

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para cubrir parte de la demanda energética en áreas comunes de edificios multifamiliares

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Jesus Ivan Albines Chuna

ASESOR

Hugo Walter Mundaca Guerra

<https://orcid.org/0000-0002-8210-9581>

Chiclayo, 2025

**Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para cubrir parte de la
demanda energética en áreas comunes de edificios multifamiliares**

PRESENTADA POR:

Jesus Ivan Albines Chuna

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Luis Alberto Gonzales Bazan
PRESIDENTE

Jony Villalobos Cabrera
SECRETARIO

Hugo Walter Mundaca Guerra
VOCAL

Dedicatoria

A Dios, quien ha sido mi guía durante toda mi formación espiritual y académica.
A mi familia por haber educado mi carácter personal y educativo, por haberme brindado su apoyo en cualquier circunstancia, nada hubiera sido posible sin ellos.
A mis compañeros de clase y profesores que me brindaron animas para continuar y finalizar la carrera universitaria.

Agradecimientos

A Dios, mis padres, profesores y compañeros de clase, todos fueron una parte esencial para poder llegar al final de la carrera universitaria.

Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para cubrir parte de la demanda energética en áreas comunes de edificios multifamiliares

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1%
7	core.ac.uk Fuente de Internet	<1%
8	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

alicia.concytec.gob.pe

Índice

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 REALIDAD O PROBLEMÁTICA	14
1.1.1. Realidad Problemática.....	14
1.1.2. Pregunta de investigación	14
1.1.3. Delimitación de la investigación.....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	15
1.2.1. Social.....	15
1.2.2. Económica.....	15
1.2.3. Ambiental.....	15
1.2.4. Tecnológica.....	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4 MATRIZ DE CONSISTENCIA	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 ANTECEDENTES	17
2.1.1. Nacionales:	17
2.1.2. Internacionales:	20
2.2 BASES TEÓRICOS	21
2.2.1. DEFINICIONES BÁSICAS	21
2.2.2. SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO:.....	22
2.2.3. GENERADOR EÓLICO:.....	23
2.2.4. TIPOS DE GENERADOR EÓLICO.....	24
2.2.5. PANEL FOTOVOLTAICO:.....	27
2.2.6. TIPOS DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS	27
2.2.7. CURVA I-V.....	28
2.2.8. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	29
2.2.9. SINCRONIZACIÓN DE RED	30
2.2.10. Controladores de carga.....	32
2.2.11. Bono por huella de carbono.....	32
3. METODOLOGÍA	32
3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32

3.1.1. Tipo de investigación.....	32
3.1.2. Métodos y diseño de la investigación	33
3.1.3. Operacionalización de variables	35
3.1.4. Matriz de consistencia.....	36
3.1.5. Diagrama de flujo.....	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO	38
4.2. Identificación de la demanda energética en las áreas comunes del edificio	47
4.3. Diseño del sistema híbrido	50
4.3.1. Selección del aerogenerador	52
4.3.2. Selección del panel fotovoltaico.....	56
4.4. Cálculo de potencia abastecida con el sistema	60
4.4.1. Potencia generada con valores máximos del recurso eólico y solar	60
4.4.2. Potencia generada por el sistema híbrido con valores promedios	61
4.4.3. Balance de carga y oferta vs demanda	62
4.5. Selección de componentes	67
4.5.1. Selección del inversor	67
4.5.2. Selección del Controlador DC.....	68
4.5.3. Dimensionamiento de conductores eléctricos	68
4.6. Diagrama unifilar del Sistema híbrido.....	70
5. COSTO DE INSTALACIÓN Y LISTADO DE MATERIALES	71
6. RECOMENDACIONES.....	74
7. CONCLUSIONES.....	74
8. REFERENCIAS.....	76
9. ANEXOS.....	79
Anexo 1	79
Anexo 2	80
Anexo 3	80
Anexo 4	83
Anexo 5	84
Anexo 6	84
Anexo 7	85
Anexo 8	86
Anexo 9	87

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Sistema de energía híbrido [8]	22
Ilustración 2.- Componentes de un generador eólico [12]	24
Ilustración 3.- Aerogenerador de eje horizontal [8]	25
Ilustración 4.- Aerogenerador de eje Vertical [13]	25
Ilustración 5.- Coeficientes de potencia según el tipo de aerogenerador [16]	26
Ilustración 6.- Rotor Darrieus [17]	27
Ilustración 7.- Potencial eléctrico fotovoltaico en el Perú [21].....	30
Ilustración 8 Bucle de Bloqueo de fase PLL [22]	31
Ilustración 9 Esquema de Inversor ON GRID [22].....	31
Ilustración 10.- Zona en donde se evalúa el recurso solar y eólico [16]	39
Ilustración 11.- Datos generados por la plataforma Power Data Access Viewer [26].....	42
Ilustración 12.- Planos de arquitectura de un proyecto usado como referencia.....	47
Ilustración 13.- Ubicación aproximada del edificio multifamiliar según Global Wind Atlas [29].	50
Ilustración 14.- Ubicación aproximada de un edificio multifamiliar según Google Earth Pro [30]	51
Ilustración 15.- Rosa de frecuencia del viento [29].	51
Ilustración 16 Curva de Potencia vs Velocidad del viento [32].....	53
Ilustración 17.- Generador eólico considerado en el diseño [31].....	54
Ilustración 18.- Panel fotovoltaico de 455W [31]	56
Ilustración 19 Conexión de 14 paneles fotovoltaicos.....	59
Ilustración 20 Energía generada por el sistema híbrido	65
Ilustración 21 Diagrama de Oferta vs demanda	65
Ilustración 22 Inversor utilizado en el sistema.....	67
Ilustración 23 Controlador de carga solar de 100A.....	68
Ilustración 24 Tabla para la sección del conductor	69
Ilustración 25 Diagrama unifilar del sistema híbrido (Sistema)	70
Ilustración 26 Conexión del sistema y medición	70

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Potencial de generación eólica en departamentos del Perú, atlas Eólico [20]	29
Tabla 2.- Promedio por hora de la Velocidad del viento a 50 M	42
Tabla 3.- Promedio de Kwh por metro cuadrado al día desde 2021-2022 (Resumen)	45
Tabla 4 Cálculo de la demanda máxima en el edificio	47
Tabla 5 Factor de demanda para alimentadores de cargas en alumbrado [27]	48
Tabla 6 Cálculo del consumo diario aproximado en las áreas comunes del edificio.....	50
Tabla 7.- Promedio de la velocidad del aire desde el año 2021 hasta el 2023 [29]	52
Tabla 8.- Características de generadores eólicos [31].....	52
Tabla 9 Porcentaje de la demanda máxima considerada en el diagrama de carga.....	62
Tabla 10 Generación con respecto a las horas en el día del sistema híbrido	63
Tabla 11 Energía cubierta por el sistema híbrido.....	65
Tabla 12 Porcentaje de energía abastecido por el sistema vs red eléctrica	66

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1.- Máxima potencia de Betz [10]	23
Ecuación 2.- Ecuación de la potencia máxima en un aerogenerador de eje vertical.....	26
Ecuación 3.- Cálculo de la potencia generada por el panel [14]	27
Ecuación 4 Ecuación del factor de demanda [24].	49

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Sistema de energía híbrido [8]	22
Ilustración 2.- Componentes de un generador eólico [12]	24
Ilustración 3.- Aerogenerador de eje horizontal [8]	25
Ilustración 4.- Aerogenerador de eje Vertical [13]	25
Ilustración 5.- Coeficientes de potencia según el tipo de aerogenerador [16]	26
Ilustración 6.- Rotor Darrieus [17]	27
Ilustración 7.- Potencial eléctrico fotovoltaico en el Perú [21].....	30
Ilustración 8 Bucle de Bloqueo de fase PLL [22]	31
Ilustración 9 Esquema de Inversor ON GRID [22].....	31
Ilustración 10.- Zona en donde se evalúa el recurso solar y eólico [16]	39
Ilustración 11.- Datos generados por la plataforma Power Data Access Viewer [26].....	42
Ilustración 12.- Planos de arquitectura de un proyecto usado como referencia.....	47
Ilustración 13.- Ubicación aproximada del edificio multifamiliar según Global Wind Atlas [29].	50
Ilustración 14.- Ubicación aproximada de un edificio multifamiliar según Google Earth Pro [30]	51
Ilustración 15.- Rosa de frecuencia del viento [29].	51
Ilustración 16 Curva de Potencia vs Velocidad del viento [32].....	53
Ilustración 17.- Generador eólico considerado en el diseño [31].....	54
Ilustración 18.- Panel fotovoltaico de 455W [31]	56
Ilustración 19 Conexión de 14 paneles fotovoltaicos.....	59
Ilustración 20 Energía generada por el sistema híbrido	65
Ilustración 21 Diagrama de Oferta vs demanda	65
Ilustración 22 Inversor utilizado en el sistema.....	67
Ilustración 23 Controlador de carga solar de 100A.....	68
Ilustración 24 Tabla para la sección del conductor	69
Ilustración 25 Diagrama unifilar del sistema híbrido (Sistema)	70
Ilustración 26 Conexión del sistema y medición	70

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal diseñar un sistema híbrido solar-eólico para abastecer parte de la demanda energética en áreas comunes de edificios multifamiliares en el distrito de Pimentel, Perú. Para lograr este objetivo, se realizaron los siguientes pasos:

En primer lugar, se evaluaron los recursos solares y eólicos disponibles en la zona, usando la plataforma POWER DATA ACCESS VIEWER obteniendo 6,82 m/s y 7,005 kW/m²/día como datos promedios de la velocidad del viento y la irradiancia solar respectivamente.

Posteriormente, se procedió a calcular la demanda máxima que existe en las áreas comunes del proyecto, realizando un cálculo basado en el código nacional de electricidad utilización obteniendo 8 600,00 Watts, además se dimensionaron los componentes. El sistema constó de 14 paneles solares, un aerogenerador y un inversor, además de los componentes de protección y control.

Se estimó la cantidad de energía renovable cubierta en áreas comunes del edificio y se realizó el diagrama de oferta vs demanda, llegando a abastecer con 97 745,15 Wh de Energía en el día.

Además, se realizó un listado de precios y el análisis económico correspondiente obteniendo un 64534,30/s. y 22% para el VAN y TIR respectivamente.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información relevante para la implementación de sistemas híbridos solar-eólicos en edificios multifamiliares del distrito de Pimentel. Se espera que estos resultados incentiven la adopción de fuentes de energía limpia y sostenible, contribuyendo así a la reducción de la huella ambiental y a la promoción de la energía renovable.

Palabras clave: sistema híbrido solar-eólico, edificios multifamiliares, energía renovable

ABSTRACT

The main objective of this study was to design a hybrid solar-wind system to supply part of the energy demand in common areas of multi-family buildings in the Pimentel district of Peru. To achieve this objective, the following steps were carried out:

First, the available solar and wind resources in the area were evaluated using the POWER DATA ACCESS VIEWER platform, obtaining average wind speeds of 6.82 m/s and solar irradiance of 7.005 kW/m²/day.

Next, the maximum demand in the common areas of the project was calculated based on the Peruvian National Electrical Code, resulting in a value of 8,600 Watts. The components were then sized. The system consisted of 14 solar panels, a wind turbine, and an inverter, in addition to the necessary protection and control components. The amount of renewable energy supplied to the building's common areas was estimated, and a supply-demand diagram was created, showing a daily energy consumption of 97,745.15 Wh.

