



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Diseño de un sistema híbrido solar – eólico para suministrar
energía eléctrica a zonas rurales de El Milagro, Trujillo**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Alcalde Garrido, Miguel Angel (orcid.org/0000-0003-2801-4650)

Mendoza Flores, Mayckol Esgardo (orcid.org/0000-0002-6625-7082)

ASESOR:

Dr. Lujan López, Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2024



Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para suministrar energía eléctrica a zonas rurales de El Milagro, Trujillo", cuyos autores son MENDOZA FLORES MAYCKOL ESGARDO, ALCALDE GARRIDO MIGUEL ANGEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 01 de Agosto del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 01-08- 2024 19:27:39

Código documento Trilce: TRI - 0842772



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, MENDOZA FLORES MAYCKOL ESGARDO, ALCALDE GARRIDO MIGUEL ANGEL estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para suministrar energía eléctrica a zonas rurales de El Milagro, Trujillo", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
MAYCKOL ESGARDO MENDOZA FLORES DNI: 75064957 ORCID: 0000-0002-6625-7082	Firmado electrónicamente por: MMENDOZAFL el 01- 08-2024 20:24:56
MIGUEL ANGEL ALCALDE GARRIDO DNI: 40862580 ORCID: 0000-0003-2801-4650	Firmado electrónicamente por: MALCALDEGA24 el 01- 08-2024 19:59:55

Código documento Trilce: TRI - 0842773

Dedicatoria

“Dedico esta tesis a mis padres y hermanos, quienes siempre me han apoyado durante toda mi carrera profesional. Gracias a ellos, que me inculcaron valores fundamentales, soy la persona que soy hoy y les debo todos mis logros y metas alcanzadas. También agradezco a mis familiares y amigos que me acompañaron en este proceso de aprendizaje a lo largo de estos cinco años”.

Mendoza Flores, Mayckol Esgardo.

“Dedico esta tesis a mis Padres, esposa, hijas y hermanos, quienes han sido la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas en mi vida, fueron mi motivación y fortaleza durante toda mi carrera profesional. A todos mis grandes amigos que me acompañaron por el largo camino de la vida, a mis maestros por dedicar ese tiempo en compartirme su sabiduría”.

Alcalde Garrido, Miguel Angel.

Agradecimiento

“Agradecemos a Dios por permitirnos vivir, ser nuestro principal apoyo y darnos la sabiduría necesaria para alcanzar nuestros objetivos. También expresamos nuestro agradecimiento a nuestros docentes, quienes con su conocimiento y sabiduría nos brindaron nuevos aprendizajes. El proceso no ha sido fácil, pero gracias a nuestra dedicación hemos logrado culminar exitosamente esta tesis. Agradecemos a nuestros padres, quienes nos acompañaron en los buenos y malos momentos, impulsándonos a seguir adelante. Aunque no fue sencillo, siempre nos mantuvimos con una mentalidad positiva y motivadora”.

Los Autores

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de autenticidad de los autores	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	15
III. RESULTADOS	17
IV. DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	40
ANEXOS	45

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Rendimiento de tecnologías variadas en paneles solares</i>	10
Tabla 2. <i>Valor Actual Neto (VAN) para cada periodo</i>	33
Tabla 3. <i>Valor Actual Neto (VAN) con tasa de descuento del BCRP</i>	34

Índice de figuras

Figura 1: Ángulos de consideración en un panel fotovoltaico, donde β es el ángulo respecto a la horizontal	6
Figura 2. Variaciones de la posición en los paneles solares.	6
Figura 3. Parámetros de distancia para la instalación de paneles, donde la distancia entre paneles está función del tamaño de los obstáculos.	9
Figura 4. Distribución de las turbinas eólicas	12
Figura 5. Zona propuesta para el proyecto (7.9950°S 79.0573°W) para la instalación del sistema híbrido	17
Figura 7. Variación de la velocidad del viento en función de la altura, la máxima magnitud se alcanza en septiembre y octubre, mientras que la mínima sería julio y agosto	18
Figura 8. Incertidumbre del flujo de viento según la distribución de Rayleigh, donde el flujo de viento no superaría los 10 m/s en la zona de estudio.....	19
Figura 9. Densidad de potencia eólica en Matlab, donde la máxima densidad de potencia teórica disponible es de 611.50 W/m ²	19
Figura 10. Gráfico de dispersión de la frecuencia acumulada de la velocidad del viento, donde se visualiza la ecuación de recta pendiente.....	20
Figura 11. Incertidumbre del flujo de viento según la distribución de Weibull, donde el flujo de viento no superaría los 3.50 m/s en la zona de estudio	20
Figura 12. Ubicación del proyecto en el mapamundi, donde se muestra que el punto de ejecución del proyecto se encuentra muy cerca de la línea Ecuatorial – Quito...	21
Figura 13. Plano del módulo solar propuesto.....	22
Figura 14. Zonas rurales consideradas para el suministro eléctrico	23
Figura 15. Distancia vertical disponible en el área del proyecto, donde se muestra una distancia de 1220 metros disponible para la instalación	25
Figura 16. Distancia horizontal disponible en el área del proyecto, donde se muestra la distancia de 1380 metros disponible para la instalación.....	25

Figura 17. Instalación de las turbinas eólicas, donde se muestra la distribución en función de las distancias permisibles indicadas, así como también, se observa el área señalada en amarillo, la cual contendrá los módulos solares	26
Figura 18. Simulación térmica del panel solar, donde se muestra que bajo la irradiación solar de 232.10 Watts/m ² y una temperatura ambiente de 25° C, la superficie del panel alcanza los 46° C en la zona céntrica, mientras que en los extremos disminuye hasta 42° C.....	29
Figura 19. Plano de la turbina eólica propuesta para la zona.	30
Figura 20. Aerogenerador remasterizado mediante SolidWorks.....	31
Figura 21. Simulación CFD, donde se puede observar que el flujo de viento se reduce hasta 5.50 m/s aproximadamente, luego de traspasar el rotor	31
Anexo 4. Datos meteorológicos hasta el año 2024 en la zona rural de El Milagro a 10 metros de altura sobre la superficie	47
Anexo 9. Factura de luz de una vivienda unifamiliar, donde muestra el consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar, resaltando el consumo promedio de 123.67 kWh durante 6 meses	50
Anexo 10. La figura muestra las proyecciones asociadas a los costos que involucra la instalación de turbinas eólicas en el año 2021	51
Anexo 11. Costos asociados para la instalación de los paneles solares, en función de la potencia de los mismos	51
Anexo 12. Curva de potencia de la turbina eólica propuesta	51
Anexo 13. Ficha técnica original del panel solar	52
Anexo 14. Ficha técnica del inversor solar.....	53
Anexo 15. Instalación del sistema híbrido eólico – solar.....	54
Anexo 16. Tasa de descuento referencial en el año 2024.	54

RESUMEN

En el presente estudio, se propuso como objetivo diseñar un sistema híbrido solar – eólico para suministrar energía eléctrica a zonas rurales del Milagro, Trujillo. Donde se empleó un tipo de investigación aplicada con diseño no experimental y mediante el empleo de variables cuantitativas, se recopiló información en la zona propuesta acerca del flujo de viento e irradiación solar en una guía de observación de campo. Entre los resultados encontrados, se destaca que se dispone de un potencial energético del sistema híbrido propuesto de hasta 102 761.28 MWh cada año, con un retorno de inversión del proyecto de 9 años y medio, en base a la proyección de una vida útil operativa de 20 años consecutivos. Por lo tanto, se considera que el proyecto estudiado es económicamente factible y que incentiva la explotación de energías renovables.

Palabras clave: energía, solar, eólica, híbrido, sistema

ABSTRACT

In the present study, the main goal was to design a solar-wind hybrid system to supply electrical energy to rural areas of Milagro, Trujillo. Where the type of applied research was used with a non-experimental design and through the use of quantitative variables, information was collected in the proposed area about wind flow and solar irradiation in a field observation guide. Among the results found, it stands out that there is an energy potential of the proposed hybrid system of up to 102,761.28 MWh each year, with a return on investment of the project of 9 and a half years, based on the projection of an operational useful life of 20 consecutive years. Therefore, it is considered that the project studied is economically feasible and that it encourages the exploitation of renewable energy.

Keywords: energy, solar, wind, hybrid, system

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las principales fuentes de energía en el mundo son las denominadas energías convencionales, así lo indican las estadísticas públicas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2023, p. 26). Además, la Agencia Internacional de la Energía establece que el gas natural, el carbón y el petróleo son los tipos de energía más utilizados a nivel global, proporcionando conjuntamente más del 50.00% de la energía consumida en el planeta cada año. Estas actividades industriales humanas han exacerbado el calentamiento global a lo largo de las décadas. No obstante, existen alternativas para la generación de energía eléctrica, utilizando fuentes no contaminantes, conocidas como energías renovables, conformadas por la energía eólica, solar, geotérmica y similares, las cuales no dañan significativamente el ecosistema (IEA, 2022, p. 137).

A nivel internacional, la institución denominada Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), afirmó que el aumento de la temperatura global se debe al constante incremento de los gases del llamado “efecto invernadero”, los cuales capturan y distribuyen por todo el mundo el calor emitido por el sol. Estos gases son principalmente resultado de las actividades industriales de las cuales la sociedad moderna depende por completo. La organización subraya que estas actividades industriales tienen un impacto ambiental significativo, debido a que liberan inmensas cantidades de CO₂, así como metano y óxido nítrico. Además, también son responsables de los cambios en la temperatura observados en la atmósfera terrestre, así como los océanos, la criósfera y la biosfera (NASA, 2023, p. 2).

En el ámbito nacional, según datos de 2019 proporcionados por Osinergmin, las principales fuentes de energía son la hidráulica, que representa el 55.20%, seguida de la energía termoeléctrica con un 37.20%. A pesar de ello, la energía eólica y solar juntas solo contribuyen con un 4.00%, según las estadísticas de esta entidad (Osinergmin, 2019, p. 40). A pesar de la potencia instalada a nivel nacional, el Perú cuenta con un coeficiente de electrificación de 92.90%, no cubriendo en su totalidad la demanda de energía de la red pública (INEI, 2019, p. 25).

A nivel local, la provincia de Trujillo se cataloga por representar con un 84.84% el consumo demandado por el departamento de La Libertad, siendo el distrito de Trujillo y Víctor Larco los de mayor consumo. Sin embargo, dispone de un coeficiente de

electrificación del 82.00%, donde existen alrededor de 135 000 usuarios residenciales sin acceso a la red pública.

En base a lo previamente mencionado, se plantea la siguiente problemática de ¿Cuál es la configuración de un sistema híbrido solar – eólico para suministrar energía eléctrica a zonas rurales de Trujillo? ¿Cuál es el potencial eólico y la irradiación solar en la zona? ¿Cuál es la demanda de energía de la zona rural? ¿Cómo dimensionar el sistema híbrido para el suministro constante de energía eléctrica en la zona rural? ¿Cuál es la factibilidad económica de la implementación del sistema híbrido?

Es crucial adoptar fuentes de energía sostenibles en el tiempo para combatir el cambio climático, ya que esto posibilita la disminución de la contaminación producida por las actividades industriales, las cuales se miden actualmente con el término “Huella de Carbono”. El consultor de sostenibilidad Álvaro Hernández (2020, p. 3) define la Huella de Carbono como un indicador que mide la cantidad de múltiples gases generados directa o indirectamente por una determinada actividad que estimulan el efecto invernadero. Esto incluye el uso de energías fósiles en la manufactura, transporte y calefacción, así como las emisiones durante la producción de energía eléctrica. Además, también cobra relevancia social, ya que el presente proyecto contribuye a los objetivos para el desarrollo de la agenda 2030, específicamente en los objetivos número once, doce y trece.

Para dar respuesta a la incógnita, se prosigue a plasmar el objetivo general de la investigación, diseñar un sistema híbrido solar – eólico para suministrar energía eléctrica a zonas rurales de El Milagro. Para alcanzar la meta propuesta, el objetivo general se desglosa en objetivos específicos. Primero, determinar el potencial eólico y solar en la zona. Segundo, estimar la demanda de energía máxima para la zona rural. Tercero, dimensionar el sistema híbrido para el suministro constante de energía eléctrica en la zona rural. Finalmente, evaluar la factibilidad económica de la implementación del sistema híbrido.

Karidys Morales (2022) en su tesis realizada en Colombia, analizó ciertos tipos de energía distribuida basada en sistemas híbridos, utilizando como base la jurisprudencia de dicha nación y los casos de estudios reales. Para el estudio, se utilizó como población los sistemas de energía distribuida de tipo híbrida, utilizando como instrumento una ficha de recolección de datos para el registro de información.

Entre los resultados obtenidos, se destaca que existe beneficios tributarios para los proyectos de generación híbrida y que los sistemas de energía distribuida pueden lograr el remplazo del suministro de energías convencionales contaminantes, con una vida útil proyectada de 25 años.

MacCabe, Prasanna, Lockshin, Bhaskar, Bowen, Baranowski, Sigrin & Lantz (2022) en su artículo realizado en Estados Unidos, evaluó la evolución, tendencia y proyección de la utilización de la energía distribuida eólica, así como también el sistema híbrido eólico y solar. Para el estudio, se utilizó una población de los sistemas distribuidos eólicos y solar en los Estados Unidos, además, la investigación utilizó una ficha de recolección de datos, donde se realizaba el registro de información relevante. Entre los resultados obtenidos, se resalta que implementar este tipo de suministro energético no solo simboliza un tipo de generación eléctrica no contaminante, sino que también existe una gran compensación económica en comparación con el uso de energías convencionales.

Alex De La Torre (2022) en su tesis realizada en Quito – Ecuador, buscó diseñar un sistema de energía distribuida fotovoltaico de 12 kW para la implementación en la Universidad Politécnica Salesiana, con la finalidad de disminuir la demanda de energía en el Bloque D. Para el estudio se utilizó una ficha de recolección de datos, donde se registraban los valores de la irradiación solar obtenida del software PVGIS. Entre los resultados obtenidos se resalta que ahorro mensual de 69.06 USD utilizando el sistema distribuido, de los 898.16 USD gastados por parte de la Universidad sin la aplicación del sistema.

Alice Orrell (2021) en su artículo realizada en Estados Unidos, buscaba evaluar los casos reales donde se había implementado los sistemas de energía distribuida tanto eólica como híbrida. Donde, se utilizó una población de los sistemas de energía distribuida instalados en los Estados Unidos, utilizando una ficha de recolección de datos para el registro y procesamiento de información. Entre los resultados, se manifiesta que existe múltiples maneras de conexión para los sistemas de energía distribuidas, pero se destaca que la instalación de tipo híbrido solar – eólico se conecta directamente a la red eléctrica, para que el suministro vaya a subestaciones y finalmente redes de transmisión.

Edwin Escalante Navarro (2021) en su tesis realizado en Lambayeque – Perú, tenía como objetivo el diseño de un sistema de generación distribuida para la provincia de Moyobamba. En la cual, la muestra propuesta fue la Municipalidad de Soritor, específicamente al suministro eléctrico del establecimiento. Para la ejecución del estudio se tomó, como instrumentos de recolección de datos, una entrevista al encargado del área eléctrica. Entre los resultados hallados se resalta el suministro constante del 68.10% de la energía eléctrica durante aproximadamente 9 horas, mediante la implementación de 30 paneles solares y con un retorno de la inversión de 4 años con 9 meses.

Mohammad Hadidian (2021) en su tesis ejecutado en Australia, se propuso como objetivo el mejoramiento de las redes de distribución energética, así como sus puntos de generación, donde los principales problemas era las desviaciones de frecuencias, presencia de armónicos y pérdidas de eficiencia en general que causan un despilfarro de dinero por parte de la empresa responsable del sistema. En el estudio se utilizó como instrumento la ficha de registro de datos, en el cual se registraba los fallos detectados en las redes y generación de energía distribuida. Entre los resultados obtenidos, se destaca que en un sistema híbrido solar – eólico se puede reducir las pérdidas de energía mediante la selección del lugar y el nivel del tamaño del sistema híbrido, además, el incremento de las redes eléctricas genera un incremento de las pérdidas de energía.

Fátima Gómez (2020) en su estudio realizado en España, estableció como objetivo analizar el recurso eólico y solar disponible, de manera que se propone el diseño de un sistema híbrido eólico – solar con estas características. En el estudio se utilizó a toda España como la población y una ficha de registro para la recopilación de datos para los resultados. Donde se resalta que usar una combinación tecnológica para la generación de energía eléctrica es posible, garantizando una viabilidad del proyecto durante toda la vida útil de los equipos.

Henry Córdor (2020) en su investigación realizada en Piura – Perú, propuso como objetivo la evaluación de los tipos de generación distribuida de energías renovables en el Perú. La población de la investigación fue los sistemas de energía distribuida instalados en la nación peruana, utilizando como instrumento una ficha de recolección de datos para el registro de información. Entre los resultados hallados, se demuestra

que la energía distribuida dispone de una eficiencia superior en comparación a la generación de energía eléctrica convencional, además, el autor señala que la generación distribuida con energía renovable cobra relevancia para evitar el deterioro del ambiente y la disminución de la emisión de gases de CO₂ a la atmósfera.

