5	486.2	936.4	753.1	394.8	387.9	145.9	598.4	587.9
12:30	245.8	573.5	628.6	860.4	1084	973.1	673.2	274.7	1286	642.8	245.9	567.3	198.8	693.5	648.2
12:45	187	489.1	763.8	996.2	793.8	689.3	137.4	589.3	1083	460.5	456	209.1	448.4	947.8	395.6
13:00	496.9	396.2	535.9	1249	726.4	803.5	479.1	873.2	792.8	556.8	357.3	498.2	834.9	1205	530.1
13:15	597.8	284.7	792.5	973.5	496.6	1189	794.7	974.3	753.2	614.3	245.1	789.4	588.1	1034	837.5
13:30	257.4	496.3	667.3	726.7	558.7	1072	507.8	671.5	496.6	754.9	865.5	567.7	498.3	937.3	423.7
13:45	134.1	308.1	674.7	873.4	937.3	689.4	208.3	893.4	670.2	952.6	352.4	436.9	959.1	863.5	256.8
14:00	598.5	328.2	586.3	626.5	689.2	407.7	402.5	783.1	927.4	1108	653.8	697.2	1030	732.2	124.9
14:15	795.7	685.5	384.6	497.2	402.4	589.3	893.4	1136	864.8	853.6	468.3	764.5	1168	597.5	197.3
14:30	869.5	796.3	412.5	693.4	253.8	579.3	983.9	1391	692.4	674.9	423.7	560.8	1295	287.7	603.4
14:45	875.6	382.9	167.3	286.7	397.3	680.2	580.2	973.5	793.1	676.5	385.9	673.2	839.9	683.8	492.6
15:00	1065	783.9	372.4	388.5	402.6	962.4	794.3	740.3	703.2	438.6	283.1	445.8	937.4	338.2	598.2
15:15	1208	975.3	693.5	724.3	503.5	1073	986.2	207.2	496.7	349.1	340.5	497.5	1068	293.8	286.9
15:30	935	680.3	477.2	593.5	308.8	693.2	793.9	407.3	207.4	205.4	206.6	223.8	893.5	489	186.3
15:45	635.9	497.8	422.5	363.2	139.9	397.2	497.3	396.2	286.8	107.4	106.5	345.4	473.3	347.9	468.3
16:00	386.9	299.3	357.2	418.3	208.6	203.3	365.2	491.4	269.5	164.3	268.3	245.8	284.7	135.8	286.1
16:15	114.9	175.8	196.6	370.4	296.5	287.9	356.8	367.9	159.3	195.6	152.7	198.4	193.4	297.6	118.7
16:30	198.5	107.6	96.7	258.5	163.8	198.5	257.9	148.2	128.6	87.7	197.4	106.7	83.2	128.9	106.2
16:45	175.8	95.7	63.8	93.6	106.5	134.9	127.8	56.3	95.3	58.2	136.6	83.9	94.6	120.4	137.8
17:00	36.8	87.5	45.4	23.8	97.8	130.6	83.7	24.7	19.4	15.9	73.7	34.8	45.8	117.9	74.8
Sumatoria	12314.4	11660.5	12606.4	14231.6	13639	15857.4	14265.3	14541.2	14048.7	11923.2	9399	11125.2	14753.3	13993.4	10713.5

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el menor valor acumulado el día 11:

Energía acumulada = 9399 W

Tabla 45: Radiación solar medidas por el solarímetro del día 16 al 30 de noviembre