In addition, a price list and corresponding economic analysis were conducted, yielding a net present value (NPV) of 64,534.30 and an internal rate of return (IRR) of 22%.

The results obtained in this study provide relevant information for the implementation of hybrid solar-wind systems in multi-family buildings in the Pimentel district. It is hoped that these results will encourage the adoption of clean and sustainable energy sources, thus contributing to a reduction in the environmental footprint and the promotion of renewable energy.

Keywords: solar-wind hybrid system, multi-family buildings, renewable energy

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles y eficientes se ha vuelto de suma importancia. El creciente consumo de energía y los efectos negativos asociados a la quema de combustibles fósiles han generado la necesidad de desarrollar alternativas más limpias y respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, los sistemas híbridos que combinan diferentes fuentes de energía renovable han demostrado ser una opción prometedora para cubrir la demanda energética de manera más eficiente y sostenible.

Un sistema híbrido se refiere a la combinación de dos o más elementos diferentes para obtener un resultado óptimo. En el ámbito de la energía, esta combinación puede implicar la integración de fuentes como la solar y la eólica, aprovechando las fortalezas de cada una para lograr un suministro energético más estable y constante. Este enfoque híbrido ha demostrado ser altamente efectivo en la generación de electricidad, permitiendo una mayor eficiencia y una menor dependencia de una única fuente de energía [1].

Algunas de las principales empresas energéticas a nivel global, se destacan por la importancia de los sistemas de energía híbrida que utilizan para optimizar la producción de energía renovable. Estos sistemas permiten aprovechar las ventajas de la energía solar y eólica, complementándose mutuamente para garantizar una mayor disponibilidad y estabilidad del suministro eléctrico. Al integrar estas fuentes, se puede aprovechar la radiación solar durante el día y la fuerza del viento durante la noche o en periodos de menor radiación solar, maximizando así la generación de energía renovable [2].

En el campo de la ingeniería y las energías renovables, es relevante mencionar el estudio realizado por Oviedo-Salazar et. al., en el cual se aborda la historia y el uso de las energías renovables. El artículo proporciona una visión general de la evolución y el impacto de las fuentes de energía renovable a lo largo del tiempo, destacando su papel fundamental en la mitigación de los efectos del cambio climático y la transición hacia un modelo energético más sostenible [4].

Además, se tomará en consideración el estudio realizado por la Universidad Santo Toribio de Mogrovejo (Diez, 2016), donde se propone el diseño de un sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001 para el campus universitario. Este estudio refuerza la importancia de implementar estrategias eficientes en el consumo energético, promoviendo el uso de fuentes renovables y la optimización de recursos [5].

En el contexto peruano, específicamente en el distrito de Pimentel, existe la necesidad de buscar soluciones energéticas sostenibles para los edificios multifamiliares. Por lo tanto, en esta

tesis se propone diseñar un sistema híbrido solar-eólico que pueda cubrir parte de la demanda energética en las áreas comunes de dichos edificios. Para lograr este objetivo, se evaluarán los recursos solar y eólico en la zona del predio, se modelará el sistema híbrido utilizando los planos de un proyecto de edificación, se determinará la potencia generada por el sistema y se calculará el costo de instalación del mismo.

En resumen, el diseño de un sistema híbrido solar-eólico se presenta como una solución viable y prometedora para cubrir parte de la demanda energética en edificios multifamiliares. A través de una combinación inteligente de fuentes de energía renovable, se busca maximizar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental. Los resultados de esta investigación pueden contribuir al avance de la implementación de soluciones energéticas sostenibles en el distrito de Pimentel y servir como base para futuros proyectos similares.

1.1 REALIDAD O PROBLEMÁTICA

1.1.1. Realidad Problemática

En el distrito de Pimentel, Perú, los edificios multifamiliares enfrentan desafíos en cuanto al suministro de energía eléctrica. Estos edificios suelen tener una demanda energética considerable para alimentar áreas comunes como ascensores, iluminación de pasillos, sistemas de seguridad, entre otros. Además, pueden surgir problemas de morosidad en los departamentos como problemas o retrasos de pago, conflictos económicos personales, disputas entre propietarios, entre otros; los cuales son una desventaja para el mantenimiento y abastecimiento de energía en las áreas comunes de los edificios. Actualmente, esta demanda se cubre principalmente a través de la red eléctrica convencional, la cual depende en gran medida de fuentes no renovables y contribuye a la emisión de gases contaminantes. Esta situación plantea un problema tanto desde el punto de vista ambiental como económico. La dependencia de fuentes de energía no renovables y los costos asociados al consumo de electricidad pueden generar una huella de carbono significativa y un gasto elevado en los edificios multifamiliares. Además, en caso de interrupciones en el suministro eléctrico, los residentes pueden experimentar inconvenientes y falta de seguridad en las áreas comunes del edificio.

1.1.2. Pregunta de investigación

¿Es posible cubrir total o parcialmente de manera eficiente y sostenible la demanda energética de las áreas comunes de edificios multifamiliares en el distrito de Pimentel a través del diseño de un sistema híbrido solar-eólico?

1.1.3. Delimitación de la investigación

Esta investigación se centrará en el diseño de un sistema híbrido solar-eólico específicamente para cubrir la demanda energética de las áreas comunes en edificios multifamiliares en el distrito de Pimentel, Perú. Se evaluarán los recursos solar y eólico en la zona del predio, se modelará el sistema híbrido utilizando los planos del proyecto de edificación, y se determinará la potencia generada y el costo de instalación del sistema en el

edificio. Sin embargo, se excluye el análisis detallado de otros aspectos relacionados, como la gestión energética y la distribución de la energía.

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1. Social

La implementación de un sistema híbrido solar-eólico en edificios multifamiliares en el distrito de Pimentel tendría impactos sociales significativos. Al reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales, se fomentaría la autonomía energética de los edificios y se promovería la conciencia sobre la importancia de las energías renovables y la eficiencia energética en la comunidad. Además, esta iniciativa podría servir como ejemplo inspirador para otros proyectos similares, generando un efecto multiplicador en la adopción de tecnologías sostenibles en la sociedad, reduciendo inconvenientes entre las personas.

1.2.2. Económica

Desde el punto de vista económico, la implementación de un sistema híbrido solar-eólico puede ofrecer beneficios a largo plazo. Aunque la instalación inicial podría requerir una inversión inicial, con el tiempo se puede lograr un ahorro significativo en los costos de energía. La generación de energía renovable en el propio edificio reduciría la dependencia de la red eléctrica convencional y, potencialmente, los costos asociados. Además, al aprovechar los recursos naturales disponibles, se puede disminuir la exposición a las fluctuaciones de precios de los combustibles fósiles y contribuir a la estabilidad energética a nivel local. La propiedad estaría dispuesta a ofrecer mayores beneficios y ser parte de un conjunto eco amigable.

1.2.3. Ambiental

El aspecto ambiental es uno de los pilares fundamentales de esta justificación. Al utilizar un sistema híbrido solar-eólico, se reduciría la emisión de gases contaminantes y la huella de carbono asociada a la generación de energía. Esto contribuiría a la mitigación del cambio climático y a la preservación del medio ambiente. La generación de energía a partir de fuentes renovables también disminuiría la presión sobre los recursos naturales no renovables,

preservando los ecosistemas y la biodiversidad. La adopción de energías limpias en edificios multifamiliares puede tener un impacto positivo en la calidad del aire y la salud de la comunidad local.

1.2.4. Tecnológica

En el ámbito tecnológico, el diseño y la implementación de un sistema híbrido solar-eólico requerirían la aplicación de conocimientos y tecnologías avanzadas. La evaluación de los recursos solares y eólicos, junto con el modelado del sistema, implicaría el uso de softwares especializados. Además, la integración de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores eólicos requeriría la selección y el diseño de componentes eficientes y confiables. Esta tesis proporcionaría un marco de referencia técnico para la implementación de sistemas híbridos en edificios multifamiliares, promoviendo la investigación y el desarrollo de tecnologías renovables en el campo de la ingeniería mecánica eléctrica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema híbrido haciendo uso de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores eólicos para cubrir parte de la demanda energética en un edificio multifamiliar en el distrito de Pimentel.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los recursos solar y eólico en la zona del predio.
- Diseñar un sistema híbrido de acuerdo a la carga requerida por el edificio multifamiliar.
- Determinar la potencia que abastece el sistema híbrido con respecto a la carga.
- Determinar el costo de instalación del sistema híbrido en un edificio.

1.4 MATRIZ DE CONSISTENCIA

OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
<p>Diseñar un sistema híbrido haciendo uso de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores eólicos para cubrir parte de la demanda energética en un edificio multifamiliar.</p>	<p>Si se diseña un sistema híbrido solar-eólico, entonces, se podrá cubrir una parte de la demanda energética en un edificio multifamiliar.</p>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los recursos solar y eólico en la zona del predio. • Diseñar un sistema híbrido de acuerdo a la carga requerida por el edificio multifamiliar. • Determinar la potencia que abastece el sistema híbrido con respecto a la carga. • Determinar el costo de instalación del sistema híbrido en el edificio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se evalúa el recurso solar y eólico en la zona, entonces se podrá comprobar si es accesible a un sistema híbrido. • Si se determina la potencia que genera el sistema híbrido, entonces se podrá definir parte de la demanda a cubrir • Si se determina el costo de instalación del sistema híbrido en el edificio, se podrá calcular el precio de venta en el edificio multifamiliar.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1. Nacionales:

2.1.1.1. Documento 1

Tesis

Autor: QUISPE ACEVEDO

País: Perú

Frente al aumento de emisiones de gases contaminantes generados por el incremento y consumo de energía eléctrica, la investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema híbrido para la granja Yauris, de la Universidad N. del Centro del Perú-Huancayo-Junín. Su enfoque es cuantitativo [1].

Resultados:

Se determinó que la demanda energética para la granja es de 3,88 MWh. Por lo tanto, se diseñó un sistema que pueda generar una potencia de 10 KW, utilizando un aerogenerador de 30 KW junto con un controlador de 10 KW. Además, se prevé que el sistema fotovoltaico genere una potencia de 16,74 KW, también con su respectivo controlador [1].

Conclusiones:

Se concluyó que su consumo eléctrico es elevado, con un promedio de consumo mensual de 25,64 KW. Las fuentes eólica y solar en la zona datan un gran potencial para la instalación. Además, su inversión total generada es de S/ 82 253,690 recuperando lo invertido en 6 años y un beneficio en relación con el costo de 1,14 [1].

2.1.1.2. Documento 2

Tesis

Autor: Gamarra, Jorge

Año: 2019

País: Perú [2]

Problema:

El objetivo de este estudio fue abordar el problema de la falta de suministro eléctrico en el distrito de Reque, provincia de Chiclayo, mediante el uso de energía eólica y solar

fotovoltaica para la generación de energía eléctrica. Se proyectó una demanda energética de 35 300 KWh/día, teniendo en cuenta también la máxima demanda de 10 400 KW.

Resultados:

Para obtener los datos eólicos, se utilizó una estación meteorológica ubicada en Lambayeque y se recopilaron datos correspondientes a los meses de junio y noviembre. Estos datos se utilizaron en la distribución de Weibull para su análisis. Asimismo, se obtuvieron datos de radiación solar a partir del atlas solar del Perú, con un valor promedio de 5 kWh/m²/día.