El Sol es el pilar no solo de la energía solar, sino también de las otras energías renovables, para su aprovechamiento netamente solar, existe dos tipos de formas, para la conversión de la energía del sol en calor o en electricidad (Carta et al., 2009, p. 152).

La energía del sol que se convierte en electricidad, se denomina como energía fotovoltaica, la cual utiliza materiales semiconductores en las células, siendo estas mismas expuestas hacia el sol para generar una corriente DC en sus terminales (Patel, 2006, p. 143).

La energía del sol puede utilizarse como fuente de energía eléctrica, pero se enfrenta al desafío de las múltiples variaciones en la posición de la Tierra con respecto al sol, lo que provoca fluctuaciones en la cantidad de energía solar disponible (Cantos Serrano, 2016, p. 11).

Durante el movimiento del planeta tierra, el sol emite permanentemente energía a la tierra en forma de calor y luz. Por lo tanto, para su aprovechamiento industrial, existen dos categorías. Primeramente, utilizando el calor constante para elevar la temperatura de la carga final, empleando un sistema térmico solar. Segundo, mediante la utilización de células fotovoltaicas, transformando la luz solar directa en electricidad (Tan & Kian Seng, 2019, p. 4).

Cuando se colocan paneles solares, es crucial establecer la orientación y la inclinación correctas. La orientación (α) se relaciona con la inclinación del plano que es perpendicular a la superficie del módulo solar. El ángulo (β) cambia según la latitud del área y la estación; por ejemplo, durante el invierno, requiriendo una inclinación mayor que lo requerido en verano (Cantos Serrano, 2016, p. 9).

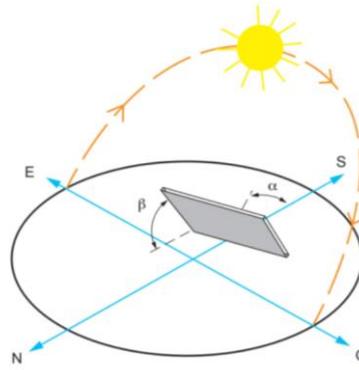


Figura 1: Ángulos de consideración en un panel fotovoltaico, donde β es el ángulo respecto a la horizontal. Tomada de Cantos Serrano, 2016, pp. 10.

Hay numerosos casos en los que los paneles solares se colocan en los tejados y se integran en las fachadas de los edificios. En países aledaños al Ecuador, como Singapur, el sol sigue una trayectoria más alta en el cielo, lo que implica que existe un único ángulo ideal para la fijación de los paneles solares (Tan & Kian Seng, 2019, p. 12). Por lo tanto, se puede disponer de estructuras fijas, no ajustables o regulables, las cuales tienen siempre el mismo ángulo de inclinación durante toda la vida operativa del panel (Cantos Serrano, 2016, p. 188).

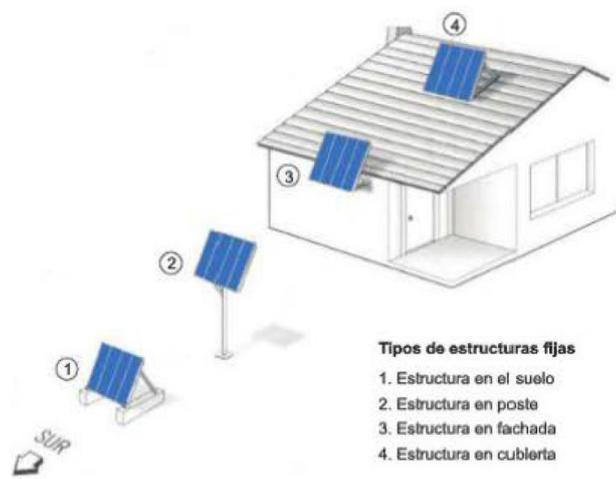


Figura 2. Variaciones de la posición en los paneles solares con ángulo de inclinación fija. Tomado de Cantos Serrano, 2016, pp. 190.

Los paneles solares cuando se encuentran al aire libre, pueden ser necesario implementar un sistema de seguimiento para mantener su alineación con el sol a lo largo del día y durante los cambios estacionales. Sin embargo, esta solución podría resultar desfavorable cuando las condiciones de la constante radiación solar tienden a ser difusas, por ejemplo, días nublados o brumosos (Tan & Kian Seng, 2019, p. 13).

En instalaciones solares estacionarias residenciales, se debe determinar el ángulo de inclinación del panel solar, respecto a la horizontal. Por lo tanto, se emplea la siguiente fórmula (Cantos Serrano, 2016, p. 10).

$$\beta = \phi + 10^\circ \dots \dots \dots (2.1)$$

Dónde:

β : Ángulo del panel

ϕ : Latitud de la ubicación del panel

Por lo general, la radiación recibida por un módulo fotovoltaico es el resultado de la combinación de las siguientes radiaciones (Cantos Serrano, 2016, p. 12).

La radiación directa se refiere a la energía solar capturada directamente del sol y se distingue por proyectar sombras en los objetos que ilumina.

La radiación difusa es la energía solar que llega a la Tierra después de dispersarse en la atmósfera debido a la radiación solar directa. Si no hay nubes, este tipo de radiación puede representar aproximadamente el 15% de la radiación total, pero en días nublados puede llegar a constituir hasta el 50% de la radiación total.

La radiación de albedo, que se origina en la superficie de la Tierra y otros elementos, resulta de la reflexión de la radiación solar directa en distintos tipos de terreno, como tierras, lagos y océanos. La capacidad para reflejar esta radiación varía según el tipo de superficie presente en cada caso.

Para medir la cantidad de energía y potencia que llegan por unidad de superficie, se calcula la irradiancia y la irradiación solar. La irradiancia representa la potencia por unidad de superficie receptora, expresada en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Por otro lado, la irradiación se refiere a la energía solar recibida por una superficie durante un período específico y se mide en vatios-hora por metro cuadrado (Wh/m^2) (Cantos Serrano, 2016, p. 13).

Lo más habitual durante la medición de los datos de irradiancia solar, es que se registre el valor promedio de la misma en un periodo de 1 minuto, durante por lo menos un año. Para ello, es recomendable la utilización de un Pirheliómetro, instrumento especializado para realizar mediciones de radiación directa. Entre los parámetros que influyen en el cálculo del potencial solar, se destaca la geografía, los

grados de exposición y las condiciones atmosféricas (Cantos Serrano, 2016, p. 15 ~ p.18).

La cantidad de energía solar recibida en una superficie se puede calcular teniendo en cuenta los factores solares y las características del panel solar específico. La potencia eléctrica generada por el módulo solar se determina mediante la siguiente fórmula.

$$P_{out} = Q \times A_{PV} \times \eta_{panel} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dónde:

\dot{Q} : Irradiancia medida

A_{PV} : Área resultante de la superficie del panel

η_{panel} : Eficiencia de panel o sistema

Cuando el panel solar está expuesto a la luz directa del sol, se produce un proceso de convección. Este fenómeno ocurre cuando un fluido, como el aire, fluye alrededor del panel, llevándose consigo el calor generado durante este proceso. En este caso, el aire actúa como el fluido que induce la convección natural en el panel solar, teniendo un coeficiente de convección promediado de aproximadamente 15 W/m²K (Kosky, Balmer, Keat, Wise, 2021, p. 263).

Es importante considerar la presencia de rascacielos, árboles, colinas y otros objetos que puedan arrojar sombras. Además, las filas de paneles solares también generan sombras que afectan su producción de energía. Por eso, es esencial definir una distancia mínima entre los paneles solares para evitar estas interferencias (Cantos Serrano, 2016, p. 31).

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \phi)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dónde:

d : Distancia permisible

h : Altura referencial del objeto

ϕ : Latitud de la zona

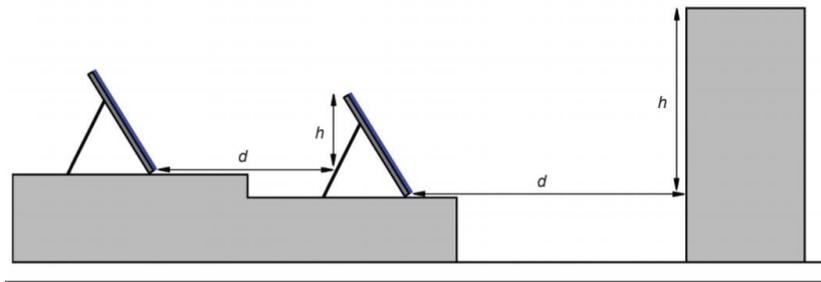


Figura 3. Parámetros de distancia para la instalación de paneles, donde la distancia entre paneles está función del tamaño de los obstáculos. Tomado de Cantos Serrano, 2016, pp.32

Las celdas solares cristalinas están fabricadas con silicio de alta pureza, que se utiliza comúnmente como semiconductor. Para crear estas celdas, se depositan capas del material semiconductor con un grosor que oscila entre 0.30 y 2.00 micrómetros, colocándolas dentro de estructuras de vidrio o acero inoxidable (Tan & Kian Seng, 2019, p. 8).

Para determinar el número de filas necesarias para los paneles solares, se debe tener en cuenta el voltaje del inversor y del propio panel, como se muestra a continuación (Hernández, 2017, p. 43).

$$Filas = \frac{U_{inv}}{U_m} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dónde

U_{inv} es el voltaje del inversor

U_m es el voltaje saliente del modulo

Para determinar el número de columnas necesarias, se debe tener en cuenta el amperaje del inversor y del panel, como se muestra a continuación (Hernández, 2017, p. 43).

$$Columnas = \frac{I_{inv}}{I_m} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dónde

I_{inv} es la corriente del inversor

I_m es la corriente saliente del modulo

Para determinar el número total de inversores necesarios para una planta solar, se tiene que considerar el número de filas y columnas, así como el número total de paneles continuación (Hernández, 2017, p. 45).

$$Inversores = \frac{\text{Número de Paneles}}{\text{Filas} \times \text{Columnas}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Tabla 1. Rendimiento de tecnologías variadas en paneles solares

Tecnología	Eficiencia (%)
Silicio monocristalino	12.50 ~ 15.00
Silicio policristalino	11.00 ~ 14.00
Seleniuro de galio y cobre (CIGS)	10.00 ~ 13.00
Telurio de cadmio (CdTe)	9.00 ~ 12.00
Silicio amorfo (a-Si)	5.00 ~ 7.00

Fuente: Tomado de Tan & Seng, 2019, pp. 8.

En lo que concierne a la energía eólica, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (2016, p. 04), manifiesta que la radiación solar influye en el viento terrestre, ya que el flujo de viento ocurre a raíz del desplazamiento del aire causado por las variaciones en la presión y temperatura. Por lo tanto, cuando la energía solar calienta el aire de manera parcial, provoca una excitación en las moléculas, esta disparidad en la temperatura y presión conduce a una inestabilidad que provoca que el aire más denso se desplaza por debajo del aire más cálido y ligero, equilibrando así la presión entre las dos masas de aire, generando el flujo del fluido en el proceso.

Para el cálculo del potencial eólico, el autor previo señala que se puede utilizar la ecuación de la energía cinética del flujo por unidad de tiempo, la cual se muestra a continuación.

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dónde:

ρ es la densidad del viento (constante a 1.225 kg/m³)

A es el área del del rotor.

U es la velocidad del flujo de viento.

El Ministerio de Energías y Minas (2016, p.25) resalta que el viento es un recurso energético que se manifiesta de forma impredecible. Por lo tanto, para poder analizar

el aprovechamiento energético, es necesario realizar mediciones de flujo. Para ello, se debe disponer de anemómetros, veletas, termohigrómetros y barómetros.

Una manera de realizar mediciones del viento mediante el uso del anemómetro es conocida como método de corto plazo (Short – Term), el cual generalmente evalúa las fluctuaciones promedio en intervalos de tiempo de 10 minutos o menos. Este enfoque abarca los periodos de turbulencia y se lleva a cabo durante al menos un año (Manwell, MCGowan y Rogers, 2009, p.30).

Según Manwell, MCGowan y Rogers (2009, p.54), hay métodos disponibles para calcular la energía que un aerogenerador puede generar en respuesta a un flujo específico de masa de aire. Entre las cuales destaca la denominada distribución de Rayleigh, siendo la misma una aproximación estadística rápida en base al promedio del flujo de viento.

La ecuación de Rayleigh para la función acumulativa, se muestra a continuación.

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{U}{\bar{U}}\right)^2\right] \dots \dots \dots (2.8)$$

Dónde, U es la velocidad del viento en metros por segundo y \bar{U} es el promedio de la velocidad del viento del conjunto de datos dado.

Para la función acumulativa en base a la ecuación de Weibull, se debe determinar el parámetro de forma k y escala c (Manwell, MCGowan y Rogers, 2009).

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \dots \dots \dots (2.9)$$

Según Villarrubia (2013), el parámetro de forma k , se puede obtener mediante el ajuste de mínimos cuadrados, es decir, mediante la proyección de una recta pendiente, siendo la pendiente $m = k$.

$$F(v) = (k)X + B \dots \dots \dots (2.10)$$

Para obtener la ecuación de la recta pendiente, se debe implementar logaritmos neperianos para cada variable en cuestión, como se observa a continuación.

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \times \ln\langle v \rangle + (-k \times \ln\langle c \rangle)$$

Según Cochancela y Astudillo (2012), el cálculo de la pendiente de una recta, se puede determinar mediante la siguiente ecuación.

$$m = k = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \dots \dots \dots (2.11)$$

Para la obtención del parámetro de escala c , se puede utilizar la siguiente ecuación.

$$c = \exp^{-(B/k)} \dots \dots \dots (2.12)$$

El flujo de viento varía en función de la altura, para determinar la magnitud del viento a una determinada altura, se puede emplear la ecuación de cizalladura del viento, en base a datos referenciales medidos (Manwell, Mcgowan y Rogers, 2009).

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \dots \dots \dots (2.13)$$

Dónde

$U(z)$ es el flujo de viento a una determinada altura z

$U(z_r)$ es la referencia del flujo de viento para una altura referencial z_r

α es el exponente de la relación de alturas

Para el cálculo del coeficiente α , se puede utilizar la siguiente ecuación.

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(U_r)}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z_r}{10}\right)} \dots \dots \dots (2.14)$$

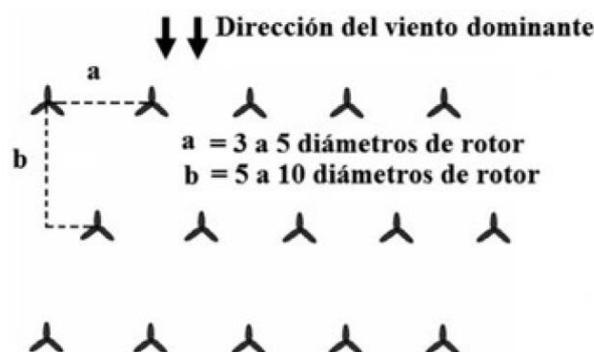


Figura 4. Distribución de las turbinas eólicas, específicamente para una centra eólica. Tomado de Manuel Villarrubia, 2013, pp. 210.

Finalmente, para determinar el periodo en años del retorno de la inversión del proyecto solar – eólico, se puede consultar a la siguiente ecuación.

$$Payback = \frac{C_c}{E_a P_e} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dónde

C_c es la totalidad del costo del proyecto más el M&O

E_a es la energía anual en kWh por año

P_e es el precio de la energía ofertada en Soles/kWh

Cuando las turbinas eólicas no están conectados a ninguna red eléctrica, denomina instalación aislada y si están conectadas o subeditadas combinan con sistemas de respaldo, como paneles solares o grupo electrógenos, se designa como instalaciones híbridas aisladas. Las cuales, se utilizan comúnmente para electrificar zonas remotas, producir electricidad de manera autónoma y/o bombear agua. Es importante señalar que los excedentes de producción no utilizados pueden disiparse a través de una carga de alterna, generalmente compuesta por resistencias que convierten los excedentes en calor (Villarrubia López, 2013).

Por lo tanto, para proyectar la vida útil de la instalación, se debe considerar a los componentes o equipos que llegan a alcanzar primero la obsolescencia. Según Villarrubia (2013), especifica que las turbinas eólicas disponen de unos 20 años de vida, pero puede alterarse en función de las condiciones de trabajo y el plan de mantenimiento. En contraste, el autor Cantos Serrano (2016), señala que los paneles solares disponen de una vida útil entre 25 a 30 años.

Por lo tanto, en la ecuación (2.15), se debe considerar los costos asociados para las turbinas eólicas y paneles solares. Donde, en el Anexo 9 se puede visualizar los costos para la instalación de aerogeneradores. De igual forma, en el Anexo 10, se puede observar el costo que se debe considerar para una planta solar.

Para evaluar la rentabilidad de un proyecto, también se podría considerar la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

$$TIR = \left(\frac{F_{neto}}{I_o} \right)^{\frac{1}{N}} - 1 \dots \dots \dots (2.16)$$

Dónde

F_{neto} es el flujo de efectivo neto

I_o es la inversión inicial del proyecto

N es el número de períodos considerados.