HORA	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11:00	467.9	441.3	470.1	1225	1341	584.9	928.4	966.9	675	245.1	345.8	834.6	737.9	482.4	936.5
11:15	569.3	479.4	1338	821.2	1424	675.1	865.6	925.1	773.1	266.4	446.2	754	664.8	584.3	1035
11:30	796.6	543.3	955.1	473.3	1308	496.9	1034	733.4	1016	364.5	454.4	489.9	485.9	837.8	1285
11:45	788.5	1393	1070	553.3	975.8	286.4	1178	850.8	1241	294.3	523.5	246.7	975.7	784.5	864.8
12:00	559.7	465	1341	1335	841.5	178.9	865.2	155.6	1609	420.9	484.7	296.5	683.8	487.3	573.1
12:15	634.7	1585	1118	788.3	1351	274.8	523.8	1306	1532	355.7	367.8	128.9	739.4	384.5	594.8
12:30	640.3	1451	1211	796.6	401.9	158.9	398.4	1568	1635	525.3	389	649.3	973.5	846.4	238.7
12:45	577.4	365.6	1325	1158	398.1	257.4	515.1	1554	360.4	580.9	1698	235.9	1174	648.3	598.5
13:00	535.2	1511	1257	1345	252.7	285.8	285.5	1254	1606	475.5	446.7	465.6	1275	975.3	698.9
13:15	331.3	1654	1045	1222	378.3	696.7	141.1	541.1	670	422.8	1102	846.3	947.3	934.7	593.5
13:30	452.8	591.9	922.6	1118	596.4	583.8	114.7	1247	731.2	520.7	1037	1084	594.7	849.1	836.5
13:45	1177	1370	1064	1345	1064	1037	245.1	248.4	825.4	514.3	1031	1249	934.6	1046	1184
14:00	484.9	531.4	1288	1020	877.3	1408	134.8	270.1	931.3	380.1	1005	1594	1285	767.8	869.4
14:15	351.5	1397	825.2	1169	683.2	753.9	177.3	284.4	727.3	585.4	880.3	835.8	883.1	956.8	596.2
14:30	574.6	388.3	499.2	917	698.9	634.8	282.1	73.5	681.2	1597	502.6	375.3	597.8	896	397.9
14:45	775.2	1327	1114	1052	483.2	567.9	420.9	55.1	690.4	1343	543	623.9	392.7	576.9	186.9
15:00	390.8	1036	986.4	689.4	876.4	349.8	402.3	52	740.3	855.3	312.7	284.8	294.4	489.2	130.6
15:15	1030	192.7	530.7	1051	1325	985.3	553.7	34.5	1034	370.1	309.6	173.9	201.9	598.9	123.9
15:30	370.8	238.7	723.1	1055	1197	723.9	532.2	98.4	866.2	692.7	304.6	286.5	103.5	383.9	179
15:45	742.7	234.2	594.4	687.2	796.8	378.3	594.8	61.8	909	444.8	217.5	184.6	74.6	496.3	122.7
16:00	672.6	205.2	455.1	644.3	528.4	267.6	519.3	32.1	695.7	512.7	247.7	146.9	67.9	397.1	115.5
16:15	367.3	149.5	251.8	559.7	423.7	192.8	560	43.5	345.8	424.4	233.5	378.3	76.3	204.9	85.3
16:30	409.8	140.9	159.9	389.4	372.4	128.5	426.3	22.8	238.9	145.7	149.3	183.7	87.4	184.7	66.5
16:45	139.9	111.5	155.9	214.7	136.3	175.8	256.6	78.9	178.4	83.6	156.9	196.5	34.6	123.9	53.9
17:00	165.3	99.2	120.8	135.5	168.7	103.2	159.8	25.3	123.7	39.7	109.3	94.8	86.9	106.3	45.8
Sumatoria	14006.1	17902.1	20821.3	21764.9	18900	12186.4	12115	12482.7	20836.3	12460.9	13298.1	12639.7	14372.7	15043.3	12412.9

Fuente: Elaboración propia

La mayor cantidad de energía solar acumulada fue el día 24, alcanzando un valor de:

$$\text{Energía acumulada} = 20.836 \text{ kW} - \text{día}$$

No obstante, considerando que estamos empleando paneles de 545 W, para alcanzar esa suma de paneles en condiciones de clima veraniego es necesario dividir (20836/545), lo que resulta aproximadamente 39 paneles.

Pero en invierno la potencia máxima para un paquete de paneles y baterías llega a 2572Kw/25.83Kw = 99.57 paquetes (8 paneles).

Número de paneles en invierno= 800 paneles para todo el poblado.

4.8.6 Cálculo de regulador de carga

Los controladores de carga son componentes esenciales en un sistema híbrido ya que regulan la cantidad de energía proporcionada a las baterías. Por lo tanto, es crucial considerar las características que se presentan en la figura 54 al seleccionarlo. Ahora, procederemos a calcular la capacidad de un regulador.

Hallando la capacidad de un regulador

$$regulador = (\%seguridad) * (Npp) * (Icc)$$

Donde:

$$\% \text{ Seguridad (25)} = 1.25$$

$$\text{Número de paneles (Npp)} = 68$$

$$Icc = 13.93 \text{ A}$$

$$regulador = 1.25 * 68 * 13.93$$

$$regulador = 1184.05A$$

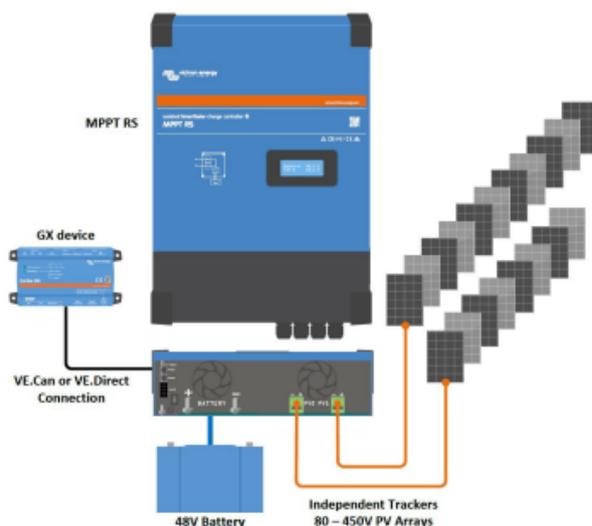


Diagrama de ejemplo de sistema

El MPPT RS de 100 A combinado con un dispositivo GX, cargando una batería de 48 V con dos cadenas FV solares separadas.

MPPT RS SmartSolar aislado	450 100	450 200
CARGADOR		
Tensión de la batería	48 V	
Corriente de carga nominal	100 A	200 A
Potencia de carga máxima	5,8 kW a 57,6 V	11,5 kW a 57,6 V
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 57,6 V (regulable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 55,2 V (regulable)	
Rango de tensión programable	Mínima: 36 V Máxima: 62 V	
Algoritmo de carga	Adaptativo multifase (regulable)	
Sensor de temperatura de la batería	Incluido	
Eficiencia máxima	96 %	
Autoconsumo	15 mA	
SOLAR		
Tensión FV CC máxima	450 V	
Tensión de arranque	120 V	
Rango de tensión de trabajo del MPPT	80 – 450 V ⁽¹⁾	
Número de rastreadores	2	4
Máxima corriente de entrada operativa FV	18 A por rastreador	
Máxima corriente de corto circuito FV ⁽²⁾	20 A por rastreador	
Tamaño máximo del conjunto FV por rastreador ⁽³⁾	7200 Wp (450 V x 20 A) ⁽⁴⁾	
Nivel de fallo del aislamiento FV ⁽⁴⁾	100 kΩ	
GENERAL		
Funcionamiento en paralelo sincronizado	Sí, hasta 25 unidades con VE.Can	
Relé programable ⁽⁵⁾	Sí	
Protección	Polaridad inversa FV Cortocircuito de salida	