Con base en estos resultados, se procedió a seleccionar y dimensionar los equipos necesarios para el sistema. Se eligió un aerogenerador ENAIR E70 con una capacidad de 5 000 W y se instalaron 30 paneles solares marca ERA de 320 Wp, con una potencia total de 9,60 kW. Para el almacenamiento de energía, se utilizaron 25 baterías ROLLS de 503 Ah. Además, se emplearon 3 controladores JNGE - 150A 24-240V y 2 inversores marca Must Solar de 6kW. Para la distribución de la energía, se utilizaron conductos de red secundaria de 1x16/25 y 2x16/25.

Conclusiones: Se concluyó que la energía aproximada que se necesita en el lugar es de 35 300 Wh/día. El Costo aproximado y de referencia para el sistema fue de S/. 415 891 [2].

2.1.1.3. Documento 3

Tesis

Autor: Segundo Cajuzol

Año: 2019

País: Perú [3]

Problema:

Uso de una bomba motor para realizar la actividad de riego con una demanda de agua variable mensual

El objetivo de la tesis fue el dimensionamiento del sistema híbrido para el bombeo de agua en un fundo de Cayaltí [3].

Resultados: Los datos utilizados en este estudio se basaron en la irradiación solar proporcionada por la NASA, donde se obtuvo un valor mínimo de 4,9 KWh/m²/día. Para los datos de velocidad del viento, se tomaron en consideración los rangos horarios, siendo el mes de junio aquel con menor flujo y velocidad de viento, mientras que el mes de noviembre presentó velocidades superiores por segundo.

Mediante cálculos matemáticos, se pudo determinar lo siguiente: para mediados de año, en junio, la contribución de la fuente de energía eólica renovable sería de aproximadamente el 9,2%, mientras que para finales de noviembre esta contribución aumentaría a alrededor del 38,6% en base a la energía total requerida para el sistema de riego y bombeo de agua [3].

El sistema de riego y bombeo de agua fue dimensionado mediante la selección de un aerogenerador ZONAN de 2 kW, catorce paneles solares suministrados por la empresa SIMA, ocho baterías de 500 Ah, un controlador "Azul Solar" 150/85 y un inversor VICTRN de 5,0 kW [3].

Conclusiones: Se concluyó que el agua necesaria en la zona es variable de acuerdo con el mes. En junio es el mes donde se presenta un menor flujo y velocidad del viento, con un valor aproximado y medio de 2,70 m/s. El costo de fabricación total del sistema de bombeo es de aproximadamente: S/. 91 000 [3].

2.1.2. Internacionales:

2.1.2.1. Documento 1

Tesis

Autor: Geeta Udayakanti

Año: 2015

País: Suecia [4]

Problema: La tesis brinda un escenario energético hacia un desarrollo usando energías renovables. Según la política energética en la localidad, se había previsto un aumento de fuentes de energía no convencionales en el año 2015 y además un gran aumento del 20% en generación de energía total para Sri Lanka [4].

Resultados: Se realizó un estudio sobre los datos de campo. Se evaluó el sistema híbrido solar eólico en la ubicación seleccionada. Se utilizó el software HOMER para plasmar y evaluar el sistema de energía, el costo de vida y su comportamiento. A través del proceso de simulación, se identificó la instalación de 8 números de aerogeneradores de 850kW y módulos solares fotovoltaicos de 1MW como los más económicos para suministrar una carga promedio de 3MW conectada a la red donde el período de recuperación simple del sistema fue de 3,4 años [4].

2.2 BASES TEÓRICOS

2.2.1. DEFINICIONES BÁSICAS

Sistema híbrido: Es aquel conjunto de elementos que accionan entre sí y que realizan su función a raíz de dos a más fuentes en un solo punto de acceso [5].

Energías renovables: Aquel tipo de energía que se disipa con ciclos naturales y tiene un flujo continuo inagotable de manera estimada con un tipo de regeneración [6].

Energía eólica: Tipo de energía renovable que aprovecha el recurso inagotable del agua convirtiendo la energía cinética del viento en energía eléctrica haciendo uso de aerogeneradores [6].

Energía solar: Tipo de energía renovable con efecto inagotable y no contaminante que se obtiene a partir de la radiación, aprovechando el efecto fotoeléctrico mediante paneles solares [7].

Costo de Energía: Es el consumo de energía eléctrica de los componentes que se mide en KWh multiplicado por el precio de este según su ubicación, país o ciudad [8].

Sol: Estrella formada hace más de 4600 millones de años aproximadamente, pertenece al sistema solar y es una fuente indispensable de energía para la vida [7].

Área común de edificio multifamiliar: Las áreas comunes de edificios multifamiliares son espacios de uso compartido por todos los residentes y propietarios de un edificio. Estos lugares están destinados a ofrecer servicios y comodidades adicionales que mejoran la calidad de vida de los habitantes [9].

2.2.2. SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO:

Un sistema de energía híbrida es aquel que puede generar electricidad a raíz de dos a más fuentes con un solo punto de conexión [5]. Tuvo sus inicios en la industria automotriz a partir del siglo XIX con un tranvía de propulsión híbrida a gas y eléctrica por W.H. Patton [10]. En la industria energética, India implementó el sistema híbrido fotovoltaico-eólico en el año 2017, con la intención de utilizar una mayor cantidad de energías renovables, obteniendo una gran capacidad de acceso y reducir el factor imprevisible ante la ausencia de un tipo de energía. Desde entonces se ha considerado a nivel internacional la necesidad de hibridar los sistemas de generación de energía, movilizandolos los plazos de conexión e inicio de nuevas plantas de generación de energía renovable.

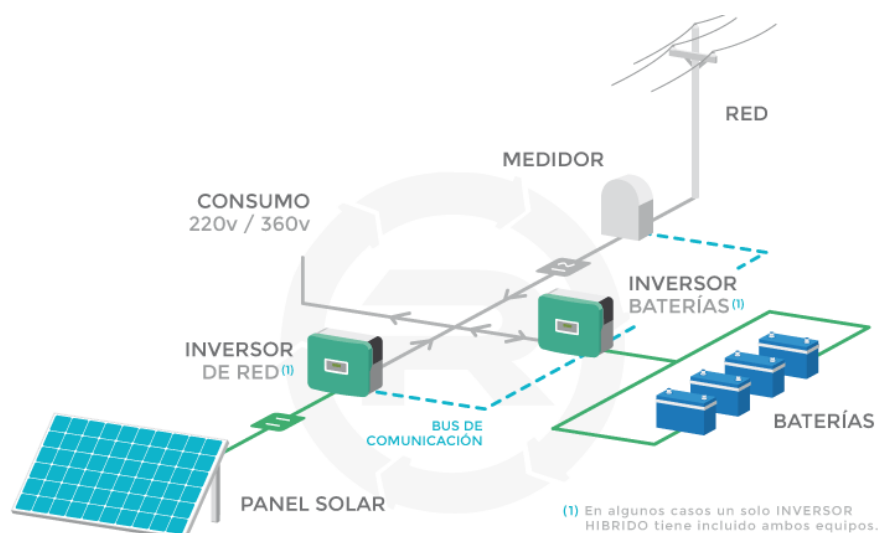


Ilustración 1.- Sistema de energía híbrido [8]

El sistema de energía híbrido eólico solar puede componerse mediante las siguientes partes indispensables:

- Generador o turbina eólica
- Red eléctrica
- Fase de control de carga
- Banco de baterías (en algunos casos)
- Inversor de corriente [11].

2.2.3. GENERADOR EÓLICO:

Transforma la energía del viento en energía eléctrica haciendo uso de un alternador que consigue energía mecánica de las hélices y el rotor. Su funcionamiento se basa en convertir la fuerza del viento en un par rotor que actúa en las palas o hélices. La cantidad de energía que ingresa depende de la densidad del aire. El área de barrido de las palas depende de la máxima energía que puede ser capturada por el rotor, ya que mientras haya mayor área, mayor energía absorbe [12].

Tenemos las siguientes fórmulas que se usan para determinar la energía por unidad de tiempo del viento.

$$P_v = \frac{16}{27} * A * \frac{1}{2} * \rho * x^3$$

Ecuación 1.- Máxima potencia de Betz [13]

La ley de Betz dice que la energía cinética del viento que se convierte en energía mecánica es del 59,26%

Donde:

A = Área de barrida por las palas del aerogenerador

ρ = Densidad del aire

x = Velocidad del viento

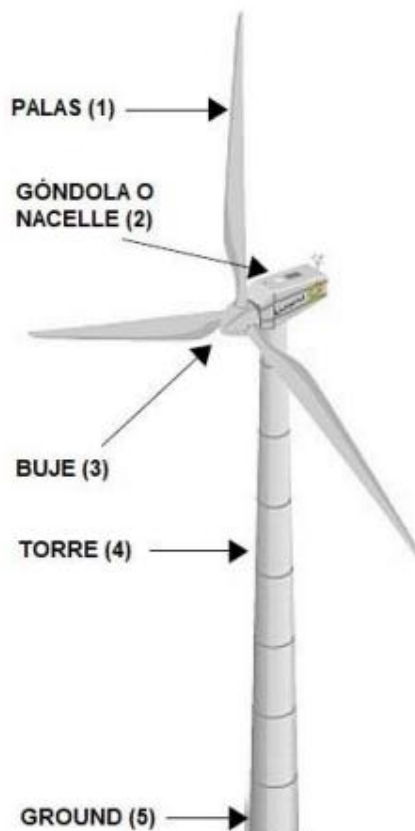


Ilustración 2.- Componentes de un generador eólico [12]

Los componentes que constituyen el generador eólico son generalmente las palas, góndola, buje, torre y la base.

2.2.4. TIPOS DE GENERADOR EÓLICO

Eje Horizontal:

Los aerogeneradores que predominan en la actualidad requieren estar alineados con la dirección del viento, lo cual implica una orientación adecuada antes de su funcionamiento. Existen diferentes categorías de estos aerogeneradores: los de baja a media potencia, que oscilan entre 0 y 5 kW y suelen contar con un número elevado de palas, hasta 24, utilizándose principalmente en zonas rurales; y los de alta potencia, que superan los 50 kW, generalmente equipados con tres o cuatro palas de diseño aerodinámico y se instalan en parques o centrales eólicas [14].

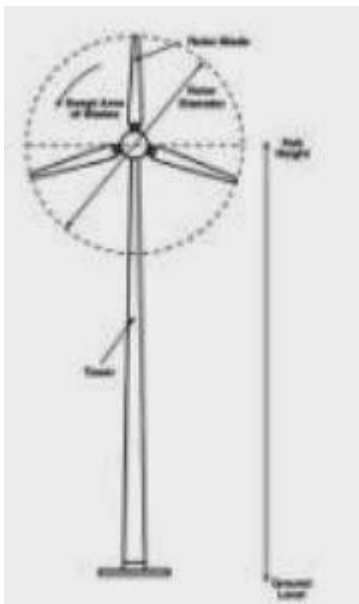


Ilustración 3.- Aerogenerador de eje horizontal [8]

Eje vertical:

La turbina eólica de eje vertical, comúnmente empleada en aplicaciones domésticas para suministrar energía renovable, consta de un rotor con un eje que se orienta verticalmente y está equipado con dos o tres aspas. El movimiento de esta turbina es similar al de una moneda girando sobre su canto [15].