El flujo efectivo neto F_{neto} , se determina usando la siguiente ecuación.

$$F_{neto} = F_{entrante} - F_{salida} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dónde

$F_{entrante}$ es el flujo de efectivo entrante para cada periodo

F_{salida} es el flujo de efectivo saliente para cada periodo

Para el calculo del VAN, se considera la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_o + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1 + TIR)^n} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dónde

C_n beneficios obtenidos en cada periodo

n año en el que se obtienen beneficios de cada periodo

II. METODOLOGÍA

La investigación se centró en un enfoque cuantitativo, se empleó la recopilación de datos con el fin de validar la hipótesis mediante la medición numérica y el análisis estadístico, con el propósito de identificar tendencias de comportamiento y validar teorías (Cabezas, Naranjo y Santamaria, 2018, p.19).

La investigación fue de tipo aplicada, dirigido a abordar problemas concretos o desarrollar ideas a corto y mediano plazo. Donde, el objetivo principal fue encontrar y utilizar nueva información científica que pueda ser aplicada en la práctica (Cegarra, 2004, p.42). Para este caso, elaborar un diseño funcional de un sistema de generación híbrido para solucionar la deficiencia o nulo suministro eléctrico en la zona rural de El Milagro.

La investigación se caracterizó por ser un diseño no experimental, porque no se manipuló directamente variables independientes ni se controló directamente las condiciones involucradas. Además, se ramificó de orden transversal descriptiva, debido a que se analizará como diversas formas o niveles de una o más variables inciden en una población específica o fenómenos afines, así como también se realizó comparaciones descriptivas entre distintos grupos o subgrupos (Sampieri et al., 2014, p. 155).

La presente investigación no buscó realizar experimentos para explicar la relación entre la variable independiente y dependiente. Únicamente, se estudió el comportamiento entre las variables, sin interferir en el mismo. Por lo tanto, se categorizó como no experimental.

La variable independiente de la investigación fue el sistema híbrido eólico – solar, caracterizado por la cooperación simultánea de producción de energía eléctrica (Hadidian, 2021, p.64). En contraste, la variable dependiente fue el suministro de energía eléctrica distribuida, definida como el suministro de energía eléctrica cercano a los puntos de consumo (De La Torre, 2022, p. 9).

La población de la investigación fue las zonas rurales de la ciudad de Trujillo, con un criterio de inclusión enfocado en zonas rurales habitadas. En contraste, la muestra de la investigación fue la zona rural del Centro Poblado El Milagro.

Muestreo intencional, también conocido como muestreo por conveniencia u opinático, implica que las características que influyen en la muestra son seleccionados o escogidos de acuerdo al juicio del investigador (Cabezas, Naranjo y Santamaria, 2018, p.101). Para la presente investigación, el muestreo seleccionado fue el Centro Poblado El Milagro, provincia de Trujillo.

La técnica de la investigación, consistió en el análisis documental, buscó recopilar datos con el propósito de formular teorías que respalden el análisis de los fenómenos y procesos. Este tipo de información se obtiene mediante una exploración de las características del objeto de estudio, con el fin de familiarizarse con los conocimientos previos en el ámbito relacionado (Cabezas et ál., 2018, p. 70).

El instrumento de recolección de datos fue una ficha de registro, compuesta por una hoja y/o libreta destinada a tomar notas. Donde se registrará información de periódicos, cuadros, mapas, base de datos y diversos dispositivos, con el propósito de facilitar el análisis de los elementos presentes en la zona (Baena Paz, 2017, p.72 ~ p.74).

Para el método de análisis de datos, la información recopilada del flujo de viento e irradiación solar se registró mediante la guía de observación de campo. Posteriormente, se procesaron los datos recopilados en el programa de Microsoft Excel y utilizando la estadística matemática, se buscaron parámetros en función de las variables de la investigación.

En una investigación académica, se consideró ciertos principios éticos del Código de Ética y Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú. La integridad y honestidad son fundamentales, respaldando la reputación de la profesión. Los investigadores deben abordar encargos con transparencia y asumir responsabilidades, mejorando continuamente. Además, la seguridad y beneficio público, el uso racional de recursos y el respeto ambiental son cruciales. Cumplir con normas técnicas y científicas garantiza la idoneidad y seguridad de los resultados, contribuyendo de manera responsable al conocimiento científico y respetando la sociedad y el medio ambiente. Por lo tanto, La presente investigación se limitó únicamente a fines académicos y sociales, básicamente para la generación de nuevos conocimientos que puedan ser útiles para futuras investigaciones.

III. RESULTADOS

Primer objetivo, determinar el potencial eólico y solar en la zona

Primeramente, se establece la zona propuesta para la instalación de aerogeneradores y paneles solares, con un área disponible de aproximadamente 1.20 km².

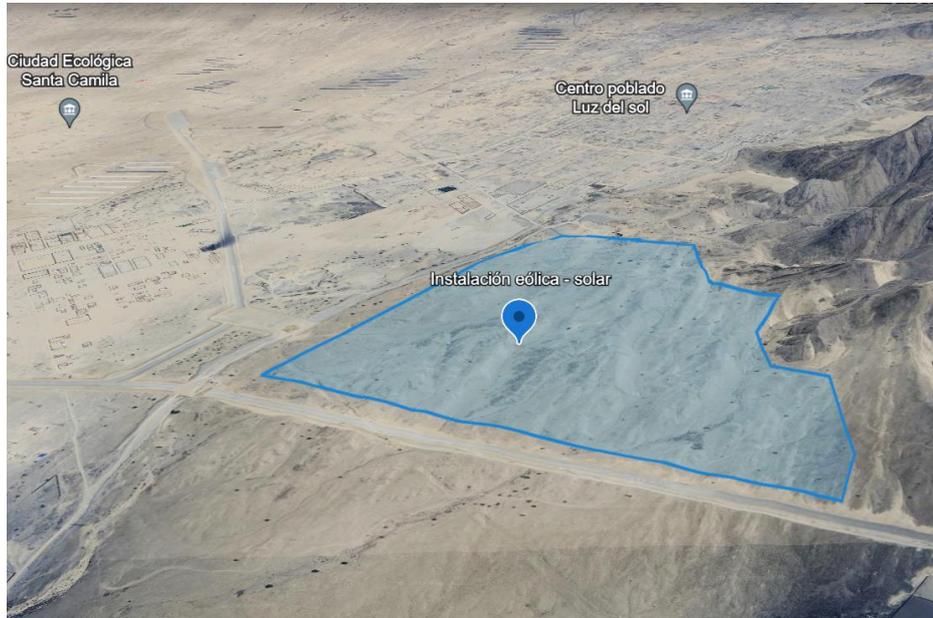


Figura 5. Zona propuesta para el proyecto (7.9950°S 79.0573°W) para la instalación del sistema híbrido. Tomado de Google Earth.

Utilizando los datos que se visualizan en el Anexo 4, se construye la siguiente tabla con los datos meteorológicos en la zona propuesta.

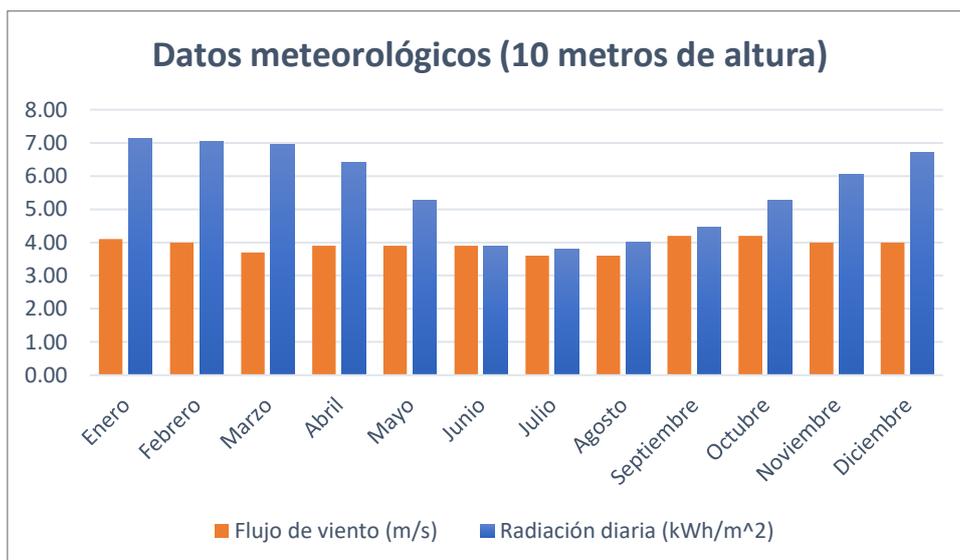


Figura 6. Datos meteorológicos en la zona propuesta, donde se visualiza el flujo de viento y radiación solar diaria. Tomado de RETScreen Expert.

No obstante, para determinar el verdadero potencial eólico, se debe establecer la variación del flujo de viento en función de la altura. Por lo tanto, aplicando la ecuación (2.14) y usando datos promedios del Anexo 04, se calcula el coeficiente de cizalladura del viento.

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 \ln(3.90 \text{ m/s})}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{10 \text{ m}}{10 \text{ m}}\right)} = 0.250$$

Aplicando la ecuación (2.13), se obtiene una relación entre los datos referenciales y los datos requeridos a una determinada altura, para el caso de estudio $U(z_r)$ fue en base al valor que se observa en la Figura 6.

$$U(z) = \left(\frac{z}{10 \text{ m}}\right)^{0.25} \times U(z_r)$$

Introduciendo la ecuación (2.13) en el programa Matlab y variando la altura z de 10 metros hasta 120 metros, se obtiene la siguiente gráfica, manteniendo constante el valor z_r en 10 metros.

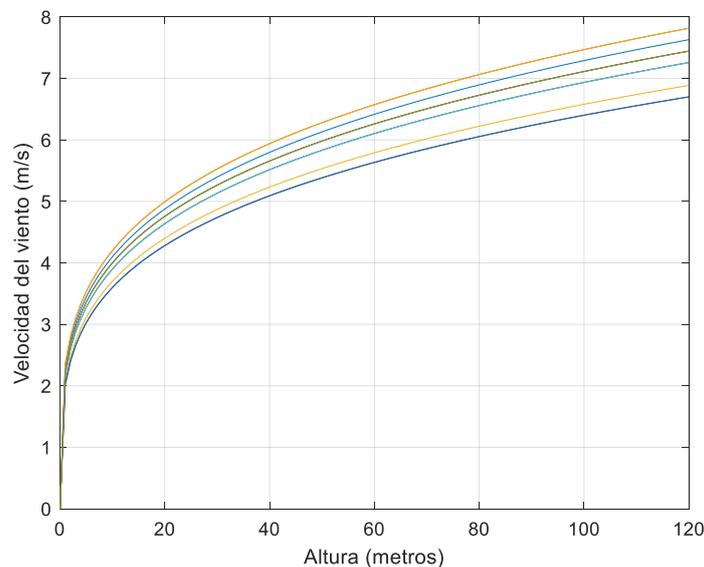


Figura 7. Variación de la velocidad del viento en función de la altura, la máxima magnitud se alcanza en septiembre y octubre, mientras que la mínima sería julio y agosto. Elaborado en Matlab.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia para un determinado rango en el flujo de viento, se utiliza la ecuación (2.8), en base al flujo promedio de la zona (Anexo 4).

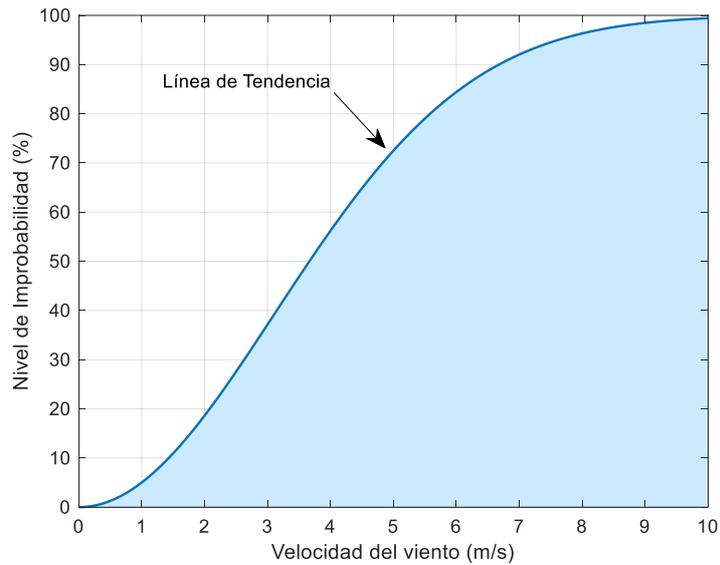


Figura 8. Incertidumbre del flujo de viento según la distribución de Rayleigh, donde el flujo de viento no superaría los 10 m/s en la zona de estudio. Elaborado en Matlab.

Utilizando el nivel de incertidumbre del flujo de viento en conjunto con la ecuación (2.7), se obtiene la densidad de potencia eólica.

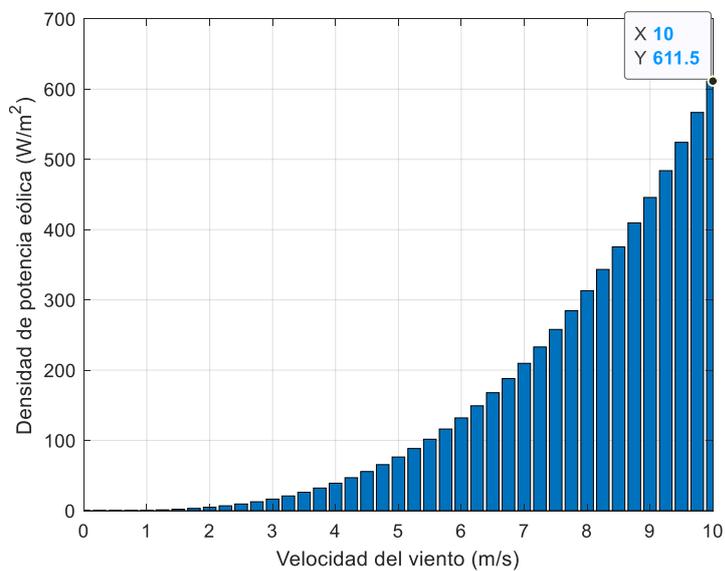


Figura 9. Densidad de potencia eólica en Matlab, donde la máxima densidad de potencia teórica disponible es de 611.50 W/m². Elaborado en Matlab

Para determinar el parámetro de forma de la distribución de Weibull, se debe aplicar la ecuación (2.11), teniendo en consideración el Anexo 5.

$$k = \frac{3.7247}{0.4188} \approx 8.937$$

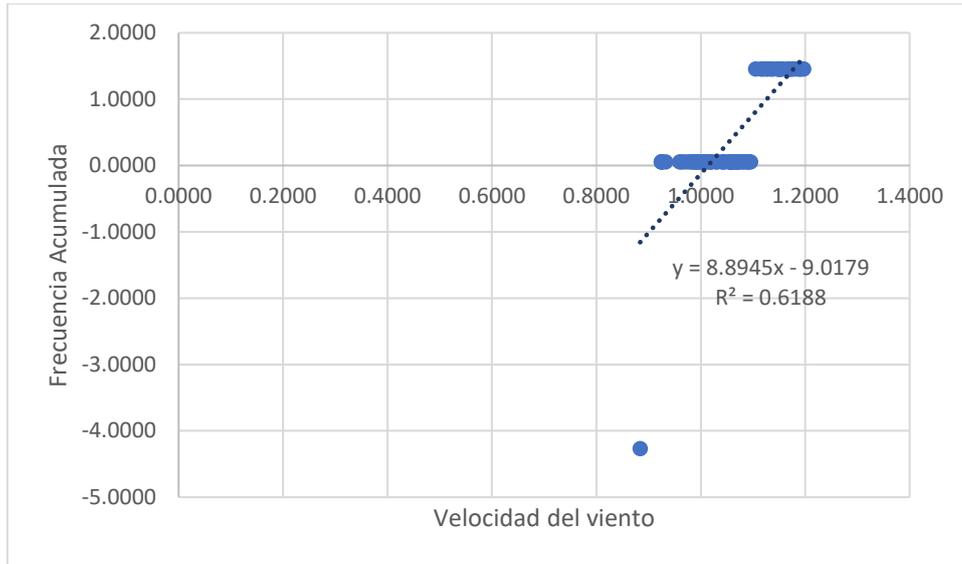


Figura 10. Gráfico de dispersión de la frecuencia acumulada de la velocidad del viento, donde se visualiza la ecuación de recta pendiente. Elaborado en Excel

Para determinar el parámetro de escala, simplemente se aplica la ecuación (2.12).

$$c = \exp^{-(-9.0179/8.8937)} \approx 2.76$$

Usando la ecuación (2.9), se puede proyectar la distribución de Weibull, como se observa a continuación.