Figura 55: Características del regulador de carga MPPT RS

Fuente: disponible en <https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-técnica-2008120.pdf>

Hallando la eficiencia del regulador de 100 A:

$$regulador_{100A} = (\% \text{ Seguridad}) * (Npp) * (Icc)$$

$$regulador_{100A} = 1.25 * 5 * 13.93$$

$$regulador_{100A} = 87.0625A$$

Por lo tanto, se necesitan 14 reguladores de 100 A de carga para cubrir la demanda energética para el sistema híbrido

4.8.7 Cálculo de inversores

Para determinar la cantidad de inversores requeridos, es esencial tener en cuenta las especificaciones detalladas en la figura 55. Así también, debemos tener en cuenta que estos inversores desempeñan una función vital en nuestro diseño híbrido al transformar corriente directa CD a corriente alterna AC.

Axpert MAX II Off-Grid Inverter Specification

MODEL	Axpert MAX II 6500
Rated Power	6500VA/6500W
Parallel Capability	YES, 6 units
INPUT	
Voltage	120 VAC
Selectable Voltage Range	90-140 VAC (For Computers) ; 80-140 VAC (For Home Appliances)
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
OUTPUT	
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	120VAC ± 5%
Surge Power	13000VA
Efficiency (Peak)	91%
Transfer Time	15 ms (For Personal Computers), 20 ms (For Home Appliances)
Waveform	Pure sine wave
No Load Power Consumption	< 75W
DC Voltage	12 VDC ± 5%, 100W
BATTERY	
Battery Voltage	48 VDC
Floating Charge Voltage	54 VDC
Overcharge Protection	66 VDC
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	
Solar Charger Type	MPPT
Maximum PV Array Power	8000W (4000W x 2)
MPPT Range @ Operating Voltage	90 ~ 230 VDC
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	250 VDC
Maximum Solar Charge Current	120A
Maximum AC Charge Current	120A
Maximum Charge Current	120A
PHYSICAL	
Dimension, D x W x H (mm)	158.4 x 503.6 x 530.8
Net Weight (kgs)	20
Communication Interface	USB/RS232/RS485/WIFI/Dry-contact
OPERATING ENVIRONMENT	
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)
Operating Temperature	-10°C to 50°C
Storage Temperature	-15°C to 60°C
STANDARD	

Figura 56: Características del Inversor Axpert MAXII 6500

Fuente: <https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-técnica-3004116.pdf>

Hallando la cantidad de inversores:

$$S_{inversor} = 1.25 * \frac{P \text{ carga}}{FP}$$

Donde:

$$S_{inversor} = 1.25 * \frac{8324.05}{0.8}$$

$$S_{inversor} = 13006.32813$$

Por lo tanto, se necesitan 3 inversores de 6500w 48V los cuales cubren la necesidad demandada por el proyecto.

4.8.8 Cálculo de baterías

Las baterías juegan un papel importante en el sistema híbrido ya que almacenan la energía producida por los paneles solares durante el día y que luego será enviada por la noche al abastecimiento de la municipalidad de Santa Bárbara de Carhuacayán.

Por lo tanto, se deben considerar las características de las baterías mencionadas en la figura 56.



	HVS 5.1	HVS 7.7	HVS 10.2	HVS 12.8
Módulo	HVS (2.56 kWh, 102.4 V, 38 kg)			
Número de módulos	2	3	4	5
Energía Utilizable [1]	5.12 kWh	7.68 kWh	10.24 kWh	12.8 kWh
Máx. Corriente de Salida [2]	25 A	25 A	25 A	25 A
Corriente de salida pico [2]	50 A, 5 s	50 A, 5 s	50 A, 5 s	50 A, 5 s
Voltaje Nominal	204 V	307 V	409 V	512 V
Voltaje Operativo	160–240 V	240–360 V	320–480 V	400–600 V
Dimensiones (H/W/D)	712x585x298 mm	945x585x298 mm	1178x585x298 mm	1411x585x298 mm
Peso	91 kg	129 kg	167 kg	205 kg

Figura 57: Características de las baterías de litio marca BYD B-Box HVS Premium 10.2 kWh:

Fuente: <https://www.tecsolenergy.pe/producto/batería-litio-byd-b-box-hvs-premium-10-2kwh-2/>

Hallando la cantidad de baterías:

$$Cb = \frac{Ecarga_total * días\ de\ autonomía}{Vnom * PDmax * nBD * Nin}$$

Donde:

Energía de carga total: sumatoria de todos los dispositivos

(Dout+1): días de autonomía (3+1) = 4 días

Vnom: tensión donde trabajará el banco de baterías

PDmax: eficiencia de la profundidad de descarga

nBD: eficiencia de convertir de energía química a energía eléctrica

ninv: eficiencia del inversor

$$Cb = \frac{2583000 \frac{W}{h} * 4}{409 * 0.96 * 0.9 * 0.85}$$

$$Cb = 34397.62213Ah$$

Cálculo baterías:

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{Vnom * Cnom_banco}{Vnom_bat * Cnom_batería}$$

Vnom: tensión nominal donde trabajará el banco de batería 409

Cnom_bancc: capacidad nominal del banco de baterías 34397.62213

Vnom_bat: tensión nominal de la batería a utilizar 320

Cnom_bateria: capacidad nominal de la batería 10240

$$N^{\circ} \text{ baterías} = \frac{409 * 34397.62213}{320 * 10240}$$

$$N^{\circ} \text{ baterías} = 5$$

4.8.9 Cálculo energético final y proyección final

4.8.10.1 Energía producida por aerogeneradores

Energía requerida= 1286 kW/día → Debido a que si calculamos $29.58 * 43 = 1271.94$ no llega hasta la energía requerida.

$$ET = 29.58 \frac{kWh}{día} * 44$$

$Energía \text{ Suministrada Aerogeneradores} = 1301.52 \text{ kWh/día}$
--

4.8.10.2 Energía producida por paneles solares

Energía requerida= $2572 - 1301.52 = 1270.48 \text{ kWh/día}$

$$E_{panel} = 1.575 \text{ kwh/día}$$

$$N_{TP} = 136 \text{ paneles}$$

$$Energía \text{ Total} = 1.575 \frac{kWh}{día} * 136 * 7 \text{ horas captación}$$

Energía suministrada por los paneles solares (Teórica) = 1499.464 kWh/día

Pero como sabemos existe pérdida por error de 15 %.

$$\text{Energía suministrada por los paneles solares (Real)} = 1499.464 * 0.85 = 1274.54 \text{ kWh/día}$$

Si sumamos ambas energías para sistema híbrido:

Energía total = Energía suministrada aerogeneradores + Energía suministrada por los paneles solares

$$\text{Energía total} = 2576.05 \text{ kWh/día} \approx 2572 \text{ kWh/día}$$

Si se reduce un solo aerogenerador o panel no llegaremos a cubrir la demanda.

4.8.10.3 Sistema solo de aerogeneradores por análisis de campo

Del dato de necesidad 2572 KW-día

Como no existen aerogeneradores de 48kw – día, entonces, el que se aproxima es de 50kw.

Energía de aerogenerador= 50kw

$$\text{Energía suministrada aerogeneradores} = 50\text{kw} * 52 \text{ aerogeneradores} = 2600 \text{ kWh/día}$$

4.8.10.4 Sistema solo de paneles solares por análisis de campo

Del dato de Necesidad 2572 KW-día

Como no existen aerogeneradores de 48kw – día, el que se aproxima se aproxima es de 50kw.

Energía paquete= 25.83 kW/día

$$\text{Energía suministrada paneles solares} = 25.83\text{kw} * 100 \text{ paquetes paneles solares} = 2583 \text{ kW/día}$$

4.8.10 Proyección final

Este trabajo consistió en diseñar y calcular un sistema híbrido eólico-solar en la zona de Santa Bárbara de Carhuacayán, llegando a la siguiente conclusión: se requiere 44 aerogeneradores de marca ENAIR200, 136 paneles solares de 545W 24V, 14 controladores de carga de 100 A, 5 baterías de 409V y 320Ah y 3 inversores de 6500 W 48V.

La figura 57 elaborada con AUTODESK REVIT, muestra el modelo de cómo se debería instalar los aerogeneradores y paneles solares, donde la energía producida por los aerogeneradores será de forma directa, mientras que la energía producida por los paneles solares será almacenada en las baterías y durante las noches abastecerá a dicha población.