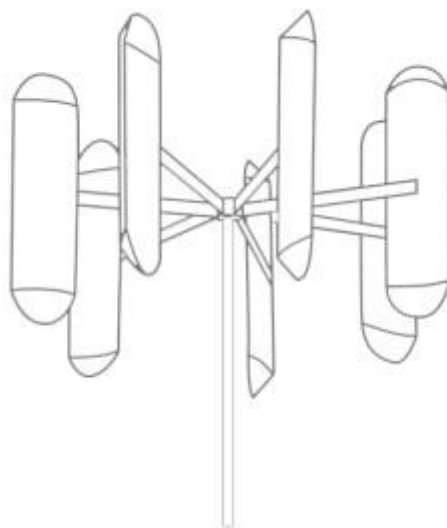


Ilustración 4.- Aerogenerador de eje Vertical [13]

En el caso de los aerogeneradores de eje vertical, se realiza una modificación a la ecuación [1], máxima potencia de Betz.

$$P_v = \frac{16}{27} * A * \frac{1}{2} * \rho * x \left(\frac{m}{s}\right)^3$$

$$P_{\text{eólica}} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

Ecuación 2.- Ecuación de la potencia máxima en un aerogenerador de eje vertical [15].

Donde:

ρ = Densidad del aire

A = Área de barrido del aerogenerador

V = Velocidad del viento Velocidad del viento

C_p = Coeficiente de potencia de los aerogeneradores verticales

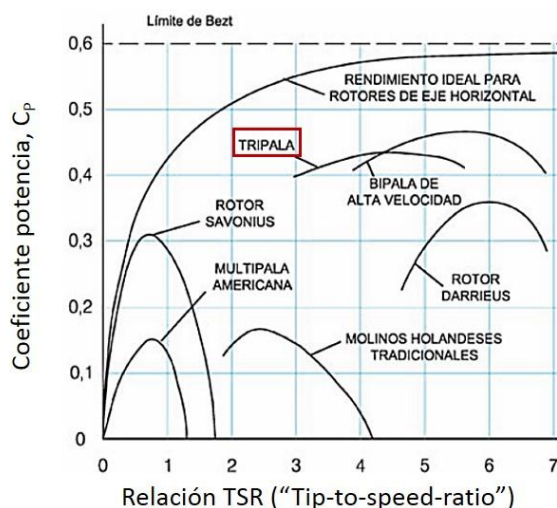


Ilustración 5.- Coeficientes de potencia según el tipo de aerogenerador [16]

En la Ilustración 5, se muestra la variación de los coeficientes según el tipo de aerogenerador, teniendo como límite el de Betz, el cual representa la potencia de Betz en la fracción 16/27.

En el caso del aerogenerador de eje vertical, se podría decir que es una representación del rotor DARRIEUS, el cual se muestra en la figura [6], Por lo tanto, podríamos estimar un coeficiente de potencia que varía entre 0.35 y 0.37

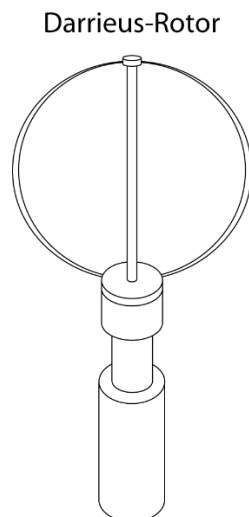


Ilustración 6.- Rotor Darrieus [17]

2.2.5. PANEL FOTOVOLTAICO:

Su funcionamiento es posible gracias al efecto fotoeléctrico consiste en la capacidad de absorción de fotones (partículas lumínicas) que poseen algunos materiales los cuales liberan cierta cantidad de electrones que generan energía eléctrica. El efecto en los paneles fotovoltaicos se logra por utilización de células fotovoltaicas siendo silicio monocristalino, policristalino amorfo u otros materiales semiconductores de capa fina. Existen centrales que producen energía a través de las plantas fotovoltaicas transmitiéndola a la red eléctrica, las plantas fotovoltaicas también pueden ser instaladas para el autoconsumo, estas son mayormente usadas en las viviendas y en instituciones que invierten en paneles para el ahorro energético [7].

$$P_{Gfv} = \frac{L_{md}}{HP_{S_{crit}} * PR}$$

Ecuación 3.- Cálculo de la potencia generada por el panel [18]

Donde:

L_{md} = Consumo medio energético diario

$HP_{S_{crit}}$ = Horas pico de radiación solar del mes crítico calculado

PR = Eficiencia de sistema

2.2.6. TIPOS DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

- **Silicio puro monocristalino:**

Clasificación de celda solar compuesta por secciones de barras de silicio cristalizado que conforma una pieza entera. Su rendimiento es de 16% [19].

- **Silicio puro policristalino:**

Barras de silicio seccionadas en desorden en forma de pequeños cristales. Poseen un aspecto granulado, su rendimiento es del 14% [19].

- **Silicio amorfo (TFS):**

No posee estructura cristalina, son paneles finos y flexibles, usados en dispositivos electrónicos, alcanzan una eficiencia no mayor al 5% [19].

- **Paneles de cobre, indio, galio y selenio (CIGS):**

Tipo de tecnología revolucionaria en los paneles solares. Se caracteriza por ser fino y tener bajo costo de producción, su eficiencia supera el 35% [19].

2.2.7. CURVA I-V

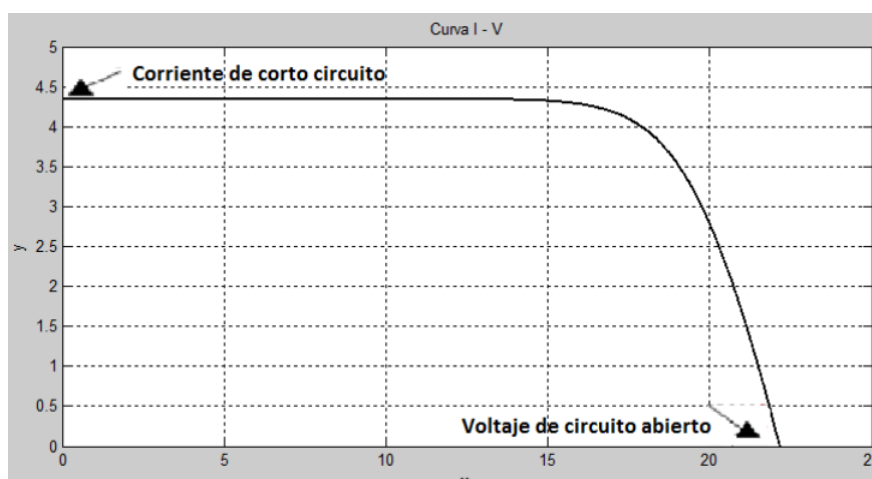


Gráfico 1.- Ejemplo de curva I-V del panel solar de silicio [19]

La corriente de cortocircuito representa la máxima intensidad de corriente a la que puede llegar un panel, mientras que el voltaje de corto circuito representa la máxima tensión en las

celdas solares, los datos en la curva dependen también de la temperatura y la radiación solar. [19]

2.2.8. RECOLECCIÓN DE DATOS

Atlas eólico del Perú

Documento que representa mediante procesos metodológicos, la validación y evaluación del potencial eólico en el Perú, nos muestra mediante mapas y gráficos el recurso eólico que se presentan a determinadas latitudes y altitudes [20].

Tiene como objetivo principal, proporcionar una caracterización de las propiedades del viento a 1 km de resolución final y cobertura terrestre por todo el país [20].

Departamento	Potencial eólico que logra aprovecharse (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico Total (MW)
Dep.Amazonas	129,0	288,0	417,0
Dep.Ancash	708,0	108,0	816,0
Dep.Arequipa	1020,0	156,0	1176,0
Dep.Lambayeque	7017,0	2097,0	9114,0

Tabla 1 Potencial de generación eólica en departamentos del Perú, atlas Eólico [20]

Según el Atlas eólico, en la tabla se evidencian algunos departamentos del Perú comparados con Lambayeque en donde se presencia una diferencia notable con respecto al Potencial eólico.

Atlas solar del Perú

Documento desarrollado por el SENAMHI que proyecta una utilización para el diseño de sistemas fotovoltaicos de acuerdo con la ubicación geográfica de la localidad. El Atlas permite diseñar sistemas en viviendas, locales comunes, postas o escuelas rurales [21].



Ilustración 7.- Potencial eléctrico fotovoltaico en el Perú [21]

La imagen presenta el promedio del potencial eléctrico hasta el año 2018 en KWh/KWp

2.2.9. SINCRONIZACIÓN DE RED

Los inversores son componentes eléctricos capaces de convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA), esto funciona gracias a las alternancias en la energía producidas por los transistores. En la presente investigación se tomaron en cuenta los inversores ON GRID, los cuales tiene la capacidad de sincronizar energía con la red [22].

La sincronización a la red es el proceso que realiza un componente eléctrico para acoplarse a la red considerando los parámetros importantes, sea en voltaje, secuencia de fases y frecuencia, logrando una sola línea de salida segura y eficiente. Asegurando que la energía generada por paneles solares o por aerogeneradores eólicos se integre a la red de manera perfecta [22].

El orden de acoplamiento se basa en la detección del voltaje y la frecuencia mediante un monitoreo constante por el inversor. Una vez conseguida la información acerca del voltaje y la frecuencia, el sistema ajusta el ángulo de desfase que se sincronizará con la red, imitando la forma de onda y posteriormente permitiendo una integración perfecta con la red [22].

Existen diversos métodos usados por los inversores de energía, pero la tecnología más usada es el bloqueo de fase PLL.

EL Bucle de bloqueo de Fase PLL (Phase Locked Loop) funciona mediante la comparación de una señal de referencia ω_0 (Trabajo de referencia), que retroalimenta la zona PD (Phase Detector) ajustando el ángulo de fase en la LPF (Low Phase Filter) logrando un monitoreo constante, de esta manera se emite una señal de salida controlada VCO (Voltage Controlled Oscillator) con la corrección precisa [23].

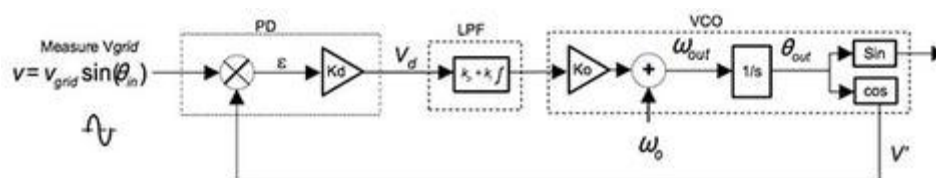


Ilustración 8 Bucle de Bloqueo de fase PLL [22]

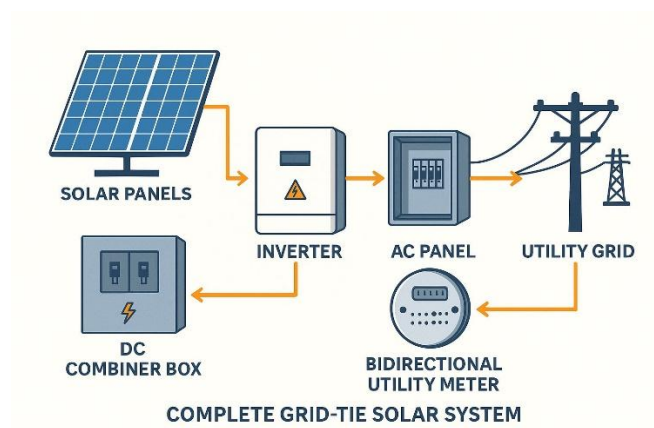


Ilustración 9 Esquema de Inversor ON GRID [22]

En la ilustración se aprecia el esquema del funcionamiento de un inversor sincronizado a la red, utilizando un medidor bidireccional, el cuál registra la electricidad que toma de la red y la electricidad inyectada por el sistema de generación CC [22].