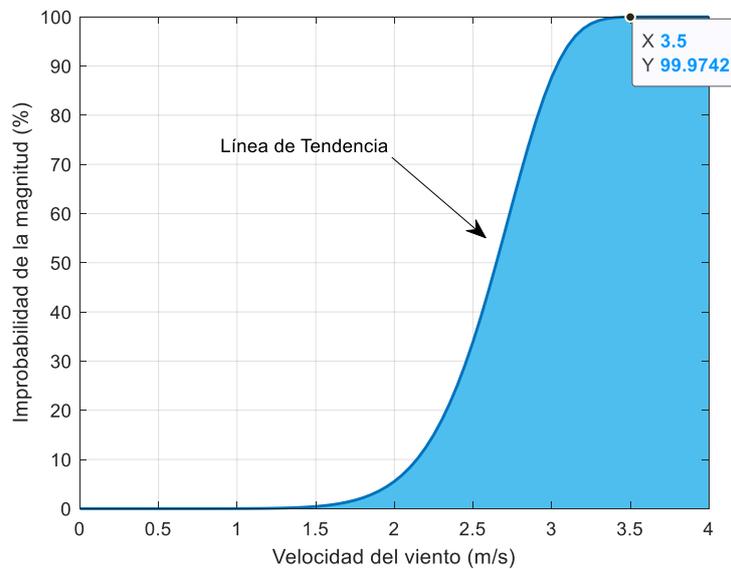


Figura 11. Incertidumbre del flujo de viento según la distribución de Weibull, donde el flujo de viento no superaría los 3.50 m/s en la zona de estudio. Elaborado en Matlab.

Respecto al sistema solar, se tiene que considerar que la ejecución del proyecto se encuentra cerca de la línea ecuatorial (7.995°S 79.057°W), como se observa a continuación.



Figura 12. Ubicación del proyecto en el mapamundi, donde se muestra que el punto de ejecución del proyecto se encuentra muy cerca de la línea Ecuatorial – Quito. Elaborado en Matlab.

Por lo tanto, el ángulo de inclinación del panel será reducido, en comparación con los países lejos de la línea ecuatorial. Por lo tanto, usando la ecuación (2.1), se obtiene el ángulo de inclinación.

$$\beta = 7.995^\circ + 10^\circ \approx 18^\circ$$

En base al resultado obtenido, se diseña el módulo solar empleado, utilizando como referencia las dimensiones del panel (Anexo 7)

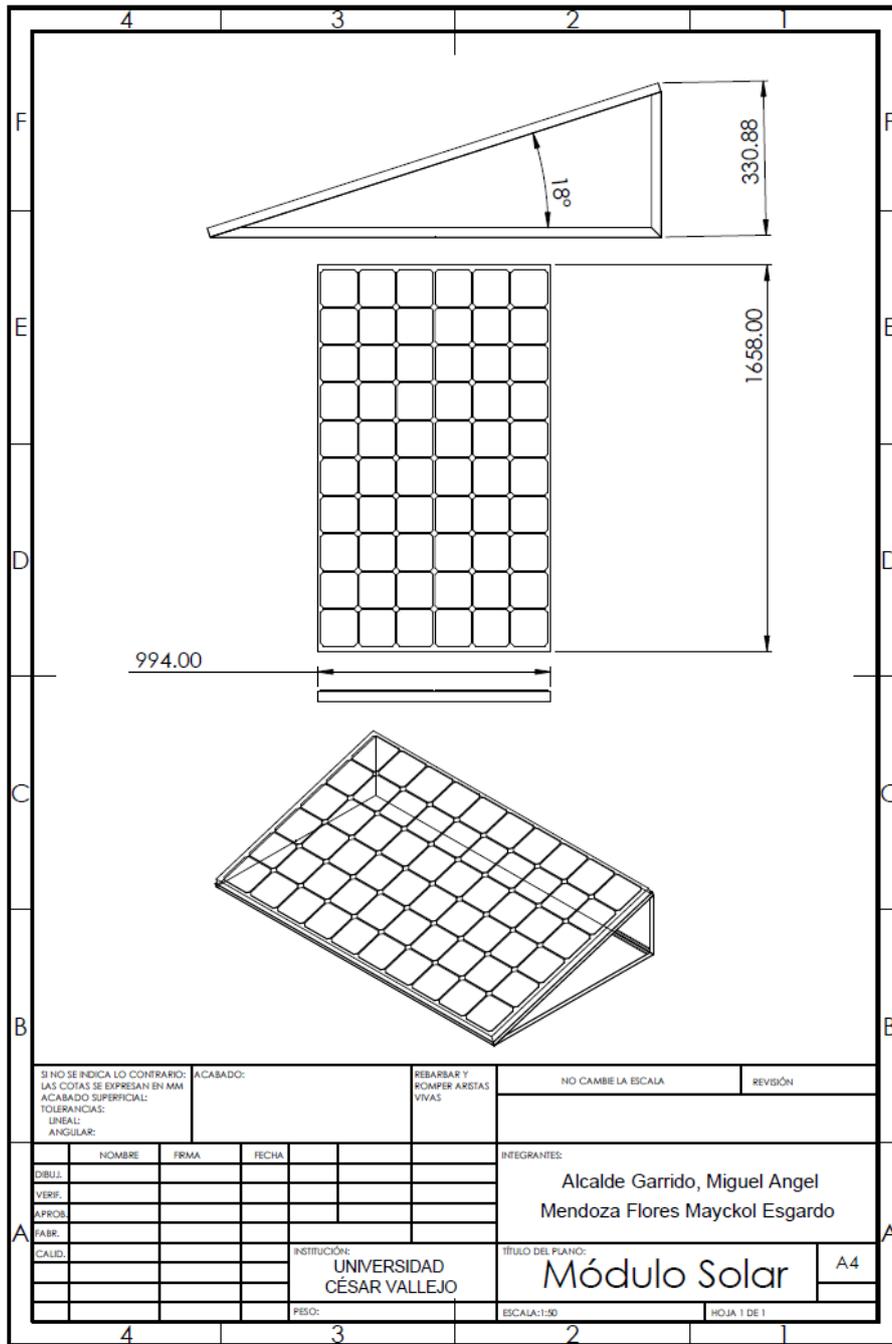


Figura 13. Plano del módulo solar propuesto. Elaborado en SolidWorks.

Segundo objetivo, estimar la demanda de energía máxima para la zona rural

Para determinar el número de viviendas, se tiene que considerar las zonas rurales a ser alimentadas por el sistema híbrido.

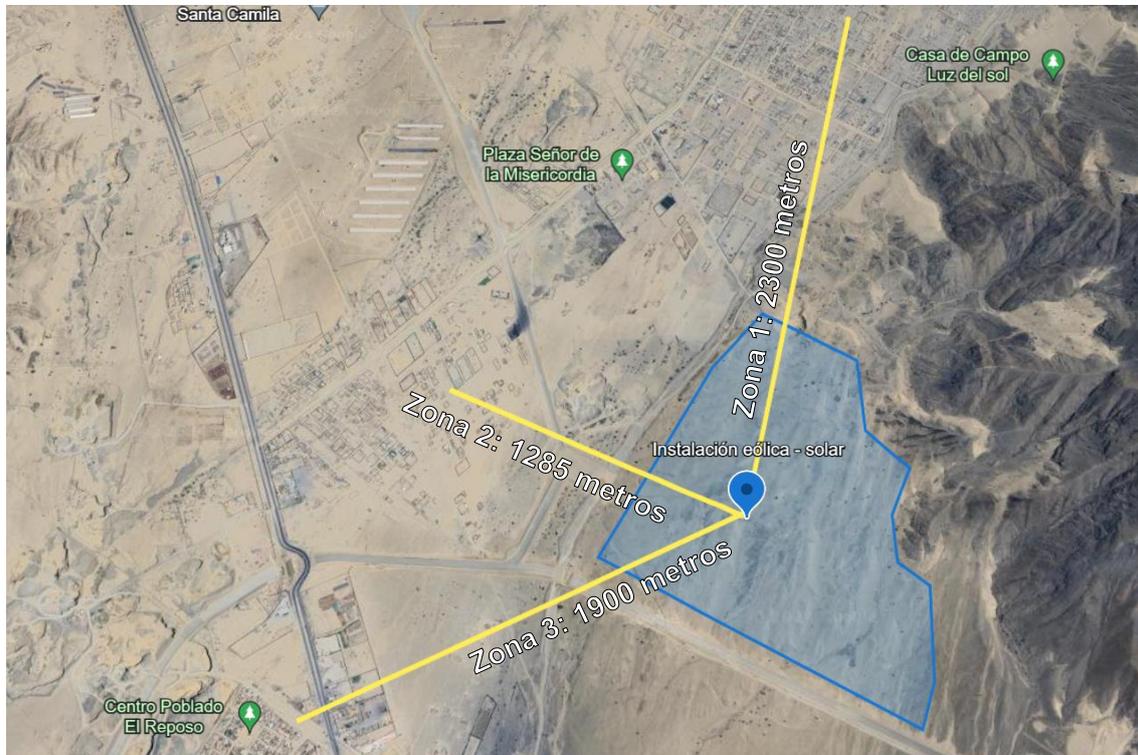


Figura 14. Zonas rurales consideradas para el suministro eléctrico. Tomado de Google Earth.

Según los datos analizados, se proyecta un total de 200 viviendas unifamiliares en total para las tres zonas consideradas. Por lo tanto, teniendo en consideración el Anexo 9, el consumo promedio mensual de una vivienda en la zona sería de 123.67 kWh, bajo este escenario, la demanda de energía máxima para las zonas rurales se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Demanda Máxima} = 123.67 \frac{\text{kWh}}{\text{vivienda}} (200 \text{ viviendas}) \approx 24.734 \frac{\text{MWh}}{\text{mes}}$$

Por lo tanto, la potencia sobrante del sistema híbrido sería la sumatoria de la producción eólica y solar, pero restando la energía requerida para las viviendas de las zonas rurales.

Tercer objetivo, dimensionar el sistema híbrido para el suministro constante de energía eléctrica en la zona rural

Para determinar la producción de energía eólica, primeramente, se debe tener en cuenta la altura de la turbina eólica, según la tabla del Anexo 06, se tiene una producción a 120 metros de altura respecto a la superficie.

Reaplicando la ecuación (2.6) y teniendo como referencia la Figura 10, se obtiene el flujo de viento de 3.50 m/s a 120 metros de altura.

$$U(z) = \left(\frac{120 \text{ m}}{10 \text{ m}}\right)^{0.25} (3.5 \text{ m/s}) \approx 6.50 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, el potencial eólico en la zona es de máximo 6.50 m/s, la cual puede expresarse en términos de potencia, al considerar el área de barrido de la turbina, según el Anexo 06.

$$P_{eólica} = (1/2)(1.223 \text{ kg/m}^3)(20106 \text{ m}^2)(6.50 \text{ m/s})^3$$

$$P_{eólica} \approx 3376.50 \text{ kW}$$

Entonces, la potencia nominal máxima que puede alcanzar sería de 3376.50 kW por cada turbina instalada. Sin embargo, se debe considerar la curva de potencia de la misma (Anexo 12), donde para el mismo flujo de viento, se obtiene 1525.50 kW. Entonces, la eficiencia de la turbina sería el que se muestra a continuación.

$$\eta_{turbina} = \frac{1525.50 \text{ kW}}{3376.50 \text{ kW}} \approx 0.452$$

Para determinar la distancia entre turbinas, se toma como referencia la Figura 4 y el diámetro del rotor de la turbina seleccionada en el Anexo 06.

La distancia horizontal (a) entre turbinas, sería 4 veces el diámetro del rotor, con un total de 640 metros. En contraste, la distancia vertical (b) sería 8 veces el mismo diámetro, con un total de 1280 metros.

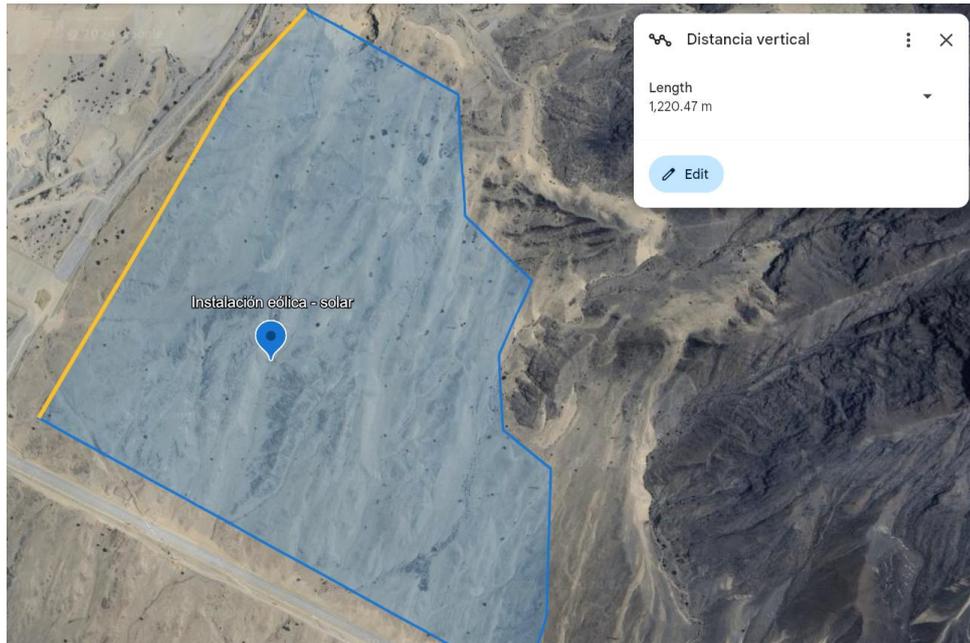


Figura 15. Distancia vertical disponible en el área del proyecto, donde se muestra una distancia de 1220 metros disponible para la instalación. Tomado de Google Earth

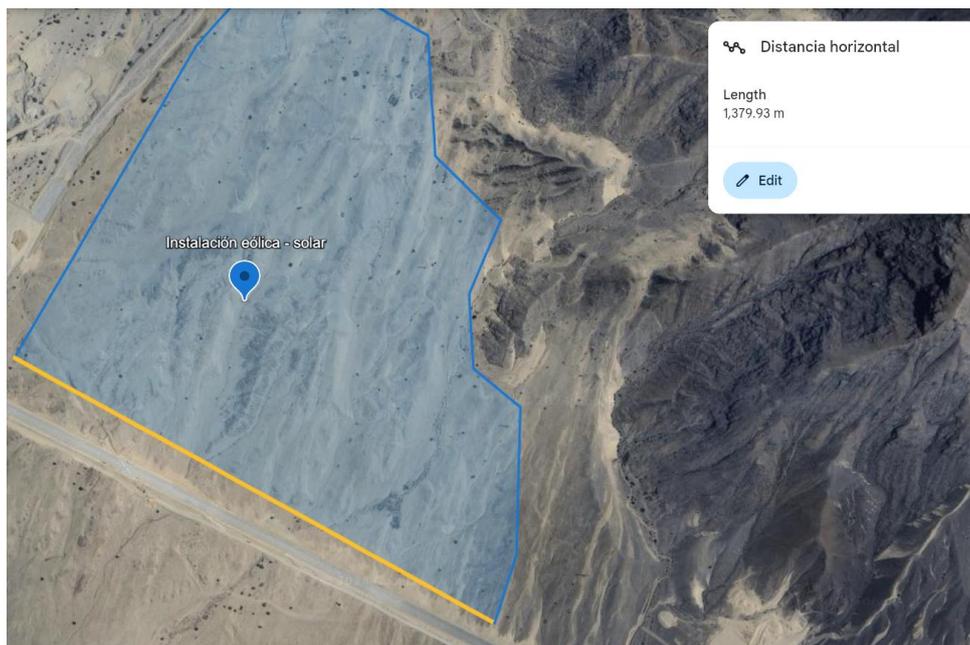


Figura 16. Distancia horizontal disponible en el área del proyecto, donde se muestra la distancia de 1380 metros disponible para la instalación. Tomado de Google Earth

Entonces, en base a la Figura 13 y la Figura 14, el número de turbinas sería de 4 en total, siendo 3 de forma horizontal y 1 de forma vertical.