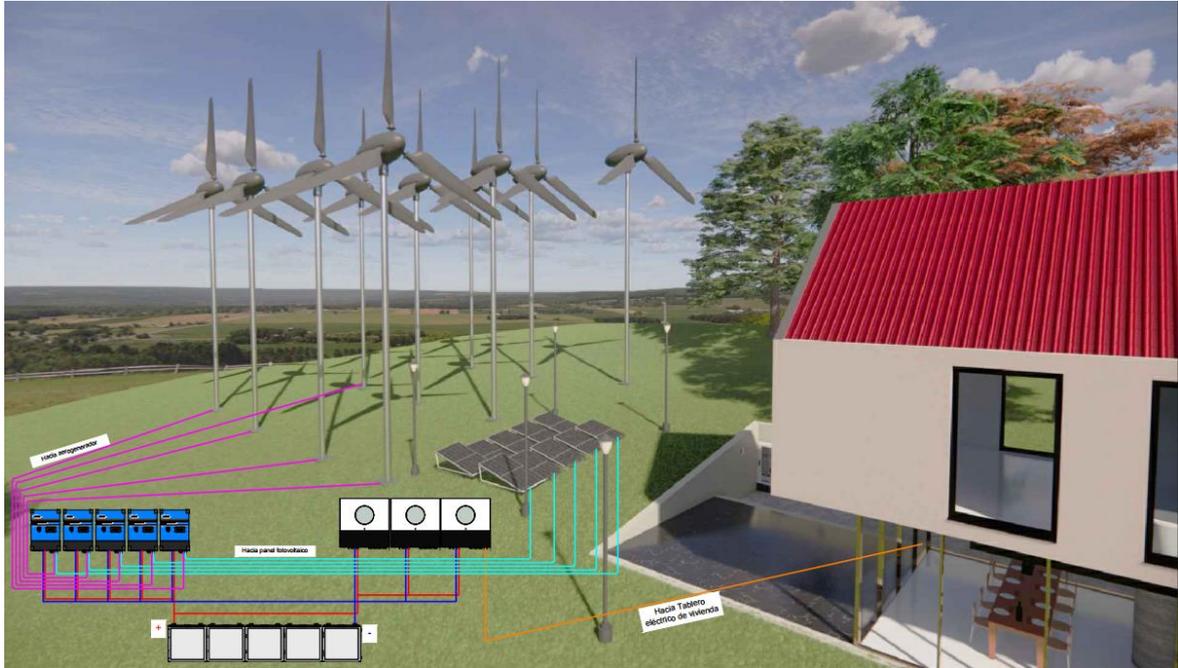


Figura 58: *Diseño de un Sistema Híbrido eólico-solar*

Fuente: *elaboración propia*



Figura 59: *Diseño de un Sistema Híbrido eólico-solar*

Fuente: *elaboración propia.*

4.8.11 Tabla comparativa entre los datos obtenidos de la aplicación y los datos recopilados en nuestra medición.

En la tabla 46, se presentan los resultados derivados de las aplicaciones del PVGIS Y ENAIR, así como de las mediciones manuales realizadas con el anemómetro y el solarímetro.

Tabla 46. Cuadro comparativo

Estaciones ENAIR Y PVGIS	Toma de datos con los instrumentos de medición (anemómetro y solarímetro)
44 aerogeneradores	51 aerogeneradores
136 módulos solares	100 paquetes de módulos solares, cada uno de 8 paneles fotovoltaicos.
Se usó el instrumento de recolección de datos <i>Weibull</i> y se calculó la energía acumulada.	Se interpolaron datos con regresión para calcular la cantidad de energía acumulada.
Toma en cuenta la temperatura en cada hora.	La toma de muestra se realizó cada 10 minutos.
Toma en cuenta la rosa de los vientos aproximada.	Se hizo la medición solo durante el mes de noviembre para evaluar los valores.
No tiene una lista de valores rechazados de muestras.	Se tiene un diagrama de toma de muestras y de rechazo para volver a tomarlas.
Se calibran los equipos regularmente.	Los instrumentos de medición se calibraron al iniciar la toma de muestras.

Fuente: *elaboración propia*

4.9 Discusión de resultados

En relación con el primer antecedente se decidió analizar los recursos energéticos solares y eólicos para el establecimiento de un parque híbrido en la provincia de Yauli; el autor Juan Vega y Santiago Ramirez estudiaron la teoría de las fuentes de energía renovables y no renovables Ramirez en 2019, quienes señalaron que la energía eólica proviene del movimiento de una masa de aire el cual se debe principalmente a diferencias de presión en diferentes zonas de la atmósfera (26). En este estudio, en los resultados obtenidos por el recurso eólico se observaron que existe una variación de viento durante el año 2000 - 2020 con un promedio de 2.7 m/s, asimismo se evaluó por la aplicación ENAIR en el que el resultado fue 3.0 m/s en noviembre; dichos datos fueron obtenidos por la NASA, mientras que la estimación manual obtuvo un promedio de 8.6 m/s con una probabilidad estadística del 39 % según *Weibull*.

Para implementar este parque híbrido se requiere de 44 aerogeneradores de MARCA ENAIR200 y en cuanto al factor de demanda y toma de muestra en el mes de noviembre se proyectó 52 aerogeneradores de marca ENAIR200 de 50KW de potencia.

En relación al trabajo presentado por Mendoza en 2018, evaluaron la velocidad del viento en la estación meteorológica de la empresa minera el BROCAL S.A. y se obtuvo una velocidad de viento promedio de 8.14 m/s y el parque eólico requiere de 113 aerogeneradores de modelo BLACK 300 para abastecer el 100 % de la población (1).

Los antecedentes y sus compatibilidades con este estudio evidencia una similitud en la velocidad del viento debido a que la estación meteorológica se encuentra en la minera BROCAL S.A. aproximadamente a 91 km del área a evaluar, asimismo según el atlas eólico del Perú, el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán tiene una velocidad media de 2 m/s a 3 m/s, por lo tanto, cabe resaltar que las mediciones están tomadas de la estación meteorológica de Jauja a 168 km del área a evaluar por ende, la obtención de los datos representativos in situ mejora implementación y diseño de un parque híbrido, mientras que nuestra toma de muestras con anemómetro y su recolección presenta un modelo de regresión lineal como un punto máximo de necesidad en el punto más alto de 45.2 KW y como sabemos en el mercado actual no extienden aerogeneradores de esa potencia pero se aproximan a 50 kW, recordando que dicha población tiene mayor demanda por tener como sustento la actividad minera y requieren de un equipo y estilo de vida de mayor consumo.

El propósito de este trabajo fue evaluar el recurso solar fotovoltaico y eólico para la instalación de un parque híbrido en la provincia de Yauli, basándose en el estudio teórico de las fuentes de energías renovables y no renovables realizado presentado por Juan Vega y Santiago Ramírez en el 2019, donde se explica que la energía eólica se origina por el movimiento de masa de aire y que se debe principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de la atmósfera y que el sol está formado por helio y gases de hidrógeno a altas temperaturas las cuales liberan energía a la superficie visible del sol, siendo aprovechada por los seres vivos (26).