2.2.10. Controladores de carga

Los controladores de Carga solar o eólica, son dispositivos electrónicos que controlan el flujo de energía que circula de un punto a otro. Su funcionamiento se debe a los tristores los cuales son componentes que regulan y dirigen la corriente en una sola dirección, sin posibilidad de retorno [24].

Los controladores de carga suministran energía a baterías o a inversores brindando una estabilidad continua, permitiendo que no haya una sobretensión y un exceso de corriente. Estos pueden suministrar energía en corriente continua de 12, 24 y 48 VDC.

2.2.11. Bono por huella de carbono

Se refiere a un certificado que se le otorga a empresas o proyectos que intervienen en la reducción o captura de CO₂ (dióxido de carbono). Es un acuerdo al que todos los países pueden acceder y funciona como una compensación por el impacto beneficioso que conlleva el proyecto [25].

Aunque en el Perú no hay un bono fijo por tonelada de CO₂, se aplica dependiendo el tipo de proyecto o el tipo de empresa que interviene. Existen empresas que han manifestado su postura en inversión de hasta 750 millones de dólares [25].

Si bien es cierto se puede estimar una huella de carbono referencial relacionada a la energía generada a través de fuentes renovables como el sistema híbrido solar-eólico. Aquello que usa 25 000 kWh/año de energía renovable puede evitar aproximadamente 12 500 kg de CO₂.

3. METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada no experimental, orientada a resolver los problemas de suministro energético en áreas comunes de edificaciones urbanas. Se centró en encontrar

soluciones sostenibles para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Para ello, se formularon hipótesis sobre la eficiencia del sistema y el abastecimiento de energía eléctrica. Al ser no experimental, la investigación se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que se estudian sin la intervención directa del investigador, es decir, sin modificar el objeto de investigación.

3.1.2. Métodos y diseño de la investigación

La presente investigación se realizó bajo el paradigma positivista, donde las metodologías estadísticas inferenciales y descriptivas son la base. Por ende, se determinó un planteamiento utilizando los datos estadísticos. Asimismo, se utilizó el enfoque cuantitativo, es por esto que se adquirieron datos que fueron cuantificados y procesados, para determinar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema híbrido solar-eólico en edificaciones urbanas en Pimentel, Chiclayo.

En cuanto al diseño/nivel de investigación, fue correlacional, ya que presenta una caracterización bivariada. Se analizó y estudió la relación entre la disponibilidad de recursos renovables (solar y eólico) y la demanda energética de las áreas comunes de los edificios. Esto permitió conocer el nivel de influencia de cada variable y lograr el dimensionamiento adecuado del sistema híbrido.

Para resolver estos objetivos, se recopilaron y analizaron datos meteorológicos históricos sobre radiación solar y velocidad del viento en Pimentel, Chiclayo, haciendo uso de la plataforma POWER DATA ACCESS VIEWER lo cual permitió conocer la factibilidad y los datos expuestos en $\frac{w}{m^2}$ y $\frac{m}{s}$.

Basado en estos datos, se diseñó un sistema híbrido que combina paneles solares y aerogeneradores, realizando un dimensionamiento y cálculos de diseño usando las ecuaciones de Joule-Lenz para la potencia de los paneles solares y el aerogenerador, además del respectivo dimensionamiento de componentes.

Por consiguiente, se procedió a calcular la potencia que puede generar el sistema haciendo uso de las mismas ecuaciones enfocadas a la potencia de generación, lo cual nos permitió conocer la potencia en recursos promedios y máximos.

Además, se llevaron a cabo cálculos detallados de costos de instalación, operación y mantenimiento del sistema híbrido, comparándolos con los de la energía convencional para

determinar la rentabilidad. Finalmente, se designó la viabilidad del proyecto considerando el costo de instalación y el abastecimiento de la demanda energética.

3.1.3. Operacionalización de variables

Variable	Definición	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable independiente	Es el diseño de un sistema de energía híbrida que puede generar electricidad a partir de dos a más fuentes (energía solar y eólica) con un solo punto de conexión [5].	Usando los planos del proyecto de edificación para el dimensionamiento y evaluando los recursos solares y eólicos según la plataforma POWER DATA ACCESS VIEWER para conocer su viabilidad.	Diseño de un sistema híbrido	Radiación solar	kWh/m ²
Diseño de un sistema híbrido solar-eólico				Velocidad del viento	m/s
				Potencia	Kw

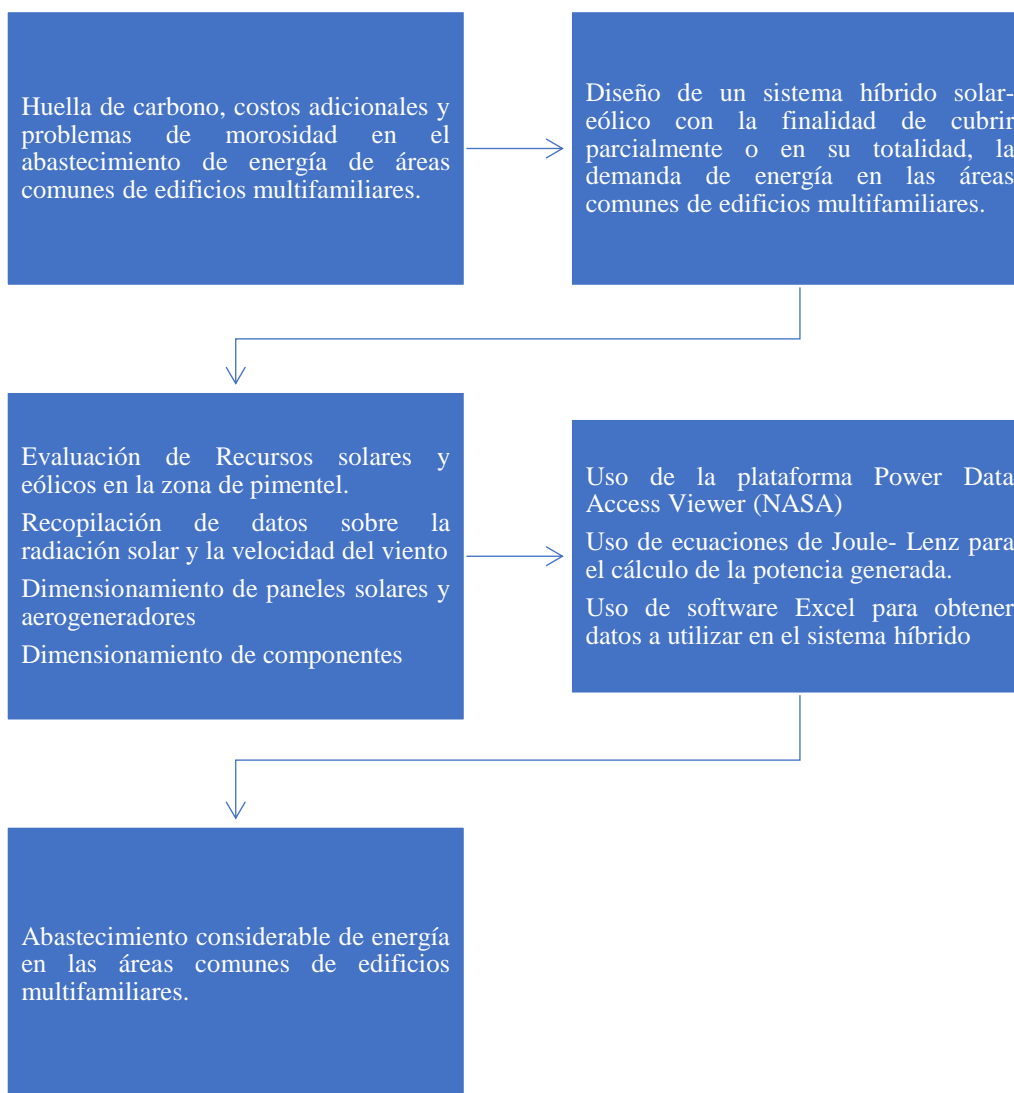
Variable	Definición	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable dependiente	Satisfacer parcial o totalmente la demanda energética producida por el edificio multifamiliar en áreas comunes [25]	Considerar la demanda máxima calculada del proyecto para dimensionar los componentes del sistema híbrido.	Abastecer demanda energética	Demanda Abastecida	Kw
Satisfacer parte de la demanda energética del proyecto de edificación.					

3.1.4. Matriz de consistencia

Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para cubrir parte de la demanda energética en edificios multifamiliares.				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Es posible cubrir total o parcialmente la demanda energética en las áreas comunes de edificios multifamiliares en el distrito de Pimentel a través del diseño de un sistema híbrido solar-eólico?	General	General	Variable independiente:	Diseño de investigación
	Diseñar un sistema híbrido haciendo uso de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores eólicos para cubrir parte de la demanda energética en un edificio multifamiliar.	Si se diseña un sistema híbrido solar-eólico, entonces, se podrá cubrir una parte de la demanda energética en un edificio multifamiliar.	Diseño de un sistema híbrido solar-eólico	Diseño Cuantitativo. Descriptivo. Se objeta cubrir parte de la demanda energética de las áreas comunes de un edificio multifamiliar.
	Específicos	Específicos	Indicadores:	Técnica: Recolección de datos
	<ul style="list-style-type: none"> Evaluar los recursos solar y eólico en la zona del predio. 	<ul style="list-style-type: none"> Si se evalúa el recurso solar y eólico en la zona, entonces se podrá comprobar si es accesible a un sistema híbrido. 	Velocidad del viento. Radiación Solar. Potencia que genera el sistema híbrido	Usando la plataforma Power Data Access Viewer

	<ul style="list-style-type: none"> Diseñar un sistema híbrido usando planos de un proyecto de edificación multifamiliar. 	<ul style="list-style-type: none"> Si se diseña un sistema híbrido solar-eólico, entonces se planteará la viabilidad de la instalación en un proyecto de edificación multifamiliar 	<p>Variable dependiente:</p> <p>Abastecimiento de la demanda eléctrica</p>	<p>Se calcula la demanda máxima del proyecto de edificación usando el código nacional de electricidad utilización.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la potencia que genera el sistema híbrido 	<ul style="list-style-type: none"> Si se determina la potencia que genera el sistema híbrido, entonces se podrá definir parte de la demanda a cubrir 	<p>Indicadores:</p> <p>Tensión</p> <p>Corriente</p>	<p>Población y muestreo: El proyecto de edificación multifamiliar.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el costo de instalación del sistema híbrido en el edificio. 	<ul style="list-style-type: none"> Si se determina el costo de instalación del sistema híbrido en el edificio, se podrá plantear un costo de venta incluido en el proyecto de edificación multifamiliar 	<p>eléctrica</p> <p>Potencia</p>	<p>Proyecto:</p> <p>Edificio multifamiliar</p> <p>Localidad: Pimentel</p>

3.1.5. Diagrama de flujo



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en base a los objetivos propuestos de la investigación.

4.1. EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR Y EÓLICO

Para la evaluación del recurso eólico, se emplearon los datos proporcionados por la plataforma en línea POWER Data Access Viewer, la cual es administrada por la NASA. Esta plataforma permite el acceso y utilización de su extensa base de datos. En ella se seleccionó la zona del área de un proyecto estudiado situado en el distrito de Pimentel, Chiclayo.

4.1.1. Datos del Proyecto:

El edificio en el cual se va a realizar el proyecto está situado en la Lotización Quiñonez, del Distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque de propiedad del Sr. Juan M. A.