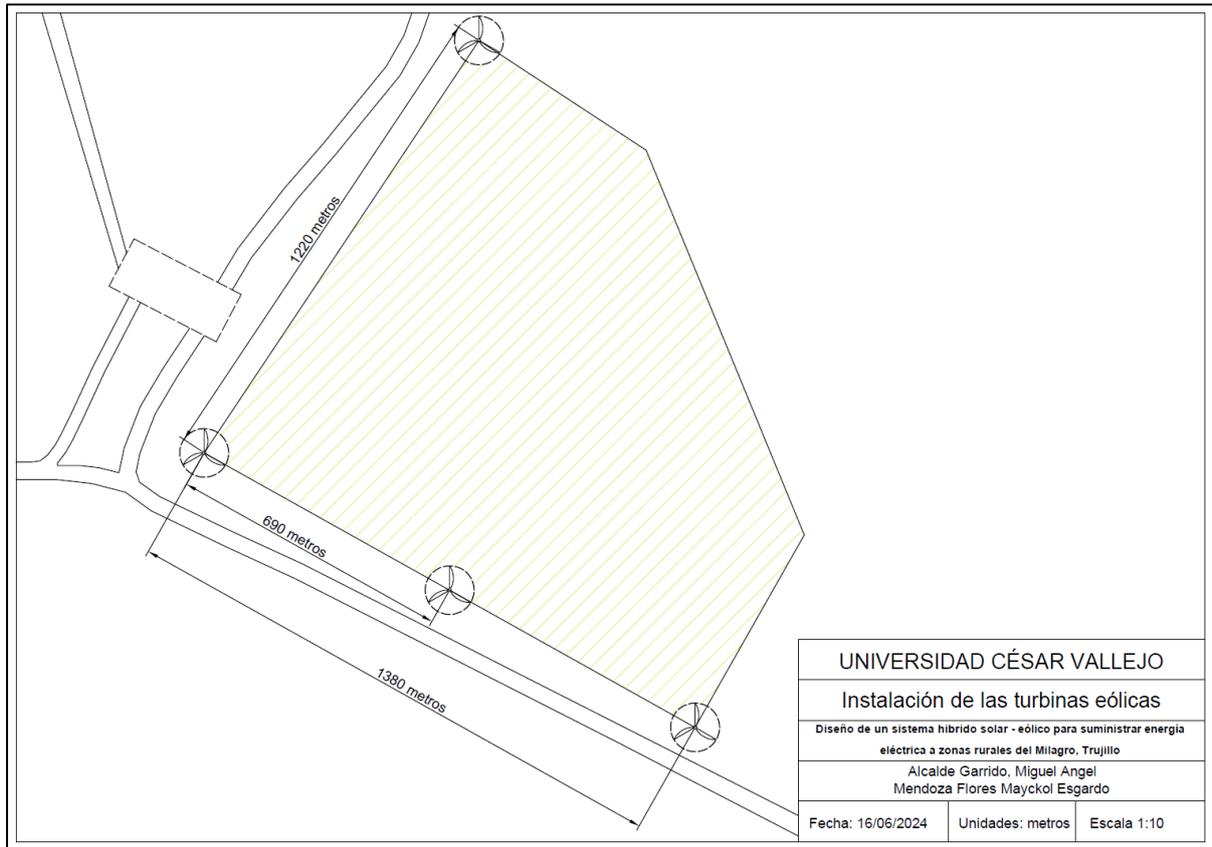


Figura 17. Instalación de las turbinas eólicas, donde se muestra la distribución en función de las distancias permisibles indicadas, así como también, se observa el área señalada en amarillo, la cual contendrá los módulos solares.

Para determinar la producción de energía solar, se debe tener en cuenta la eficiencia y área del módulo solar, como se visualiza en el Anexo 07. Además, se toma como referencia el valor promedio de irradiación solar del Anexo 04.

$$P_{out} = 5.57 \frac{kWh}{m^2} (1.658)(0.994)m^2 (15.17\%) \approx 1.39 \frac{kWh}{día}$$

Por lo tanto, la potencia nominal sería de 1.39 kWh/día por cada panel instalado en la zona.

Para determinar el número filas de los paneles solares, se aplica la ecuación (2.4).

$$Filas = \frac{750 V}{30.20 V} \approx 24$$

Para determinar el número de columnas para los paneles solares, se aplica la ecuación (2.5).

$$Columnas = \frac{16.50 A}{8.28 A} \approx 2$$

Por lo tanto, el inversor solar puede soportar un máximo de 48 paneles solares. Entonces, de considerar más paneles en el área, se debe implementar más de un inversor solar.

Para determinar la distancia entre cada panel, se debe aplicar la ecuación (2.3).

$$d = \frac{331 \text{ mm}}{\tan (61 - 7.995)} \approx 250 \text{ mm}$$

Para calcular el número de paneles verticales en función del área que se muestra en la Figura 15, se considera las dimensiones del panel, espaciado y la longitud total del área.

$$Ancho_{panel} = 0.994 \text{ m}$$

$$d = 0.250 \text{ m}$$

$$L_{terreno} = 1220 \text{ metros}$$

$$1220 \text{ m} = N_{paneles} \times 0.994 \text{ m} + (N + 1) \times 0.25 \text{ m}$$

$$N_{paneles} = 980 \text{ paneles}$$

Para calcular el número de paneles horizontales en función del área que se muestra en la Figura 14, se considera las dimensiones del panel, espaciado de seguridad y el ancho total del área.

$$L_{panel} = 1.658 \text{ m}$$

$$d = 0.250 \text{ m (por seguridad)}$$

$$A_{terreno} = 1220 \text{ metros}$$

$$1380 \text{ m} = N_{paneles} \times 1.658 \text{ m} + (N + 1) \times 0.25 \text{ m}$$

$$N_{paneles} \approx 723 \text{ paneles}$$

Según los cálculos, se podría disponer de hasta 708 540 paneles en el área propuesta. Sin embargo, como parte del área presenta desniveles que podrían afectar la operación de los paneles, solo se considerará 100 000 paneles en el área (Ver Anexo 15).

Para estimar la producción energética de la planta solar, se toma el valor promedio de irradiación solar del Anexo 4 y se utiliza la ecuación (2.2)

$$P_{solar} = 5.57 \frac{kWh}{m^2} \times 1.658 \times 0.994 m^2 \times 0.1517 \approx 1.39 kWh$$

El resultado obtenido indica que se produciría 1.39 kWh por día en cada panel, entonces, la producción de todos los paneles sería como se visualiza a continuación.

$$P_{solar} = 1.39 \frac{kWh}{panel} \times 100\,000\, paneles = 139\,000 \frac{kWh}{día}$$

Básicamente, el resultado anterior se puede expresar en términos de horas, dividiendo la producción por 24 horas, se obtiene una producción total de 5791.67 kWh.

Para los paneles solares, la potencia total mensual generada sería la siguiente.

$$E_{solar} = 139\,000 \frac{kWh}{día} \times 30 \frac{días}{mes} = 4170 \frac{MWh}{mes}$$

Para las turbinas eólicas, la potencia total mensual generada sería la siguiente

$$E_{eólica} = 1525.50 \frac{kW}{turbinas} \times 4\, turbinas \times 24\, h \times 30\, días = 4393.44 \frac{MWh}{mes}$$

Teniendo en cuenta que la irradiación solar promedio en la zona es de 5.57 kWh/m² por día, entonces, dicho valor se divide por 24 horas para obtener el valor real de la irradiación que será simulada en el software SolidWorks.

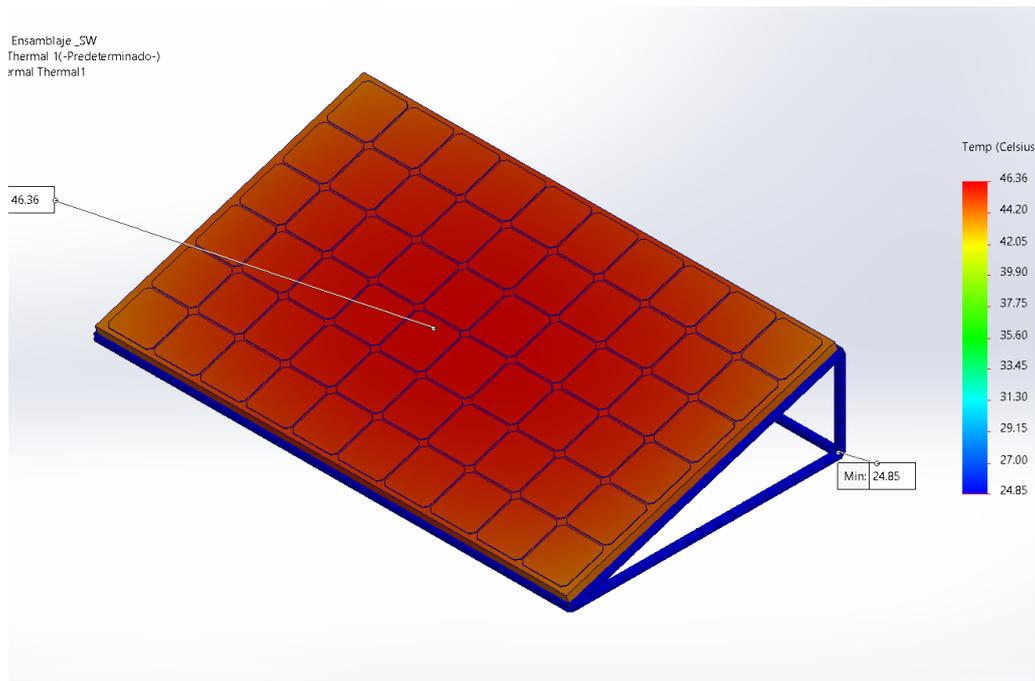


Figura 18. Simulación térmica del panel solar, donde se muestra que bajo la irradiación solar de 232.10 Watts/m² y una temperatura ambiente de 25° C, la superficie del panel alcanza los 46° C en la zona céntrica, mientras que en los extremos disminuye hasta 42° C.

En bases a los antecedentes planteados, se modeló una turbina eólica esquemática, como se demuestra en la Figura 19, donde se puede observar que las dimensiones cumplen con lo establecido en la ficha técnica. Por lo tanto, el modelo resultante, se utilizará para simular el comportamiento del viento y la pérdida de energía cinética del mismo para analizar la producción energética.

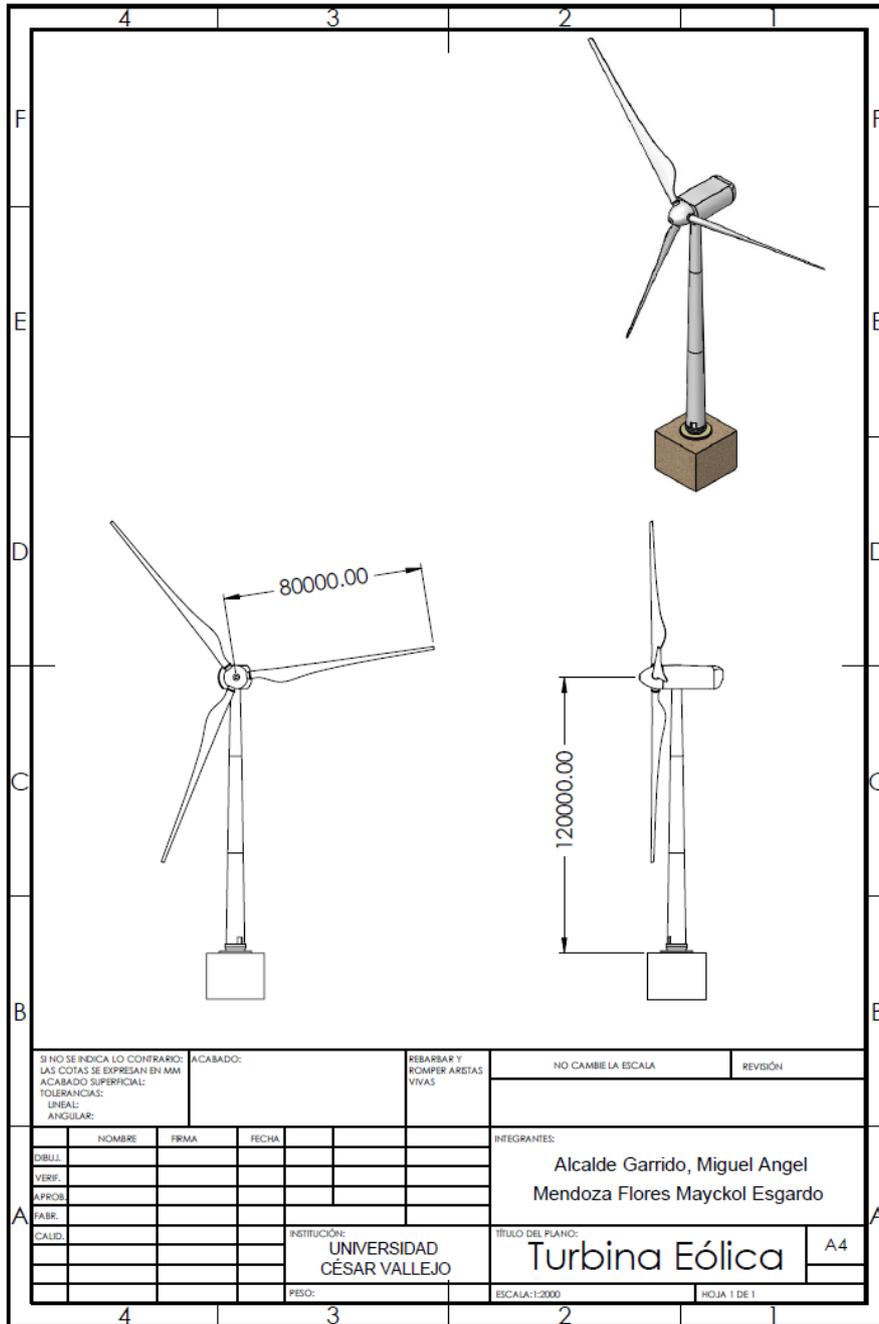


Figura 19. Plano de la turbina eólica propuesta para la zona. Elaborado en SolidWorks.

En la Figura 20, se puede visualizar el aerogenerador mostrado en el bosquejo de la Figura 19.



Figura 20. Aerogenerador remasterizado mediante SolidWorks.

En la Figura 21, se puede observar la simulación Computational Fluid Dynamics (CFD) sobre el aerogenerador dimensionado.

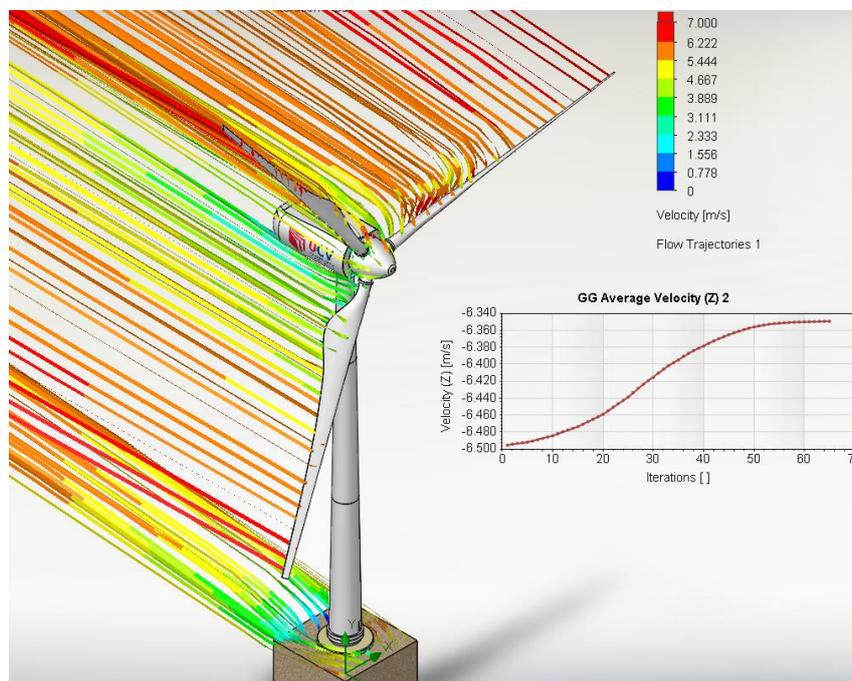


Figura 21. Simulación CFD, donde se puede observar que el flujo de viento se reduce hasta 5.50 m/s aproximadamente, luego de traspasar el rotor.

Cuarto objetivo, evaluar la factibilidad económica de la implementación del sistema híbrido.