Los resultados obtenidos en la presente investigación mostraron una variación de viento durante los años 2000 - 2020 con promedio de 2.7 m/s, así como una evaluación por la aplicación ENAIR que mostró un promedio de 3.0 m/s para el mes de noviembre; estos datos fueron obtenidos de la NASA. Por otro lado, la evaluación manual dio un promedio de 8.6 m/s con una probabilidad estadística según *Weibull* de 39 %, de igual forma, se evaluó la radiación solar durante los años 2000-2020 obteniendo un promedio de 7592 W/m², así como una evaluación por la aplicación PVGIS que dio un promedio de 256.311 W/m² para el mes de noviembre; estos datos fueron obtenidos de la NASA, asimismo, la evaluación manual generó un promedio de 680.25W/m² con una probabilidad estadística según *Weibull*

de 17 %, por lo tanto, se propuso un diseño híbrido eólico - solar conformado por 44 aerogeneradores de marca ENAIR200, 136 paneles fotovoltaicos de 545W 24V, 14 controladores de carga de 100 A, 5 baterías de 409V y 320Ah y 3 inversores de 6500 W 48V para abastecer la demanda de energía eléctrica, mientras que las tomas de muestras con nuestro solarímetro nos proyecta una acumulación máxima de 20.83 KW en el mes de noviembre la cual es mucho menor obtenida por 51 aerogeneradores de marca ENAIR200 50 KW de potencia.

En los resultados de la siguiente investigación, existen diferencias obtenidas por Saucedo en el 2018, quienes evaluaron la velocidad del viento en una estación meteorológica viento y la radiación solar con el solarímetro durante dos meses, teniendo como resultado una velocidad de viento promedio de 4.86 m/s y una radiación media de 3.48 kWh/m². Para la implementación de un parque híbrido se requiere de 1 aerogenerador de modelo ENAIR 70 PRO de 5kW, 36 paneles fotovoltaicos SIMAX 190Wp, 12 baterías Rolls de 503Ah, 1 inversor de VICTRON ENERGY de 5kW abasteciendo al caserío Membrillar (12). Pese a la existencia de diferencias en dicha investigación se ha encontrado similitud en cuanto a la implementación de un diseño híbrido ya que es una tecnología eficiente para distritos con bajo potencial eólico y solar beneficiando a miles de pobladores, mientras que en nuestro muestreo no se basa en promedios simples sino en cálculos con regresión para relacionar puntos reales entre puntos mínimos o máximos.

CONCLUSIONES

1. El análisis de la implementación de un parque híbrido eólico - solar en la provincia de Yauli, región Junín solucionará el déficit energético.
2. Se evaluó tanto con aplicaciones de centrales meteorológicas como en datos en campo el recurso fotovoltaico en la provincia de Yauli, región Junín.
3. De acuerdo con los datos de toma de muestra por el anemómetro la cantidad de aerogeneradores para toda la población debe ser de aproximadamente 52 por regresión lineal de datos de 50 KW-día, mientras que por la metodología obtenida de ENAIR se necesitarán 44 aerogeneradores de la misma potencia.
4. Se verifica que la cantidad de valores obtenidos por los datos obtenidos en el solarímetro se pueden acumular aproximadamente en 100 paquetes de paneles solares de 545 W de potencia, teniendo en cuenta que el horario es únicamente de 11am a 5pm.
5. Existen variaciones en la cantidad de equipos por clima, es decir que el parque híbrido fue diseñado para usar en una cierta cantidad tanto como para el horario de verano como para el invierno, dichos cálculos son evaluados en noviembre de 2022.
6. Este trabajo tuvo como propósito determinar la demanda de energía eléctrica en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, así como simular la instalación de un parque híbrido eólico-solar para satisfacer dicha demanda y los resultados señalaron que el distrito requiere de 2572 kWh/día de energía eléctrica; para cubrir esta necesidad se propuso un parque híbrido eólico-solar compuesto por 44 aerogeneradores de la marca ENAIR200, 136 módulos solares de 545W 24V, 14 reguladores de carga de 100 A, 5 baterías de 409V y 320Ah y 3 inversores de 6500 W 48V.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el parque híbrido eólico - solar para solucionar el déficit energético y así la población pueda tener energía limpia para sus actividades.
2. Se recomienda que durante la evaluación de forma manual o a través de las aplicaciones de centrales meteorológicas, se incluyan los porcentajes de error en los cálculos de paneles fotovoltaicos para alcanzar la cantidad de energía requerida en la provincia de Yauli, región Junín.
3. Se recomienda que durante la evaluación de forma manual o mediante la aplicación ENAIR como datos en campo, el recurso eólico en la provincia de Yauli, región Junín, debe contar con un porcentaje de error en el cálculo para lograr la cantidad de energía demandada para este recurso, teniendo en cuenta que el almacenamiento de esta energía es en cantidad mucho menor a la eólica.
4. Si se llega a implementar, se debe tener en cuenta que, en sistemas híbridos como este, se deben tomar variables de funcionamiento de los equipos y evitar falsos contactos. En lugares con acceso restringido, solo el personal capacitado debe trasladarse.
5. Priorizar las investigaciones que contribuyan a resolver problemas ambientales y sociales y que el Gobierno respalde la implementación de energía híbrida en la zona centro del país.
6. Tener en cuenta que los equipos de medición deben tener una calibración adecuada por las instituciones que regenten estos certificados.
7. Si tenemos un sistema híbrido debemos tener una demanda clara en relación al consumo energético por cada casa, teniendo en cuenta las estaciones, rosa de los vientos y factores meteorológicos que influyan en los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MENDOZA, Esther. *Potencial de la energía eólica para la generación de electricidad y su relación con el cambio climático, en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, Provincia de Pasco - 2017*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú, 2018.
2. FOSTER, Robert, GHASSEMI, Majid and COTA, Alma. *Solar Energy, Renewable Energy and the Environment*. New York : CRC Press, 2020. ISBN 9781420075663.
3. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Estadística Eléctrica por regiones*. 2020.
4. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFOMÁTICA. *Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2017*. INEI. 2018.
5. INEI. Perú: Estado de la Población en el año del bicentenario, 2021. *Instituto Nacional de Estadística e informática*. 2021. P. 76.
6. FERRER, Fabián. *Estimación del impacto sobre la salud humana ocasionado por el desarrollo del polo energético de Chilca*. Tesis de pregrado. Universidad de Ingeniería y tecnología UTEC, Lima, Perú, 2017.
7. ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA - OSINERGMIN. *La Industria de la Energía Renovable en el Perú, 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Primera. 2017. ISBN 9788578110796.
8. METZ, Bert, DAVIDSON, Ogunlade, DE CONINCK, Heleen, LOOS, Manuela and MEYER, Leo (eds.). *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2005. ISBN 9291693197.
9. LEE, Joyce and ZHAO, Feng. *GWEC: Global Wind Report 2022*. Primera. Global Wind Energy Council, 2022. ISBN 9783981593402.
10. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFOMÁTICA. *Electrificación: Acceso a los servicios básicos en el Perú, 2013 - 2019*. Lima, Perú, 2019.
11. SOLIS ALBERCA, Anapaula, Saenz Gutierrez, Ronny. *Evaluación de la eficiencia energética del sistema Híbrido eólico Fotovoltaico instalado en la universidad nacional del Santa*. 2021.
12. SAUCEDO HUAYAMA, Jonathan. *Diseño De Un Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico Para El Suministro De Energía Eléctrica Del Caserío Membrillar Distrito De Niepos – San Miguel- Cajamarca*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 2018.
13. GÓMEZ GONZÁLEZ, Francisco Javier. *Diseño y optimización de un sistema híbrido renovable con gestión de la demanda y aplicaciones en península y modo isla*. 2020.