Zona evaluada: Pimentel, Chiclayo, Lambayeque

Coordenadas en grados decimales:

Latitud: -6,8

Longitud -79,9

Coordenadas en grados UTM:

Z: 17M

E: 617350.238

N: 9244351.077

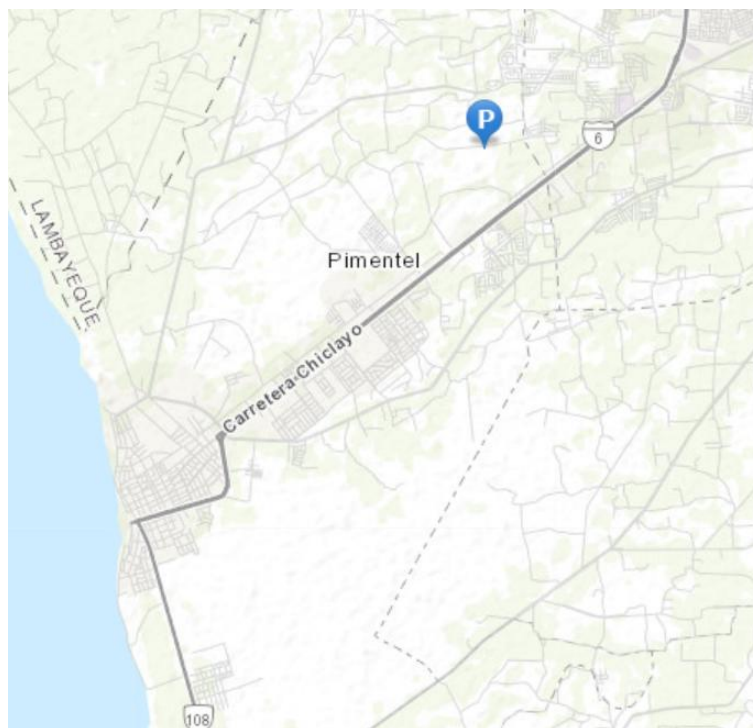


Ilustración 10.- Zona en donde se evalúa el recurso solar y eólico [16]

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

4.1.2. Recurso eólico

Teniendo en cuenta la zona y las coordenadas se procedió a generar los datos de la velocidad del viento en m/s.

Los datos generados por la plataforma fueron:

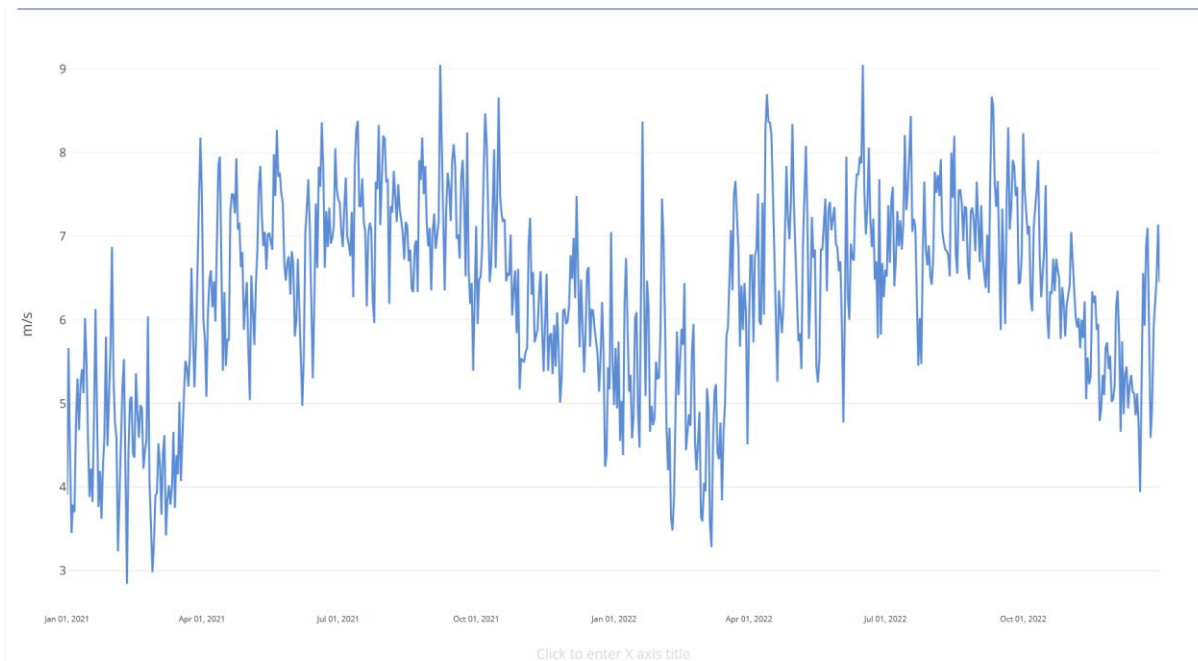


Gráfico 2.- Velocidad del viento desde el año 2021 [26].

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

Esta gráfica nos representa la velocidad del viento en los años 2021 y 2022. En el Anexo 1, se encuentra la hoja de cálculo usada para hallar la velocidad promedio en el tiempo dado.

En el gráfico se puede apreciar que la velocidad del viento mínima se produce en el mes de Febrero del año 2021 llegando a 3 m/s y la velocidad del viento máxima llega a más de 9 m/s en el mes de septiembre.

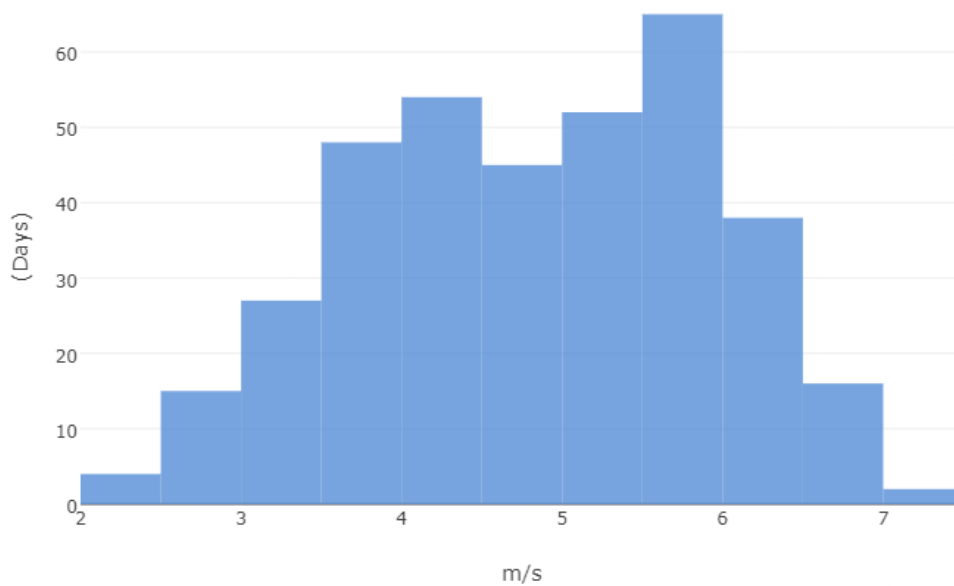


Gráfico 3.- Días vs velocidad del viento entre los años 2021-2022 [26].

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

En el siguiente gráfico vemos un estudio adicional relacionado al año 2019 teniendo en cuenta que los días en más de 60 días del año la velocidad del viento fue mayor a 5 m/s.

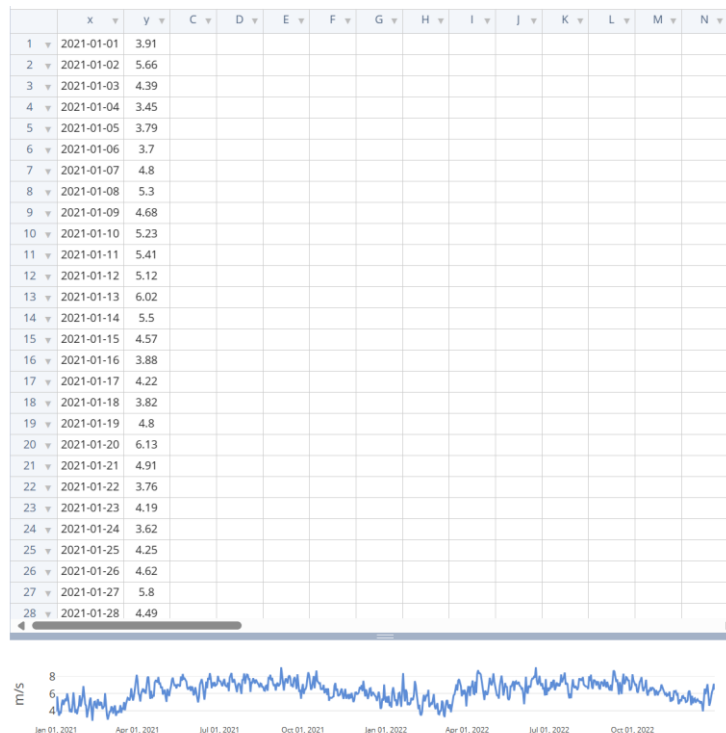


Ilustración 11.- Datos generados por la plataforma Power Data Access Viewer [26]

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

El promedio de Velocidad del viento a una altura de 50 metros fue de: 6.82834m/s.

Promedio de datos en un día en el año 2023

Tabla 2.- Promedio por hora de la Velocidad del viento a 50 M

Año	HR	Media Velocidad del viento a 50M
2023	0	6,06
2023	1	5,89
2023	2	6,24
2023	3	6,59
2023	4	7,01
2023	5	7,14
2023	6	7,11

2023	7	7,48
2023	8	7,95
2023	9	7,01
2023	10	8,41
2023	11	9,2
2023	12	9,04
2023	13	9,8
2023	14	10,5
2023	15	8,04
2023	16	7,05
2023	17	8,26
2023	18	8,46
2023	19	8,2
2023	20	7,88
2023	21	7,5
2023	22	6,85
2023	23	6,79

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

En base a estos datos se procederá a aplicar la ecuación de Betz para analizar la potencia que genera el aerogenerador eólico.

4.1.3. Recurso Solar

Usando la misma plataforma y los mismos datos en latitud y altitud, se generaron los siguientes datos sobre la radiación solar en la superficie:

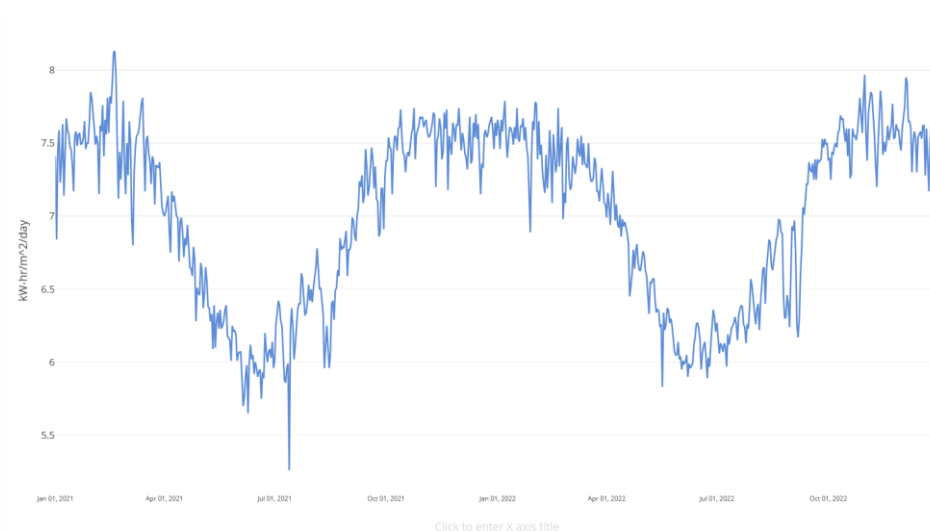


Gráfico 4.- KWh por metro cuadrado al día desde el año 2021 [26].