Teniendo en consideración el Anexo 10, se determina el costo total para el proyecto eólico.

$$C_{eólica} = \left(3461 \frac{USD}{kW}\right) \left(3376.50 \frac{kW}{turbinas}\right) (4 \text{ turbinas}) \approx 45.744 \text{ Millones de USD}$$

Teniendo en consideración el Anexo 11, se determina el costo total para el proyecto solar para 10 000 kW, por su aproximación a la potencia nominal de la planta solar.

$$P_{nominal \text{ solar}} = \left(250 \frac{W}{panel}\right) (100 \text{ 000 paneles}) = 25 \text{ 000 kW}$$

$$C_{solar} = \left(1300 \frac{USD}{kW}\right) (25 \text{ 000 kW}) \approx 32.5 \text{ Millones de USD}$$

Por lo tanto, el costo total del proyecto C_c sería la sumatoria de $C_{eólica}$ y C_{solar} . En contraste, el precio ofertado por la energía total generada por el sistema híbrido sería el que se visualiza en el Anexo 9. Por lo tanto, aplicando la ecuación (2.15), se obtiene el periodo de retorno de la inversión.

$$E_{anual} = \left(4170 \frac{MWh}{mes} + 4393.44 \frac{MWh}{mes}\right) 12 \frac{meses}{año} \approx 102 \text{ 761.28} \frac{MWh}{anual}$$

$$Payback = \frac{(45.744 + 32.5) \times 10^6 \text{ USD}}{0.081 \frac{USD}{kWh} \left(102 \text{ 761.28} \times 10^3 \frac{kWh}{año}\right)} \approx 9 \text{ años y medio}$$

Para determinar el TIR del proyecto, se aplica la ecuación (2.16), considerando el flujo efectivo neto. Por lo tanto, primeramente, se debe determinar el flujo saliente y entrante anual, producto de la inversión total.

$$F_{saliente} = (45.744 + 32.5) \times 10^6 \text{ USD} \approx 78.244 \text{ Millones USD}$$

$$F_{entrante} = 0.081 \frac{USD}{kWh} \left(102 \text{ 761.28} \times 10^3 \frac{kWh}{año}\right) \times 20 \text{ años} \approx 166.473 \text{ Millones USD}$$

Ahora, se determina el flujo efectivo, en base a la diferencia entre el flujo entrante y flujo saliente.

$$F_{neto} = 166.473 \times 10^6 - 78.244 \times 10^6 \approx 88.229 \text{ Millones USD}$$

Aplicando la ecuación (2.16), se determina el TIR del proyecto, considerando un periodo de 20 años, debido a que es la vida útil proyectada para los aerogeneradores.

$$TIR = \left(\frac{88.229 \times 10^6}{78.244 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{20}} - 1 \approx 0.60\%$$

Como se puede observar, el proyecto dispone de un TIR de 0.60% de rentabilidad, siendo económicamente factible, debido a que el valor es positivo. No obstante, para una mejor evaluación, se determinará el VAN usando la ecuación (2.17)

$$VAN = -I_o + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde C_n sería el beneficio anual en el periodo de tiempo escogido, considerando el flujo de efectivo neto.

$$C_n = \frac{88.229 \text{ Millones USD}}{20 \text{ años}} \approx 4.41 \text{ Millones USD anual}$$

Tabla 2. Valor Actual Neto (VAN) para cada periodo

Inversión	Beneficio	Año	Beneficio TIR	Resultado
		1	1.0060	4.39E+06
		2	1.0120	4.36E+06
		3	1.0181	4.33E+06
		4	1.0242	4.31E+06
		5	1.0304	4.28E+06
		6	1.0365	4.26E+06
		7	1.0428	4.23E+06
		8	1.0490	4.21E+06
		9	1.0553	4.18E+06
7.82E+07	4.41E+06	10	1.0616	4.16E+06
		11	1.0680	4.13E+06
		12	1.0744	4.11E+06
		13	1.0809	4.08E+06
		14	1.0874	4.06E+06
		15	1.0939	4.03E+06
		16	1.1004	4.01E+06
		17	1.1070	3.98E+06
		18	1.1137	3.96E+06
		19	1.1204	3.94E+06

20	1.1271	3.91E+06
Sumatoria		8.29E+07

Aplicando la ecuación (2.17), se obtiene el VAN del proyecto para los 20 años proyectados.

$$VAN = -78.244 \times 10^6 \text{ USD} + 82.90 \times 10^6 \text{ USD} \approx 4.66 \text{ Millones USD}$$

Para una mejor proyección, considerando el contexto económico peruano, se considera una tasa de descuento del 5.75% (Ver Anexo 16). Repitiendo el procedimiento para la Tabla 2, se obtiene el nuevo VAN del proyecto.

Tabla 3. Valor Actual Neto (VAN) para cada periodo con tasa de descuento del BCRP

Inversión	Beneficio	Año	Tasa de descuento	Resultado
		1	1.0575	4.17E+06
		2	1.1183	3.94E+06
		3	1.1826	3.73E+06
		4	1.2506	3.53E+06
		5	1.3225	3.34E+06
		6	1.3986	3.15E+06
		7	1.4790	2.98E+06
		8	1.5640	2.82E+06
		9	1.6540	2.67E+06
7.82E+07	4.41E+06	10	1.7491	2.52E+06
		11	1.8496	2.39E+06
		12	1.9560	2.26E+06
		13	2.0684	2.13E+06
		14	2.1874	2.02E+06
		15	2.3132	1.91E+06
		16	2.4462	1.80E+06
		17	2.5868	1.71E+06
		18	2.7356	1.61E+06
		19	2.8929	1.52E+06
		20	3.0592	1.44E+06
		Sumatoria		5.16E+07

Aplicando la ecuación (2.17), se obtiene el VAN del proyecto para los 20 años proyectados.

$$VAN = -78.244 \times 10^6 \text{ USD} + 51.60 \times 10^6 \text{ USD} \approx -26.64 \text{ Millones USD}$$

Bajo las condiciones que ofrece la tasa de descuento referencial del Banco Central de la Reserva del Perú (BCRP), el VAN resultante fue negativo. Por lo tanto, se debe considerar únicamente la tasa reflejada por el TIR de 0.60%.

Tomando la tasa reflejada por el BCRP y la tasa obtenida por la ecuación del TIR, se calcula la fracción entre ambas.

$$R = \frac{5.75\%}{0.60\%} \approx 10$$

En base al resultado previo, se puede estimar que la tasa del BCRP es 10 veces mayor a la tasa obtenida por el TIR.

IV. DISCUSIÓN

Para el primer objetivo de la investigación, teniendo en cuenta los datos meteorológicos extraídos del RETScreen y en base a la teoría de cizalladura del viento propuesta por Manwell, Mcgowan y Rogers en el año 2009, se puede deducir que el flujo de viento aumenta la magnitud a mayor altura, así como se puede visualizar en la Figura 7. Además, la variación de dicha magnitud está en función de la altura de medición del viento y el viento referencial medido.

Al momento de procesar estadísticamente los datos del flujo de viento, se observó una disparidad entre los resultados de la Distribución de Rayleigh y la Distribución de Weibull, así como se observa en la Figura 8 y Figura 11. Esta disparidad es debido a los parámetros utilizados en cada distribución, la ecuación de Rayleigh está en función del flujo de viento promedio entre el año 2017 y 2022, en cambio la ecuación de Weibull está en función de la variación entre datos del mismo periodo de tiempo. Por lo tanto, se considera que la distribución de Weibull es más precisa, ya que evalúa estadísticamente la variación entre todos los datos para crear una proyección del flujo de viento.

Como se observa en la Figura 13, el módulo solar dispone de un bajo ángulo de inclinación, según la ecuación teórica del autor Cantos Serrano en su publicación del año 2016. Dicho resultado cobra relevancia al observar la ubicación geográfica del proyecto en la Figura 12, donde se puede determinar que las coordenadas son próximas a la línea Ecuatorial, por lo tanto, se tiene una latitud muy reducida, conllevando al reducido ángulo de inclinación de los paneles solares.

Para el segundo objetivo de la investigación, se puede observar que existen tres zonas rurales, donde en total se dispone de 200 viviendas unifamiliares, asumiendo que en promedio consumen 123.67 kWh por mes, así como se puede observar en el anexo 9, se estima que en total el sistema tiene que proveer hasta 24.734 MWh mensualmente durante cada año.

Para el tercer objetivo de la investigación, en base a la ecuación teórica para determinar la potencia del aerogenerador, provista por Manwell, Mcgowan y Rogers en su publicación del año 2009, se estima que el potencial eólico máximo disponible en la zona es de 3376.50 kW por hora. En contraste, utilizando los principios teóricos

de Cantos Serrano en su publicación del año 2016, se calculó 139 000 kWh por día mediante la instalación de 100 000 paneles solares.

Teniendo en consideración la efectividad de cada sistema, se dispone de una eficiencia de 45.20%, según la curva de potencia del aerogenerador. En contraste, el sistema solar dispone de 15.17% de eficiencia, según la ficha característica del propio equipo. Por lo tanto, la producción energética final fue de 4170 MWh por mes en los 100 000 paneles solares y de 4393.44 MWh por mes en las cuatro turbinas eólicas.

Como se puede visualizar en la Figura 18, la simulación muestra que la temperatura en el panel asciende hasta 46° centígrados, para una irradiancia solar recibida de hasta 232.10 W/m² por hora. En contraste, la Figura 21 muestra que, según la simulación resultante, el flujo de viento pierde energía cinética luego de pasar por la turbina eólica, descendiendo hasta un aproximado de 6.30 m/s.

Para el cuarto objetivo de la investigación, en base a la teoría recopilada de los autores Manwell, McGowan y Rogers, se obtuvo un retorno de la inversión en 9 años y medio. Además, en comparación con los resultados del autor Edwin Escalante Navarro en su publicación del año 2021, donde se muestra que el periodo de reinversión de su proyecto fue de 4 años y 9 meses, se puede deducir que es relativamente similar. Asimismo, mencionando el aporte teórico de Karidys Morales en su publicación del año 2022, estima que la vida útil de los sistemas híbridos podría alcanzar hasta los 25 años de operatividad continua. Por lo tanto, se deduce que el proyecto propuesto es técnicamente viable, ya que durante los primeros años sería para recuperar la inversión y el tiempo restante sería netamente beneficio económico para la posible empresa encargada del proyecto.

Teniendo en consideración el TIR, se deduce que el proyecto guarda una rentabilidad de 0.60%. En contraste, el VAN del proyectado muestra que la ganancia total en los 20 años de operatividad, sería de 4.66 millones de dólares americanos. Los resultados hallados guardan relevancia con investigaciones como Alex De La Torres en su publicación del año 2022, donde se infiere que existe un ahorro económico substancial usando energías renovables. Asimismo, Fátima Gómez en su publicación del año 2020, indica que existe la viabilidad económica en los sistemas híbridos.

V. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados durante el primer objetivo se consideran correctos y respaldados por fundamentos teóricos. Por lo tanto, se establece que la Distribución de Weibull es la función más precisa para el estudio de los datos del flujo de viento, siendo estos mismos variable en base a la altura proyectada para la explotación energética. Además, se puede deducir que los países cercanos a la línea Ecuatorial, pueden instalar paneles con reducidos ángulos de inclinación hacia el sol.

Los resultados del segundo objetivo, establecen que la cantidad de viviendas en las zonas rurales de El Milagro son de 200 hogares, simbolizando una carga total de 24.734 MWh por mes, que debe ser suplida por el sistema propuesto.

Los resultados del tercer objetivo, calculados mediante ecuaciones teóricas, determinan que el potencial eólico disponible para la explotación fue de 4393.44 MWh, mediante el empleo de 4 turbinas eólicas. En contraste, se dispone de hasta 139 000 kWh de energía solar explotable, en base a la utilización de 100 000 módulos. Por lo tanto, en conjunto en conjunto, el sistema híbrido puede disponer de hasta 102 761.28 *MWh* por año.

Finalmente, el retorno de la inversión del proyecto, calculada mediante ecuaciones matemáticas, fue de 9 años y medio, donde, una vez culminado dicho periodo, los años restantes serían únicamente beneficio económico. Además, considerando el TIR y VAN del proyecto, se puede deducir que el proyecto guarda cierta rentabilidad para su ejecución.

VI. RECOMENDACIONES

Para el primer objetivo, se recomienda la extracción de datos de estaciones meteorológicas, de forma que brinden información más precisa acerca del flujo de viento e irradiación solar.

Para el segundo objetivo, se recomienda ejecutar censos acerca del consumo energético por cada vivienda unifamiliar establecida en las zonas rurales seleccionadas.

Para el tercer objetivo, es recomendable ejecutar simulaciones más precisas que ayuden a determinar el comportamiento de los paneles solares y las turbinas eólicas en la zona de estudio.

Para el cuarto objetivo, es recomendable incluir en los costos totales del proyecto, el mantenimiento durante la vida útil proyectada del sistema híbrido. Además, también se debe considerar los costos por repotenciación del sistema, en caso de que aplique a los equipos.

REFERENCIAS

BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación. 3.a. ed. México: Grupo Editorial Patria. 2017. 157 pp. ISBN 9786077447481.

CABEZAS, Edison, NARANJO, Diego y SANTAMARÍA, Johana. Introducción a la metodología de la investigación científica. Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 2018. 138 pp. ISBN 9789942765444

CANTOS, Julián. Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas. España: Ediciones Paraninfo, SA, 2016. 341 pp. ISBN: 9788428337564

CARTA, José. Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables. España: Pearson Educación, S.A., 2009. 730 pp. ISBN: 978-84-8322-600-1

CEGARRA, José. Metodología de la Investigación Científica y Tecnología. España: Ediciones Diaz de Santos. 2004. 372 pp. ISBN: 8479786248

COLEGIO de Ingenieros del Perú. Código de ética del colegio de ingenieros del Perú. 2018. Perú. 1987. 36 pp.

https://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo_de_etica_del_cip.pdf

COLEGIO de Ingenieros del Perú. Código deontológico del colegio de ingenieros del Perú. 2012. Perú. 2018. 33 pp.

https://www.cip.org.pe/publicaciones/2018/CODIGO_DEONTOLOGICO2012.pdf

CÓNDOR, Henry. Generación distribuida con energías renovables en Perú. (Tesis de Grado). Piura: Universidad de Piura, 2020. Disponible en <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/37c6b1a3-ce32-435a-9502-37f4dad41cb6/content>

COCHANCELA, Jhonnatan y ASTUDILLO, Patricio. Análisis energético de centrales eólicas. (Tesis de Grado). Ecuador: Universidad de Cuenca, 2012. Disponible en <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/699/4/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n.pdf>

DE LA TORRE, Alex. Diseño De Un Sistema De Generación Distribuida Fotovoltaica Para El Bloque “D” Del Campus Sur De La Universidad Politécnica Salesiana. (Tesis de Grado). Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2022. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23321>

DIRECCIÓN General de Electricidad. Atlas Eólico del Perú. Ministerio de Energías y Minas del Perú [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 05 de junio del 2024]. Disponible en <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=537>

ESCALANTE, Edwin. Diseño De Un Sistema De Generación Distribuida Para Autoconsumo En El Distrito De Soritor Provincia De Moyobamba En San Martín. (Tesis de Grado). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2021. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10148>

FERNÁNDEZ, Franco et al. Energía híbrida para áreas rurales dispersas de la provincia de Santiago del Estero (Argentina) en el marco de los ODS 2030 y las MDBA. Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información [en línea]. Enero 2022, volumen 9, n° 17. [Fecha de consulta: 15 de mayo del 2024]. Disponible en <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/216212> ISSN 2357-3716.

GÓMEZ, Fátima. Proyecto De Instalación Renovable Híbrida (Solar + Eólica). (Tesis de Magister). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2020. Disponible en https://oa.upm.es/71501/3/TFM_%20Fatima_Gomez.pdf

HADIDIAN, Mohammad. Power Quality Improvement In The Distribution Network Using Optimization Of The Hybrid Distributed Generation System. (Tesis de Doctorado). Australia: Victoria University, 2021. Disponible en https://vuir.vu.edu.au/42518/1/MOGHADDAM_Mohammad_Jafar_Hadidian-thesis_nosignature.pdf

HERNÁNDEZ, Gallego. Análisis de Factibilidad para la Instalación de un Sistema de Energía Limpia Mediante Celdas Fotovoltaicas para la Alimentación Eléctrica Del Edificio 4 en el ITSLV. (Tesis de Grado). México: CIATEQ A.C., 2017. https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallego_sRodolfo%20MMANAV%202017.pdf

HERNÁNDEZ, Álvaro. Huella de Carbono: ¿Qué significa para tu empresa?. Mazars [en línea]. 09 de Diciembre del 2012. [Fecha de consulta: 05 de junio del 2024]. Disponible en <https://creandosolucionesdevalor.com/2020/12/09/huella-de-carbono-empresa/>

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. 6ta ed. Metodología De La Investigación. México: MCGraw – Hill / Interamericana Editores. 2014. 634 pp. ISBN: 9781456223960.

HERNÁNDEZ, Roberto, MÉNDEZ, Sergio, MENDOZA, Christian y CUEVAS, Ana. Fundamentos de Investigación. México: MCGraw – Hill / Interamericana Editores. 2017. 268 pp. ISBN: 978-607-15-1395-3

KOSKY, Philip, BALMER, Robert, KEAT, William, WISE, George. 5.a. ed. Exploring Engineering: An Introduction to Engineering and Design. Estados Unidos: Elsevier Inc. 2020. 633 pp. ISBN: 978-0-12-815073-3

OFICINA TÉCNICA DE DIFUSIÓN. Nota de Prensa. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [en línea]. 15 de diciembre del 2017, 15, n° 217. [Fecha de consulta: 05 de junio del 2024]. Disponible en <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n217-2015-inei.pdf>

GUTERRES, António. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas [en línea]. Junio 2023 [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://peru.un.org/es/245789-informe-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible> ISSN: 2521 – 690.

JONES, Fabian. Hottest July ever signals 'era of global boiling has arrived – UN News. Organización de las Naciones Unidas [en línea]. 27 Julio 2023. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://news.un.org/en/story/2023/07/1139162>

LANTZ, Eric. Distributed Wind Energy Futures Study. NREL: Transforming Energy [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://www.nrel.gov/analysis/distributed-wind-futures.html>

MCCABE, Kevin, PRASANNA, Ashreeta, LOCKSHIN, Jane, BHASKAR, Parangat, BOWEN, Thomas, BARANOWSKI, Ruth, SIGRIN, Ben, LANTZ, Eric. Distributed Wind

Energy Futures Study. National Renewable Energy Laboratory [en línea]. Mayo del 2022. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://www.nrel.gov/analysis/distributed-wind-futures.html>

MANWELL, James, MACGOWAN, Jon y ROGERS, Anthony. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. 2.a ed. Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2009, 705 pp. ISBN: 9780470015001.