14. SURESH, Vendoti, MURALIDHAR, M. and KIRANMAYI, R. Modelling and optimization of an off-grid hybrid renewable energy system for electrification in a rural area. *Energy Reports*. 2020. Vol. 6, p. 594–604. DOI 10.1016/j.egy.2020.01.013.
15. PRASAD, Abhnil Amtesh, YANG, Yuqing, KAY, Merlinda, MENICTAS, Chris and BREMNER, Stephen. Synergy of solar photovoltaics-wind-battery systems in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. December 2021. Vol. 152, p. 111693. DOI 10.1016/j.rser.2021.111693.
16. HEMEIDA, A., EL-AHMAR, M., EL SAYED, A., HASANIEN, Hany, ALKHALAF, Salem, ESMAIL, M. and SENJYU, T. Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area. *Ain Shams Engineering Journal*. 2020. Vol. 11, no. 1, p. 11–23. DOI 10.1016/j.asej.2019.08.005.
17. XAVIER DIEGO, Ochoa Ochoa and SEBASTIAN MATEO, Molina Ronquillo. “*Análisis y reacondicionamiento del sistema de generación híbrido eólico-fotovoltaico aislado de la universidad politécnica salesiana sede cuenca*. [no date].
18. VASQUEZ DIAZ, Juan Jose. *Diseño de un Sistema Eléctrico Híbrido Eólico-Solar simulado con Homer para atender la demanda eléctrica del caserío Lanchemonchos - Chota - Cajamarca*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 2019.
19. VASQUEZ CARRERA, Luis Daniel. *Diseño de un sistema Híbrido, solar y Eólico para generar energía eléctrica en la zona rural el horno departamento de Amazonas* [online]. 2023. Available from: <https://orcid.org/0000-0002-9236-3225>
20. ALEXANDRA PAMELA, Peña Rosales. *Alternativas de un sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para atender la demanda de energía eléctrica y lograr mejorar la sostenibilidad ambiental en el distrito de Ninacaca Pasco*. 2022.
21. HUAMAN YACHI, Jhon Robert. “*Análisis del sistema mixtos de generación para reducir el alto consumo de energía eléctrica en el instituto regional del mármol de Junín 2021*. 2022.
22. JAMJACHI ROJAS, Juan Jesús. *Diseño de un sistema eléctrico híbrido para una vivienda residencial*. Tesis de grado académico. Universidad Continental, Huancayo, Perú, 2021.
23. QUISPE ACEVEDO, Lenin Hesbert. *Diseño Del Sistema Híbrido Para Lograr Autoabastecer De Energía Eléctrica a Las Instalaciones De La Granja Experimental Agropecuaria De Yauris*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2021.
24. MONTALVO REYNOSO, Harold Andre. *Diseño de la instalación del sistema eléctrico solar fotovoltaica para incrementar la potencia eléctrica en el Local Comunal de Alto Anapati – Pangoa- Junín*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2019.