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

El gráfico [5] muestra la radiación medida en KWh por metro cuadrado al día en la superficie con el cielo despejado en el año 2021 y 2022 usando la ubicación establecida.

El promedio de radiación solar registrada por la plataforma nos da un 7.005 KWh/m²/día

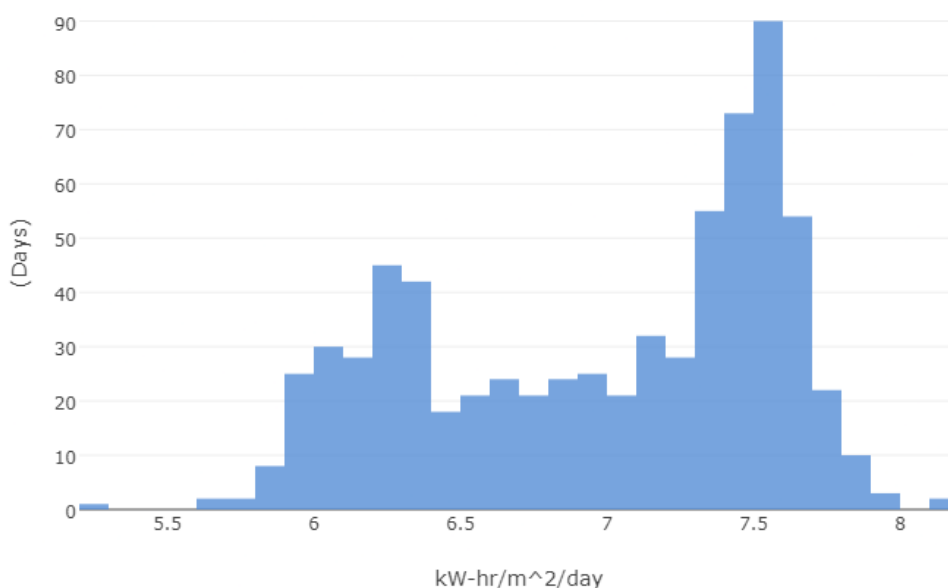


Gráfico 5.- Días vs radiación en la superficie [26]

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

En el gráfico, podemos diferenciar los días con más radiación en la superficie de la zona. De esta referencia podemos definir que la radiación con mayor frecuencia en el año es 7.5 kW-hr /m²/día correspondiente a 90 días.

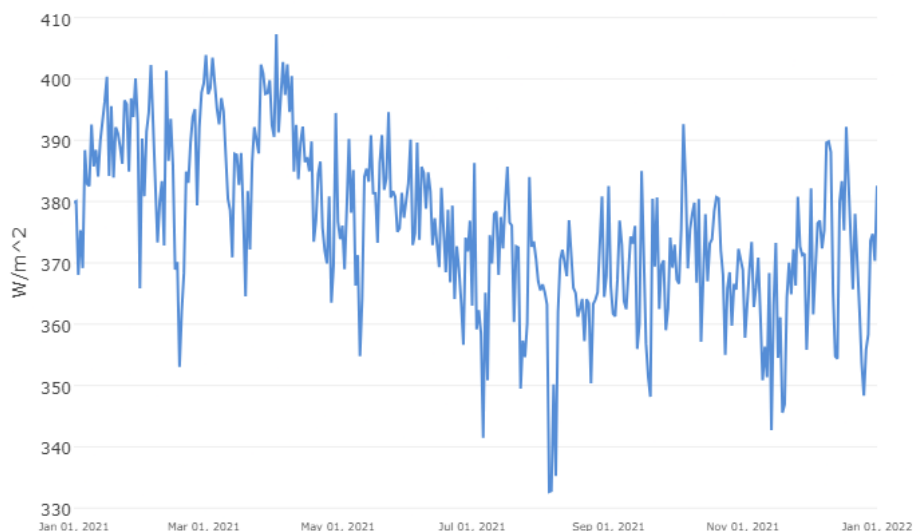


Gráfico 6 W/m² por metro cuadrado al día en el año 2021 [26]

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

En el gráfico anterior se puede apreciar la variación en W/m² al día que ocurre en el año 2021. A partir de ello podemos definir los meses con mayor radiación en la zona, los cuales serían entre marzo y mayo.

A continuación, se mostrará un resumen del Anexo 9 el cual nos detalla la radiación en kW-hr/m²/día que se presentaron entre los inicios del año 2021 hasta finales del año 2022. Los datos mostrados son los resultados que la plataforma DATA ACCESS VIEWER nos permite generar.

Tabla 3.- Promedio de Kwh por metro cuadrado al día desde 2021-2022 (Resumen)

Año	Mes	Día	Radiación en (kW-hr/m ² /day)
2021	1	1	7.41
2021	1	2	6.84
2021	1	3	7.45

2021	1	4	7.59
2021	1	5	7.23
2021	1	6	7.38
⋮	⋮	⋮	⋮
2021	12	26	7.66
2021	12	27	7.68
2021	12	28	7.6
2021	12	29	7.46
2021	12	30	7.64
2021	12	31	7.55

Año	Mes	Día	Radiación en (kW-hr/m ² /day)
2022	1	1	7.66
2022	1	2	7.6
2022	1	3	7.46
2022	1	4	7.66
2022	1	5	7.58
2022	1	6	7.68
⋮	⋮	⋮	⋮
2022	12	27	7.58
2022	12	28	7.41
2022	12	29	7.41
2022	12	30	7.41
2022	12	31	7.34

Fuente: Power Data Access Viewer (NASA)

Con ayuda de la herramienta Excel se pudo calcular un indicador medio de Radiación proveniente de los datos generados. Siendo 6.99816 kW-hr/m²/día y 7.012164 kW-hr/m²/día

para los años 2021 y 2022 respectivamente. El promedio entre ambos datos nos resulta: 7.00516 kW-hr/m²/día.

Además de ello se eligió el valor mínimo de irradiancia solar, el cual fue: 5.26kWh/m²/día

4.2. Identificación de la demanda energética en las áreas comunes del edificio

En el cálculo de la máxima demanda eléctrica, conforme al Código Nacional de Electricidad, se consideran varios factores determinantes, entre ellos el área techada, área no techada, alumbrado, tomacorrientes y cargas especiales. Para el propósito específico de esta investigación, asignaremos las cargas dependiendo de cada zona en área compartida basándonos en los planos de arquitectura, señalando los tableros eléctricos considerados con su respectiva demanda.

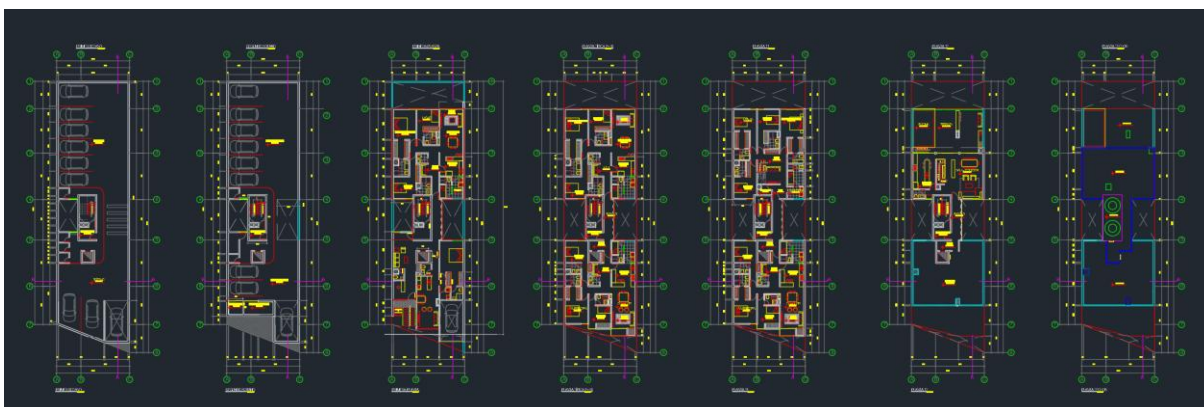


Ilustración 12.- Planos de arquitectura de un proyecto usado como referencia

Los planos tomados como referencia corresponden a los datos del proyecto inmobiliario precisados anteriormente. Estos planos de arquitectura nos servirán para poder calcular y estimar las cargas de luminarias, tomacorrientes y cargas especiales dentro de las áreas comunes [5].

Tabla 4 Cálculo de la demanda máxima en el edificio

Nombre Tablero distribución áreas comunes 3Ø-380+N-60HZ+PE							
Circuito	Descripción	Potencia instalada	Máxima demanda	Fases	Voltaje	In	Id
TD-S1	Tablero Sótano1	985	736.5	R+N	220	3.669856459	4.58732057
TD-CW	Tablero Coworking piso 1	1970	1368.5	S+N	220	6.820574163	8.5257177
TD-GM	Tablero Gimnasio	950	692.5	T+N	220	3.433014354	4.29126794
TD-SJ	Tablero Sala de Juegos	950	692.5	R+N	220	3.433014354	4.29126794
TD-P1	Tablero Piso 1	425	365	S+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P2	Tablero Piso 2	425	365	T+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P3	Tablero Piso 3	425	365	R+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P4	Tablero Piso 4	425	365	S+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P5	Tablero Piso 5	425	365	T+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P6	Tablero Piso 6	425	365	R+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P7	Tablero Piso 7	425	365	S+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P8	Tablero Piso 8	425	365	T+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P9	Tablero Piso 9	425	365	R+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P10	Tablero Piso 10	425	365	S+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P11	Tablero Piso 11	425	365	T+N	220	1.770334928	2.21291866
TD-P12	Tablero Piso 12	425	365	R+N	220	1.770334928	2.21291866
R-1	Reserva 1	425	365	S+N	220	1.770334928	2.21291866
R-1	Reserva 2	425	365	T+N	220	1.770334928	2.21291866
		Potencia Instalada Total	Demanda máxima Total			Corriente 3Ø	
			10805	8600		13.75405073	

En la Tabla [4] se realiza el cálculo de la demanda máxima estipulado el código nacional de electricidad y utilización [27], teniendo cargas de tomacorrientes y luminaria, con un factor de demanda basado en el código Nacional Electricidad y Utilización.

Los cuadros de carga realizados para los sub - tableros finales se encuentran en los

Tabla 5 Factor de demanda para alimentadores de cargas en alumbrado [27]

Tipo de local	Partes de la carga a la cuál se le aplica el factor	Factor de demanda
Unidades de vivienda	Primeros 2 000W o menos	100%
	Siguientes 118 000W	35%
	Sobre 120 000W	25%
Edificaciones para oficinas	20 000 W o menos	100%
	sobre 20 000W	70%
Escuelas	15 000 W o menos	100%

	sobre 15 000W	50%
Hospitales	Primeros 50 000W o menos	40%
	Sobre 50 000W	20%
Hoteles y moteles	Primeros 20 000W o menos	50%
	Siguientes 80 000W	40%
	Sobre 100 000W	30%
Locales de depósito y almacenamiento	Primeros 12 500W o menos	100%
	Sobre 12 500W	50%
Todos los demás	Watt totales	100%

$$\text{Factor de demanda} = \frac{\text{Máxima demanda}}{\text{Carga instalada}}$$

Ecuación 4 Ecuación del factor de demanda [28].