MORALES, Karidys. Generación Distribuida Basada En Sistemas Híbridos Caso De Estudio: La Guajira, Colombia. (Tesis de Magister). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2022.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81244>

ORRELL, Alice. Use Cases for Distributed Wind in Rural Electric Cooperative Service Areas. NRECA: America's Electric Cooperatives [en línea]. Abril 2021. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://www.cooperative.com/programs-services/bts/radwind/Documents/RADWIND-Use-Cases-Report-April-2021.pdf>

PATEL, Mukund. Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation. 2.a. ed. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2006. 473 pp. ISBN: 978-0-8493-1570-1

SCHMERLER, Daniel. Energías Renovables: Experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética. OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [en línea]. Noviembre 2019. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)

SHAFTEL, Holly. The Causes of Climate Change: Vital Signs of the Planet. Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) [en línea]. 8 Noviembre 2023. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en https://climate.nasa.gov/causes/#otp_the_role_of_humans

THE 17 GOALS - Sustainable Development Goals. Base de datos. Organización de las Naciones Unidas (ONU) [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://sdgs.un.org/goals>

TAN, David. y SENG, Ang. Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems. Singapore: Energy Market Authority, 2019. 60 pp. ISBN: 9789810844622.

TREBEJO, Irene. Atlas De Energía Solar Del Perú. SENAMHI: Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología Del Perú [en línea]. Enero 2003. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/343>

VILLARRUBIA, Miguel. Ingeniería de la Energía Eólica. México: Alfaomega Grupo Editor S.A, 2013. 278 pp. ISBN: 9788426715807

World Energy Outlook 2022. Base de datos. Francia: Agencia Internacional de la Energía (IEA) [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023]. Disponible en <https://iea.blob.core.windows.net/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente: Sistema híbrido eólico – solar	Sistema caracterizado por la cooperación simultánea en la producción de energía eléctrica mediante aerogeneradores y paneles fotovoltaicos (Hadidian, 2021, p.64).	Sistema dual de generación de energía eléctrica mediante la irradiación solar y el flujo de viento. (Hadidian, 2021, p.64).	Sistema solar	Irradiación	Razón
				Temperatura ambiente	
			Sistema eólico	Flujo de viento	
				Dirección del viento	
Dependiente: Suministro de energía eléctrica	Centrada en el suministro de energía eléctrica, caracterizada por encontrarse cerca de los puntos de consumo, las cuales disponen con la capacidad suficiente como para cubrir cierta demanda de energía. (De La Torre, 2022, p. 9).	Tipo de suministro de potencia eléctrica, distinguida por la generación cerca de las cargas que demandan energía. (De La Torre, 2022, p. 9).	Potencia eléctrica	Voltaje	Razón
				Intensidad	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumento	Validación
Análisis documental	La ficha de registro, compuesta por una hoja y/o libreta de notas. Donde se registrará información de periódicos, cuadros, mapas, base de datos y diversos dispositivos.	Por asesor especialista

Fuente: Elaboración propia

Month	Air temperature	Relative humidity	Precipitation	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days 18 °C	Cooling degree-days 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	22.2	80.5%	9.92	7.13	97.8	4.1	22.2	0	378
February	22.9	79.8%	12.04	7.05	97.7	4.0	23.3	0	361
March	22.8	81.1%	13.95	6.95	97.7	3.7	23.2	0	397
April	21.3	83.3%	12.00	6.40	97.8	3.9	21.6	0	339
May	19.8	84.6%	3.72	5.27	97.8	3.9	20.4	0	304
June	19.4	83.2%	1.20	3.88	97.9	3.9	19.5	0	282
July	18.7	84.2%	1.24	3.79	97.9	3.6	19.1	0	270
August	18.0	84.9%	0.93	4.02	97.9	3.6	18.9	0	248
September	17.8	84.8%	3.00	4.45	97.9	4.2	18.9	6	234
October	18.5	83.7%	7.75	5.27	97.9	4.2	18.9	0	264
November	19.4	82.4%	7.20	6.06	97.9	4.0	19.5	0	282
December	20.9	81.3%	7.44	6.70	97.8	4.0	20.8	0	338
Annual	20.1	82.8%	80.39	5.57	97.8	3.9	20.5	6	3,696
Source	Ground	Ground	NASA	NASA	NASA	Ground	NASA	Ground	Ground
Measured at					m	10	0		

Anexo 4. Datos meteorológicos hasta el año 2024 en la zona rural de El Milagro a 10 metros de altura sobre la superficie. Tomados del programa RETScreen Expert.

Anexo 5. Datos procesados mensualmente del flujo de viento durante el periodo comprendido entre el año 2017 y 2022

V (m/s)	Relativa	F	$\ln[-\ln(1 - F)]$	$\ln(v)$	$x_i - x$	$(x_i - x)^2$	$y_i - y$	$(x_i - x)(y_i - y)$
2.42	0.0139	0.0139	-4.2697	0.8838	-0.1827	0.0334	-7.4197	1.3553
2.52	0.6389	0.6528	0.0562	0.9243	-0.1422	0.0202	-3.0938	0.4398
2.52	0.6389	0.6528	0.0562	0.9243	-0.1422	0.0202	-3.0938	0.4398
2.52	0.6389	0.6528	0.0562	0.9243	-0.1422	0.0202	-3.0938	0.4398
2.54	0.6389	0.6528	0.0562	0.9322	-0.1343	0.0180	-3.0938	0.4154
2.61	0.6389	0.6528	0.0562	0.9594	-0.1071	0.0115	-3.0938	0.3313
2.62	0.6389	0.6528	0.0562	0.9632	-0.1033	0.0107	-3.0938	0.3194
2.64	0.6389	0.6528	0.0562	0.9708	-0.0956	0.0091	-3.0938	0.2959
2.66	0.6389	0.6528	0.0562	0.9783	-0.0881	0.0078	-3.0938	0.2726
2.67	0.6389	0.6528	0.0562	0.9821	-0.0843	0.0071	-3.0938	0.2610
2.68	0.6389	0.6528	0.0562	0.9858	-0.0806	0.0065	-3.0938	0.2494
2.69	0.6389	0.6528	0.0562	0.9895	-0.0769	0.0059	-3.0938	0.2379
2.69	0.6389	0.6528	0.0562	0.9895	-0.0769	0.0059	-3.0938	0.2379
2.70	0.6389	0.6528	0.0562	0.9933	-0.0732	0.0054	-3.0938	0.2264
2.71	0.6389	0.6528	0.0562	0.9969	-0.0695	0.0048	-3.0938	0.2150
2.71	0.6389	0.6528	0.0562	0.9969	-0.0695	0.0048	-3.0938	0.2150
2.73	0.6389	0.6528	0.0562	1.0043	-0.0621	0.0039	-3.0938	0.1922
2.74	0.6389	0.6528	0.0562	1.0080	-0.0585	0.0034	-3.0938	0.1809
2.74	0.6389	0.6528	0.0562	1.0080	-0.0585	0.0034	-3.0938	0.1809
2.75	0.6389	0.6528	0.0562	1.0116	-0.0548	0.0030	-3.0938	0.1696
2.77	0.6389	0.6528	0.0562	1.0188	-0.0476	0.0023	-3.0938	0.1472
2.77	0.6389	0.6528	0.0562	1.0188	-0.0476	0.0023	-3.0938	0.1472
2.77	0.6389	0.6528	0.0562	1.0188	-0.0476	0.0023	-3.0938	0.1472
2.80	0.6389	0.6528	0.0562	1.0296	-0.0368	0.0014	-3.0938	0.1139

2.80	0.6389	0.6528	0.0562	1.0296	-0.0368	0.0014	-3.0938	0.1139
2.83	0.6389	0.6528	0.0562	1.0403	-0.0262	0.0007	-3.0938	0.0809
2.84	0.6389	0.6528	0.0562	1.0438	-0.0226	0.0005	-3.0938	0.0700
2.84	0.6389	0.6528	0.0562	1.0438	-0.0226	0.0005	-3.0938	0.0700
2.87	0.6389	0.6528	0.0562	1.0543	-0.0121	0.0001	-3.0938	0.0375
2.87	0.6389	0.6528	0.0562	1.0543	-0.0121	0.0001	-3.0938	0.0375
2.88	0.6389	0.6528	0.0562	1.0578	-0.0086	0.0001	-3.0938	0.0267
2.88	0.6389	0.6528	0.0562	1.0578	-0.0086	0.0001	-3.0938	0.0267
2.88	0.6389	0.6528	0.0562	1.0578	-0.0086	0.0001	-3.0938	0.0267
2.88	0.6389	0.6528	0.0562	1.0578	-0.0086	0.0001	-3.0938	0.0267
2.89	0.6389	0.6528	0.0562	1.0613	-0.0052	0.0000	-3.0938	0.0160
2.90	0.6389	0.6528	0.0562	1.0647	-0.0017	0.0000	-3.0938	0.0053
2.91	0.6389	0.6528	0.0562	1.0682	0.0017	0.0000	-3.0938	-0.0053
2.91	0.6389	0.6528	0.0562	1.0682	0.0017	0.0000	-3.0938	-0.0053
2.92	0.6389	0.6528	0.0562	1.0716	0.0052	0.0000	-3.0938	-0.0160
2.92	0.6389	0.6528	0.0562	1.0716	0.0052	0.0000	-3.0938	-0.0160
2.93	0.6389	0.6528	0.0562	1.0750	0.0086	0.0001	-3.0938	-0.0265
2.95	0.6389	0.6528	0.0562	1.0818	0.0154	0.0002	-3.0938	-0.0476
2.95	0.6389	0.6528	0.0562	1.0818	0.0154	0.0002	-3.0938	-0.0476
2.97	0.6389	0.6528	0.0562	1.0886	0.0221	0.0005	-3.0938	-0.0685
2.98	0.6389	0.6528	0.0562	1.0919	0.0255	0.0007	-3.0938	-0.0789
2.98	0.6389	0.6528	0.0562	1.0919	0.0255	0.0007	-3.0938	-0.0789
2.99	0.6389	0.6528	0.0562	1.0953	0.0288	0.0008	-3.0938	-0.0892
3.02	0.3333	0.9861	1.4532	1.1053	0.0388	0.0015	-1.6968	-0.0659
3.05	0.3333	0.9861	1.4532	1.1151	0.0487	0.0024	-1.6968	-0.0827
3.06	0.3333	0.9861	1.4532	1.1184	0.0520	0.0027	-1.6968	-0.0882
3.08	0.3333	0.9861	1.4532	1.1249	0.0585	0.0034	-1.6968	-0.0993
3.09	0.3333	0.9861	1.4532	1.1282	0.0617	0.0038	-1.6968	-0.1048
3.11	0.3333	0.9861	1.4532	1.1346	0.0682	0.0047	-1.6968	-0.1157
3.12	0.3333	0.9861	1.4532	1.1378	0.0714	0.0051	-1.6968	-0.1212
3.15	0.3333	0.9861	1.4532	1.1474	0.0810	0.0066	-1.6968	-0.1374
3.15	0.3333	0.9861	1.4532	1.1474	0.0810	0.0066	-1.6968	-0.1374
3.16	0.3333	0.9861	1.4532	1.1506	0.0841	0.0071	-1.6968	-0.1428
3.16	0.3333	0.9861	1.4532	1.1506	0.0841	0.0071	-1.6968	-0.1428
3.16	0.3333	0.9861	1.4532	1.1506	0.0841	0.0071	-1.6968	-0.1428
3.16	0.3333	0.9861	1.4532	1.1506	0.0841	0.0071	-1.6968	-0.1428
3.17	0.3333	0.9861	1.4532	1.1537	0.0873	0.0076	-1.6968	-0.1481
3.18	0.3333	0.9861	1.4532	1.1569	0.0905	0.0082	-1.6968	-0.1535
3.21	0.3333	0.9861	1.4532	1.1663	0.0998	0.0100	-1.6968	-0.1694
3.22	0.3333	0.9861	1.4532	1.1694	0.1030	0.0106	-1.6968	-0.1747
3.23	0.3333	0.9861	1.4532	1.1725	0.1061	0.0112	-1.6968	-0.1800

3.23	0.3333	0.9861	1.4532	1.1725	0.1061	0.0112	-1.6968	-0.1800
3.25	0.3333	0.9861	1.4532	1.1787	0.1122	0.0126	-1.6968	-0.1904
3.27	0.3333	0.9861	1.4532	1.1848	0.1184	0.0140	-1.6968	-0.2008
3.29	0.3333	0.9861	1.4532	1.1909	0.1245	0.0155	-1.6968	-0.2112
3.29	0.3333	0.9861	1.4532	1.1909	0.1245	0.0155	-1.6968	-0.2112
3.31	0.3333	0.9861	1.4532	1.1969	0.1305	0.0170	-1.6968	-0.2215
3.55	0.0139	1.0000						
Promedio/Sumatoria			0.467	1.066	0.0000	0.4188	-190.4591	3.7247

Fuente: Tomado de NASA POWER.

Anexo 6. Características del aerogenerador propuesto fabricado por Adani Corporate House de origen hindú

Modelo	Adani 5.2 – 160
Potencia nominal	5200 kW
Velocidad mínima del viento	3.00 m /s
Velocidad nominal del viento	12.00 m/s
Altura turbina – rotor	120 m
Diámetro del rotor	160 m
Área de barrido	20 106 m ²
Número de palas	3

Fuente: Tomado de Wind Turbine Models.

Anexo 7. Características del panel solar propuesto

Modelo	LGV24V375M
Pico de Potencia Máxima (Wp)	250
Voltaje Máximo (V)	30.20
Corriente Máxima (A)	8.28
Eficiencia (%)	15.17
Dimensiones (mm)	1658x994x46
Peso	20 kg

Fuente: Tomado de Mitsubishi Electric Corporation.

Anexo 8. Características del inversor solar trifásico

Modelo	SE3K – SE10K
Potencia de salida	10 MVA
Voltaje saliente CA (V)	380/220
Corriente saliente (A)	16
Frecuencia (Hz)	50/60
Voltaje nominal de entrada CC (V)	750
Corriente máxima (A)	16.50

Fuente: Tomado de Solar Edge.

RECIBO Nº S501-63417844 Setiembre-2023 236

Huanchaco, Trujillo - La Libertad/ 36 - 309 - 2540

Para consultas su código es: **47514108**

Flores Cotrina De Mendoza, Armencia
Mz. P 00001 CPMe. El Milagro X

Hidrandina
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE ELECTRICIDAD ELECTRONORTE MEDIO S.A.
Of. Principal: Av. España 1030 - Trujillo
R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO DE CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS	
Tensión y SED	220 V - BT / D-306959	Recibo por Consumo del 25/08/2023 al 23/09/2023	4.24
Sist. Eléctrico	SE0122 Trujillo (ST2)	Cargo Fijo	1.41
Tipo de Conexión	Monofásica-Aérea(C1.1)	Cargo por Reparación y Mantenimiento	123.38
Opción Tarifaria	BTSB - Residencial	Ene. Activas(SI 0.7523 x 164.0000 kWh)	14.45
Medidor Nº	000000608548705 - Electrón.	Alumbros/Públicos (Alcuenta - SI 0.5779)	0.08
Hilos	2	Itarías Compensatorio	143.56
Lectura Anterior	1,614.00 (24/08/2023)	SUB TOTAL	25.84
Lectura Actual	1,778.00 (23/09/2023)	Imp. Gral. a las Ventas	-0.03
Diferencia de Lectura	164.00	Saldo por redondeo	0.01
Factor	1.0000	Diferencia de redondeo	1.62
Consumo	164.00 kWh	Aporte Ley No. 28749 0.0099	171.00
Cons. Prom.(6 meses)	123.67 kWh	TOTAL RECIBO DE SETIEMBRE-2023	
Potencia Contratada	1.00 kW.	Aporte FOGSE Ley N°27510) SI 3.24	
Inicio Contrato	11/06/2013		
Término Contrato	10/06/2024		
Fecha Emisión	28/09/2023		

Consumo Facturado (kWh) Importe Total (S/)

Importe 2 Últimos Meses Facturados

Jul - 2023 S/ 121.30	Ago - 2023 S/ 96.30
----------------------	---------------------

FECHA DE VENCIMIENTO **18/10/2023** TOTAL A PAGAR S/ *****171.00

INGRESA a Yape, Plin, Tunki, etc ESCANEA el código QR y

Hidrandina R.U.C. 20132023540 PARE AENOR

RECIBO Nº S501-63417844 Setiembre-2023
Suministro: 47514108 Flores Cotrina De Mendoza,
Huanchaco, Trujillo - La Libertad/
36 - 309 - 2540 / 28/09/2023 / 18/10/2023
TOTAL A PAGAR S/ *****171.00

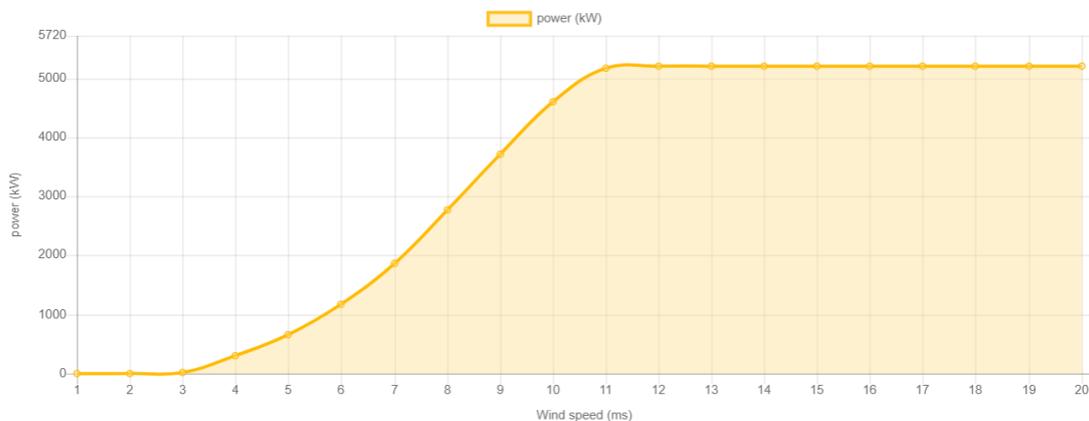
Anexo 9. Factura de luz de una vivienda unifamiliar, donde muestra el consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar, resaltando el consumo promedio de 123.67 kWh durante 6 meses.