25. RAMOS JIMENEZ, Alessandro Paul. *Estudio de implementacion de un sistema eléctrico fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica del Pabellón L de la Universidad Continental- Hunacayo*. 2019.
26. VEGA DE KUYPER, Juan and RAMÍREZ MORALES, Santiago. *Fuentes de Energía, Renovables y no Renovables aplicaciones*. Primera. México : Alfaomega, 2014. ISBN 978-607-707-820-3.
27. HERRERA BARROS, Vanessa Catalina. *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de Baños de Agua Santa*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2011.
28. NATIONAL SERVICE OF METEOROLOGY AND HYDROLOGY OF PERÚ. Atlas De Energía Solar del Perú. *Repositorio Insititucional - SENAMHI*. 2003. P. 55.
29. CAMAYO, Bécquer F, CAMAYO, Adrian B, CONDEZO, David E, RAMOS, Adam Y, MASSIPE, Juan R and GLOBAL -ESPAÑA, Alma Red. Estimation of global solar radiation, using extreme temperatures, applying the Bristow-Campbell model in the Junín región. *Prospectiva universitaria*. 2017. P. 7–16.
30. HERNÁNDEZ S., Roberto, FERÁNDEZ C., Carlos and BAPTISTA L., Pilar. *Metodología de la Investigación*. Sexta. México : McGRAW-HILL, 2016. ISBN 9786021018187.
31. NIÑO ROJAS, Víctor. *Metodología de la Investigación*. Bogotá, Bogotá : Ediciones de la U, 2011. ISBN 9789588675947.
32. PASTOR, Alejandro Sáez. PVGIS para el cálculo de instalaciones fotovoltaicas. *European Commision*. 2018. P. 15. Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad a partir de la energía proporcionada por la radiación solar. Esta forma de proporcionar energía se plantea como la propuesta tecnológica del futuro debido a los c ontinuos avances tecnológicos y a las considerables reducciones en cuanto a costes de la tecnología fotovoltaica y a sus recursos
33. LIZETH, Pacheco Rodríguez. *Mitigación al Cambio Climático; La Educación Ambiental como Estrategia sobre la Percepción de Consumo de los Estudiantes del Nivel Medio Superior*. 2018.
34. SUAREZ CHIRA MIGUEL ANGEL. *Diseño de un sistema de aire acondicionado con energía solar para practicas estudiantiles en la Universidad Cesar Vallejo-2019*. 2020.

ANEXOS

Anexo 1. *Solarímetro para la medición manual.*



Anexo 2. *Anemómetro para la medición manual.*



Anexo 3. *Medición de velocidad del día 3 de noviembre de 2022*



Anexo 4. *Medición de velocidad del día 9 de noviembre de 2022*



Anexo 5. *Medición de velocidad del día 15 de noviembre de 2022.*



Anexo 6. *Medición de velocidad del día 20 de noviembre de 2022*



Anexo 7. *Medición de velocidad del día 23 de noviembre de 2022*



Anexo 8. *Medición de velocidad del día 25 de noviembre de 2022*



Anexo 9. *Medición de velocidad e irradiación solar del día 25 de noviembre de 2022*



Anexo 10. *Medición de radiación solar del día 03 de noviembre de 2022*



Anexo 11. *Medición de velocidad y radiación solar del día 9 de noviembre de 2022*



Anexo 12. *Medición de velocidad y radiación solar del día 16 de noviembre de 2022*



Anexo 13. *Medición de velocidad y radiación solar del día 17 de noviembre de 2022*



Anexo 14. Certificado de Calibración del anemómetro del día 30 de marzo de 2022



Certificado de Calibración

LAC - 110 - 2022

Página 1 de 1

Expediente	2739027
Solicitante	GEHSIMA S.A.C.
Dirección	Jr. Geminis N° 915
Instrumento de Medición	Anemómetro
Marca	UNI-T
Modelo	UT363
Procedencia	CHINA
Resolución	0,1 m/s
Clase	2
Número de Serie	110401107993A
Fecha de Calibración	2022-03-30

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).

La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las intercomparaciones que éste realiza en la región.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.



Responsable del área



Dirección de Metrología

Responsable del laboratorio



Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
 Dirección de Metrología
 Calle Las Cañavías N° 917, San Isidro, Lima - Perú
 Tel: (01) 640-8600 Anexo 1501
 Email: metrologia@inacal.gob.pe
 Web: www.inacal.gob.pe

Anexo 15. Certificado de Calibración del solarímetro del día de 20 de julio de 2022



Certificado de Calibración

LAC - 111 - 2022

Página 1 de 1

<p>Expediente: 2939029</p> <p>Solicitante: GEHSIMA S.A.C.</p> <p>Dirección: Jr. Geminis N° 915</p> <p>Instrumento de Medición: Solarímetro</p> <p>Marca: ECO</p> <p>Modelo: SM206</p> <p>Procedencia: CHINA</p> <p>Resolución: 0,1 W/m²</p> <p>Clase: 1</p> <p>Número de Serie: S904906</p> <p>Fecha de Calibración: 2022-07-20</p>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
---	---

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

	<p>Responsable del área</p>  <p>Dirección de Metrología</p>	<p>Responsable del laboratorio</p>  <p>Dirección de Metrología</p>
---	--	---

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
 Dirección de Metrología
 Calle Las Camelias N° 917, San Isidro, Lima - Perú
 Tel: +51 1 640-9630 Anexo 1507
 Email: metrologia@inacal.gob.pe
 Web: www.inacal.gob.pe