Anexo 10. La figura muestra las proyecciones asociadas a los costos que involucra la instalación de turbinas eólicas en el año 2021, así como también el precio ofertado. Tomado de International Renewable Energy Agency, 2023.

Technology	Power plant - Typical installed cost (\$/kW)					
	10 kW	100 kW	1,000 kW	10,000 kW	100,000 kW	1,000,000 kW
Gas turbine - Natural gas	3,800	3,500	2,400	1,600	1,100	1,000
Gas turbine - combined cycle - Natural gas				2,800	2,800	1,400
Hydro turbine		5,700	5,200	4,500	4,100	3,600
Photovoltaic	2,200	1,900	1,600	1,300	1,100	950
Photovoltaic - Tracking system	2,900	2,300	1,800	1,500	1,200	1,000
Reciprocating engine - Diesel (#2 oil)		1,000	1,100	1,300	1,500	
Reciprocating engine - Natural gas		2,400	2,000	1,500	1,200	
Reciprocating engine - Biogas/Landfill gas	7,500	5,800	4,400	3,300	2,600	
Solar thermal power			10,100	6,800	5,700	5,700
Steam turbine - Coal					3,800	3,800
Steam turbine - Biomass/Municipal solid waste			11,000	9,900	8,000	
Wind turbine	6,400	3,200	2,800	2,100	2,000	1,800
Wind turbine - Offshore				4,700	4,100	3,600

Anexo 11. Costos asociados para la instalación de los paneles solares, en función de la potencia de los mismos. Tomado de RETScreen Expert.



Anexo 12. Curva de potencia de la turbina eólica propuesta. Tomado de Wind Turbine Models.

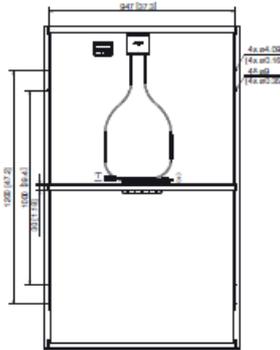
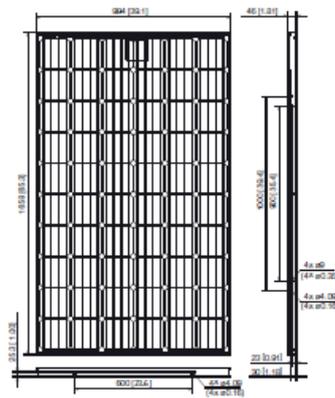
MITSUBISHI ELECTRIC PHOTOVOLTAIC MODULES

SPECIFICATIONS SHEET

		MITSUBISHI ELECTRIC	
Manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC		
Model name	PV-MJT250GB		PV-MJT245GB
Cell type	Monocrystalline silicon, 156 mm x 156 mm		
Number of cells	60 cells in a series		
Performance at STC			
Maximum power rating (Pmax)	250 W		245 W
Warranted minimum Pmax	242,5 W		237,7 W
Tolerance of maximum power rating	+/-3 % (The average Pmax of each pair of modules has a positive tolerance)		
Open circuit voltage (Voc)	37,4 V		37,2 V
Short circuit current (Isc)	8,80 A		8,69 A
Maximum power voltage (Vmp)	30,2 V		30,0 V
Maximum power current (Imp)	8,28 A		8,17 A
Normal operating cell temperature (NOCT)			
Performance at NOCT (at 800 W/m ²)*	47 °C		
Maximum power rating (Pmax)	182 W		177 W
Open circuit voltage (Voc)	34,0 V		33,8 V
Short circuit current (Isc)	7,13 A		7,04 A
Maximum power voltage (Vmp)	27,2 V		27,0 V
Maximum power current (Imp)	6,62 A		6,54 A
Maximum system voltage			
Fuse rating	1000 V		
Dimensions	15 A		
Weight	1658 x 994 x 46 mm (65.3 x 39.1 x 1.81 inches)		
Output terminal	20 kg		
Module efficiency	(+) 800 mm/(-) 1250 mm with MC connector (PV-KTB4/6I-UR, PV-KST4/6I-UR) Cable conforms with TÜV Specification 2 PIG 1169/08.2007		
Packing condition	15,17 %		
Certificates	2 pcs / 1 carton		
Product Warranty	IEC 61215 Second Edition, IEC 61730		
Output Warranty	10 years		
	90% of minimum rated Pmax for 10 years, 80% of minimum rated Pmax for 25 years		

*Measured at 800W/m², ambient temp. 20 °C, wind speed 1 m/s

DRAWINGS AND DIMENSIONS

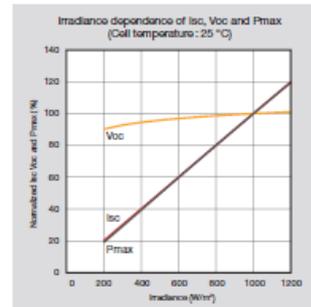
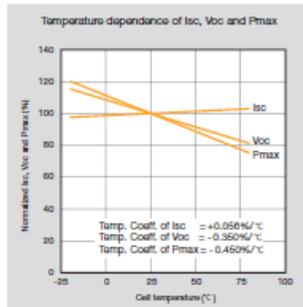
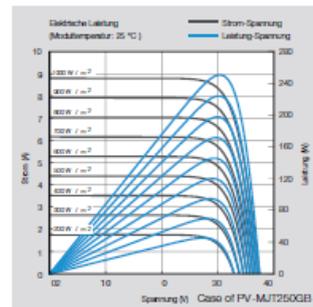


- Periodic Inspection
- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730



Unit: mm (inch)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS



Mitsubishi Electric Europe B.V.
Photovoltaic Division
Gothaer Str. 8
D-40880 Ratingen
Phone: +49 (0) 2102 486 1593
Fax: +49 (0) 2102 486 1537
Web: www.mitsubishi-pv.de
E-Mail: info@mitsubishi-pv.de

Your dealer is:

Printed in Germany // © Mitsubishi Electric Europe B.V. // Specifications and design subject to change without notice. We can accept no liability for any errors. // 05.2011

Anexo 13. Ficha técnica original del panel solar. Tomado de Mitsubishi Electric Corporation



Inversor Trifásico SE3K-SE10K⁽¹⁾⁽²⁾

	SE3K ⁽¹⁾	SE4K ⁽²⁾	SE5K	SE6K ⁽⁴⁾	SE7K	SE8K	SE9K	SE10K	
SALIDA									
Potencia nominal de salida CA	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	VA
Máxima potencia de salida CA	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	VA
Tensión de salida CA – Línea a línea / línea a neutro (nominal)	380 / 220; 400 / 230								Vac
Tensión de salida CA – Rango línea a neutro	184 - 264,5								Vac
Frecuencia CA	50/60 ± 5								Hz
Corriente máxima de salida continua (por fase)	5	6,5	8	10	11,5	13	14,5	16	A
Redes compatibles – Trifásicas	3 / N / PE (WYE con neutro)								V
Monitorización de red, protección contra funcionamiento en isla, factor de potencia configurable, umbrales configurables por países	Sí								
ENTRADA									
Potencia máxima de CC (módulo STC)	4050	5400	6750	8100	9450	10800	12150	13500	W
Sin transformador, sin puesta a tierra	Sí								
Tensión máxima de entrada	900								Vdc
Tensión de entrada CC nominal	750								Vdc
Corriente máxima de entrada	5	7	8,5	10	12	13,5	15	16,5	Adc
Protección contra polaridad inversa	Sí								
Detección de aislamiento de fallo de toma de tierra	Sensibilidad de 700 kΩ								
Rendimiento máximo del inversor	98								%
Rendimiento europeo ponderado	96,7	97,3	97,3	97,3	97,4	97,6	97,5	97,6	%
Consumo de energía durante la noche	< 2,5								W
CARACTERÍSTICAS ADICIONALES									
Interfases de comunicación compatibles ⁽⁵⁾	RS485, Ethernet, ZigBee (opcional), wifi (opcional), GSM integrado (opcional)								
Gestión inteligente de la energía	Limitación de la exportación, Smart Energy								
CUMPLIMIENTO DE NORMAS									
Seguridad	IEC-62103 (EN50178), IEC-62109								
Normas sobre conexión a la red ⁽⁶⁾	VDE 0126-1-1, VDE-AR-N-4105, AS-4777, G83 / G59								
Emisiones	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC parte 15, clase B								
RoHS	Sí								
ESPECIFICACIONES PARA LA INSTALACIÓN									
Salida CA	Prensaestopas, diámetro 15-21								mm
Entrada CC	2 pares MC4								
Dimensiones (Al. x An. x Pr.)	540 x 315 x 191								mm
Peso	18,9								kg
Rango de temperatura de trabajo	-20 - +60 ⁽⁷⁾ (versión M40 -40 - +60)								°C
Enfriamiento	Ventilador interno								
Ruido	< 40								dBA
Grado de protección	IP65 – Exteriores e interiores								
Montaje sobre soporte (suministrado)									

⁽¹⁾ Estas especificaciones se aplican a los inversores con número de pieza SE3K-xx00xxxx

⁽²⁾ Para modelos de mayor potencia, consultar <https://www.solaredge.com/sites/default/files/ie-three-phase-inverter-extended-power-datasheet.pdf>

⁽³⁾ Solo disponible en Austria, Hungría, Italia, Polonia y Suiza

⁽⁴⁾ Disponible en algunos países; consultar Certificaciones (Certifications) en la página Downloads (Descargas): <http://www.solaredge.com/groups/support/downloads>

⁽⁵⁾ Consultar DataSheet (Hojas de datos) -> Communications (Comunicaciones) en la página Downloads (Descargas) para ver las especificaciones de las opciones de comunicación opcionales:

<http://www.solaredge.com/groups/support/downloads>

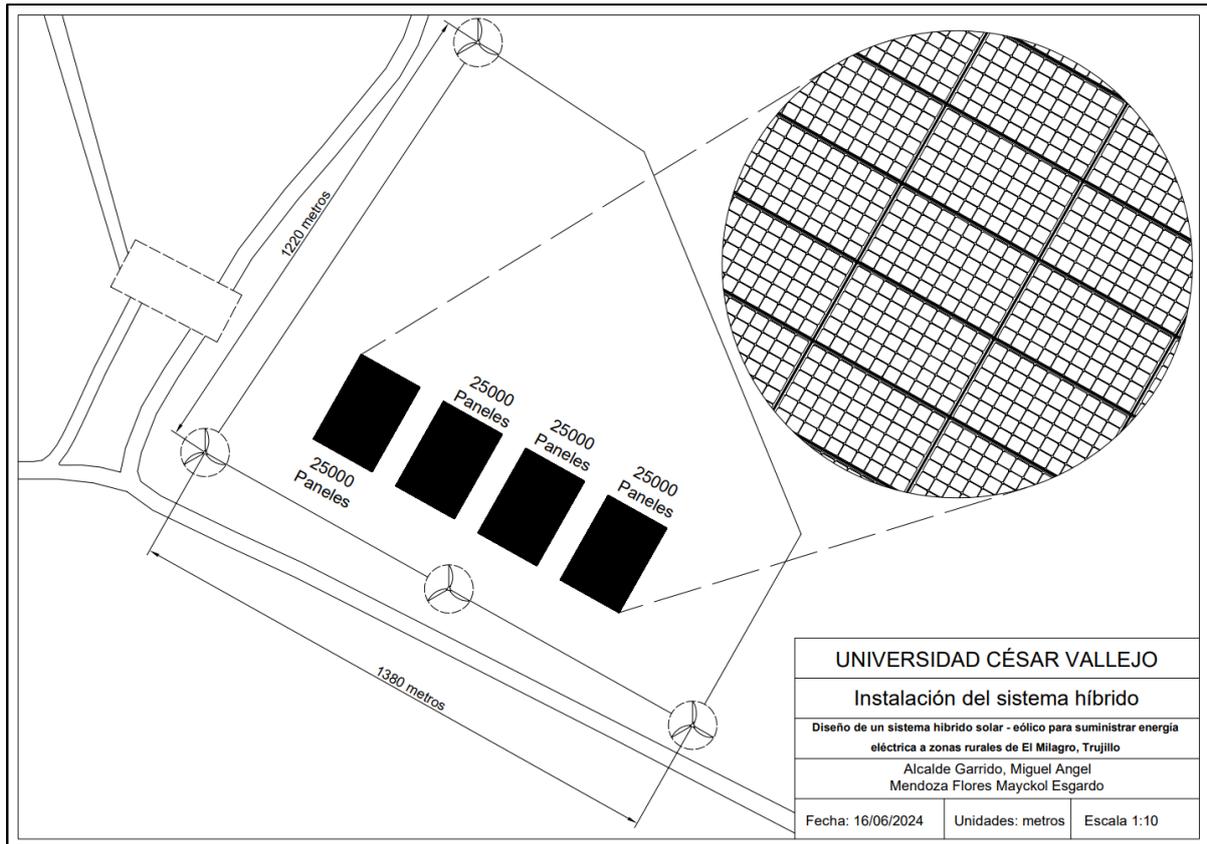
⁽⁶⁾ Consultar Certifications (Certificaciones) en la página Downloads (Descargas) para ver todas las normativas: <http://www.solaredge.com/groups/support/downloads>

⁽⁷⁾ Para más información sobre reducción de la potencia, consultar <https://www.solaredge.com/sites/default/files/ie-temperature-derating-note.pdf>

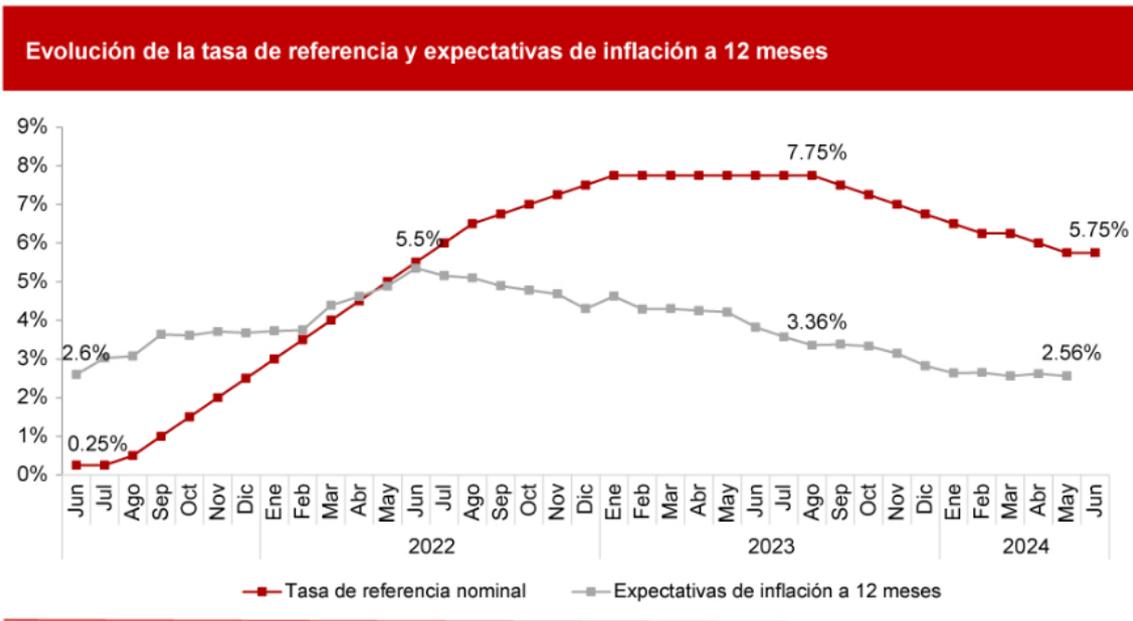
CE

© SolarEdge Technologies, Inc. Reservados todos los derechos. SOLAREEDGE, el logo de SolarEdge, OPTIMIZED BY SOLAREEDGE son marcas comerciales o registradas de SolarEdge Technologies, Inc. Cualquier otra marca que se mencione en este documento es propiedad de su correspondiente titular. Fecha: 05/2018/VD1/SP ARG. Sujeto a cambios sin previo aviso.

Anexo 14. Ficha técnica del inversor solar. Tomado de Solaredge.



Anexo 15. Instalación del sistema híbrido eólico – solar. Elaborado en AutoCAD



Anexo 16. Tasa de descuento referencial en el año 2024. Tomado del BCRP