Luego de haber realizado el cálculo respectivo resumidos en la tabla 6, resultó una Potencia Instalada Total de 10805 Watts y una demanda máxima de 8600Watts

Para poder evaluar el diseño del sistema híbrido, será necesario considerar el consumo diario por las luminarias y tomacorrientes en el día. Cómo se sabe, el consumo de energía real de un sistema llega a ser mucho menor con respecto a la demanda máxima, es por ello que se considerará un consumo mayor por 12 h a un 100% y 12 horas a un 50% de la demanda máxima.

Sabiendo que la demanda máxima es 8600 Watts, se considera un consumo máximo por 10 horas y un consumo medio por 14 horas en el día. Entonces:

Tabla 6 Cálculo del consumo diario aproximado en las áreas comunes del edificio

	Horas (h)	Porcentaje de la demanda	Demanda máxima (W)	Consumo de Energía Wh/día
Consumo máximo	10	100%	8600	86000
Consumo medio	14	50%	8600	60200
Total	24		Consumo de Energía diaria aproximado (Wh/día)	146200

El consumo diario referencial ajustando la demanda al 100% en 10 h y una demanda al 50% en 14 horas, resulta 146200 Wh/día

En la tabla 6 se calculó la energía consumida aproximada en el día, que tendrá que ser abastecida por el sistema híbrido dimensionado a continuación.

4.3. Diseño del sistema híbrido

Para el diseño del sistema híbrido se necesita saber la dirección y la superficie aproximada por la cual irá montado el sistema híbrido

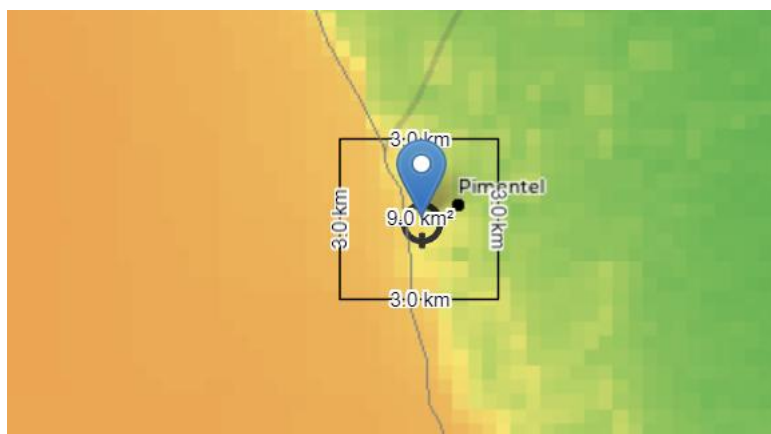


Ilustración 13.- Ubicación aproximada del edificio multifamiliar según Global Wind Atlas [29].



Ilustración 14.- Ubicación aproximada de un edificio multifamiliar según Google Earth Pro [30]

Comenzando definiendo el generador eólico, para ello, siempre es necesario conocer la velocidad del viento promedio en la zona y su dirección

Rosa de vientos a una altura de 10 metros

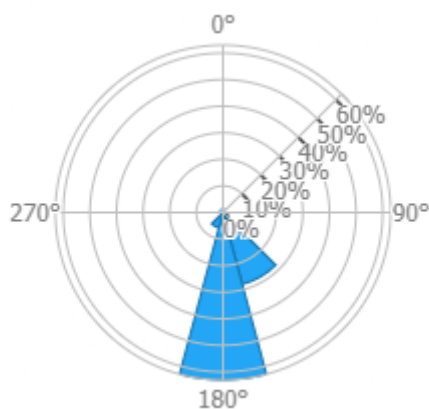


Ilustración 15.- Rosa de frecuencia del viento [29].

Según la plataforma Global Wind Atlas se tiene una frecuencia del 63% en 180° (Sur), una frecuencia del 28% en 150° (SSE) y finalmente una frecuencia del 6% en dirección a los 210° (SSO).

4.3.1. Selección del aerogenerador

Tabla 7.- Promedio de la velocidad del aire desde el año 2021 hasta el 2023 [29]

Días totales	A 50 Metros
731	4 991.5
Promedio	6,82834

Los datos completos de la velocidad del viento se encuentran en el Anexo 3

En la tabla 2 se pudo observar el resultado dado por la suma de las velocidades que van desde el inicio del año 2021 hasta el primer día del año 2023 en determinada altura, teniendo como promedio a 50 metros un valor de 6.82 m/s.

Al haber obtenido un valor de velocidad superior a 5 m/s, se considera factible realizar un proyecto eólico.

Tabla 8.- Características de generadores eólicos [31]

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Modelo	FK-3 000	FK-2 500	FS-10 000	FH-10000
MARCA	SMARAAD	SMARAAD	Rewindagic	FLXTNY
Tipo	Horizontal Wind Turbine	Horizontal Wind Turbine	Vertical Wind Turbine	Vertical Wind Turbine
Tensión Nominal	48V-220V	48V-220V	48V/96V/220V	48V-380V
Velocidad de aire nominal (m/s)	10	10	13	10
Velocidad de aire de inicio (m/s)	3,5	3,5	1,5	3

Velocidad de aire que soporta (m/s)	40	40	50	45
POTENCIA NOMINAL (W)	3 000	2 500	10 000	10 000
POTENCIA MÁXIMA (W)	3 300	2 700	10 100	11 000
Diámetro de rueda/rotor (m)	3,3	3,2	0,8	3
Material de alas	Fibra de vidrio reforzada	Fibra de vidrio reforzada	Fibra de vidrio reforzada	Aleación de aluminio de aviación

En la tabla N°[6] se pueden observar las características principales para considerar en el dimensionamiento del sistema híbrido y para seleccionar el generador eólico adecuado.

Considerando el amplio rango de velocidades del aire con las que puede funcionar, se seleccionó el Generador eólico de tipo Vertical FH-10000, debido a que además puede llegar a funcionar con velocidades que llegan cerca al promedio obtenido en la zona.

Como dato adicional, se tiene que debido a la estructura del edificio y para evitar complicaciones, el sentido y dirección a la que se dirige el aire, es variable. Por tanto usando un generador de tipo vertical, no existiría ese tipo de preocupaciones al momento de diseñar el sistema híbrido.

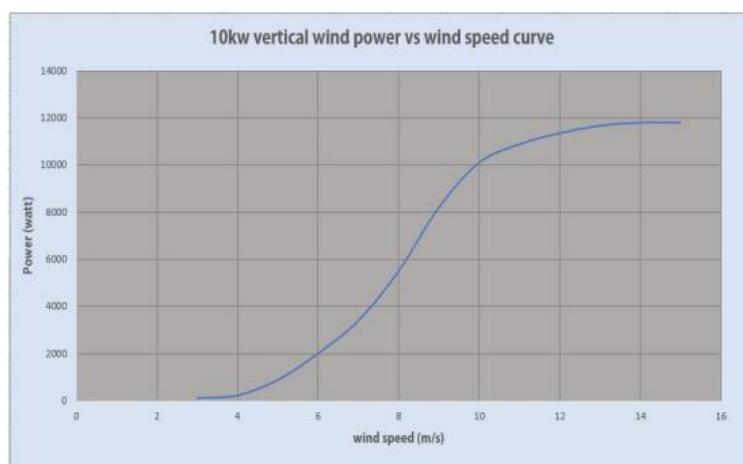


Ilustración 16 Curva de Potencia vs Velocidad del viento [32]

Fuente: FLTXNY

La marca del aerogenerador nos proporciona la curva de potencia vs velocidad del viento referencial que debería cumplir el aerogenerador, concordando con los cálculos realizados y nos muestra que la eficiencia disminuye cuando supera la velocidad de 10 m/s.

Los beneficios del tipo de generador son importantes, ya que debido a su diseño, puede ocupar mucho menos volumen que los generadores eólicos horizontales.

La conexión del generador eólico nos provee una tensión nominal que va desde los 48V y los 380V



Ilustración 17.- Generador eólico considerado en el diseño [31].

Características del generador eólico vertical FH-10000

- Número de hojas = 3
- Diámetro de la rueda = 5m
- Peso=320Kg
- Altura de las hojas=6m
- POTENCIA NOMINAL DEL AEROGENERADOR=10000W

Para calcular la potencia del generador eólico la cual se considerará en el diseño, se procede a usar la ecuación N°[2]

$$P_{eólica} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

Antes de realizar una estimación se definen los parámetros y las variables.

Donde:

$$\rho = \text{Densidad del aire } (1.255 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

A = Área de barrido del aerogenerador

V = Velocidad del viento

C_p = Coeficiente de potencia de los aerogeneradores verticales (0.35)

Para calcular el área de barrido se usa la siguiente fórmula:

$$A = \text{Altura de las hojas} * \text{Diámetro de la rueda}$$

$$A = 6\text{m} * 5\text{m}$$

$$A = 30\text{m}^2$$

Usamos los datos del viento promedio obtenidos en a partir del Gráfico [2] y [3].

V = Velocidad del viento promedio

$$V = 6.82 \text{ m/s}$$

Procedemos a reemplazar los valores:

$$\text{Potencia eólica} = \frac{1}{2} * 1.255 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 30\text{m}^2 * \left(6.82 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 * 0.35$$

$$\text{Potencia eólica} = 2090.047 \text{ Watts}$$

Usando la misma fórmula, ahora nos dedicaremos a calcular la Energía total que genera en el día. Se toma en cuenta la tabla N°2 en la cual se observa la velocidad media en el día.

Debido a que se está usando la velocidad del viento promedio del día, se multiplicará por 24h para poder tener la Energía generada aproximada en el día.

$$\text{Energía eólica generada en 24h} = 2090.047 \text{ Watts} * 24\text{h}$$

$$\text{Energía eólica generada en 24h} = 50161.128 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía eólica generada en 24h} \cong 50 \text{ KWh}$$

Luego de haber reemplazado los datos de la ecuación, en cada una de las velocidades proporcionadas anteriormente, nos resultó una magnitud de la generación de Energía de 50161.128 Wh/día.

4.3.2. Selección del panel fotovoltaico

El panel que se elige para el dimensionamiento es del tipo Monocristalino debido a su fácil acceso y comercialización, con 144 Células fotovoltaicas, el cual genera un voltaje máximo de 41V y una potencia máxima de 455 W.

Modelo: JA SOLAR 455W 24V Monocristalino PERC

Dimensiones:

- Altura: 2120mm
- Ancho: 1052mm
- Profundidad: 40mm
- Voltaje a máxima potencia: 41.82V
- Intensidad a Máxima Potencia: 11.41A
- Eficiencia del panel: 20.5%

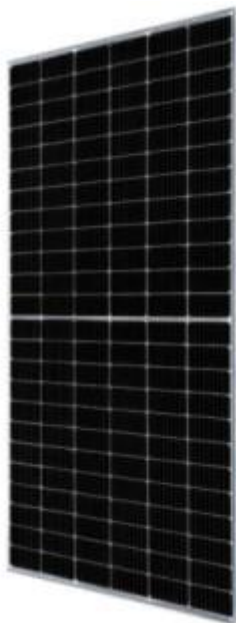


Ilustración 18.- Panel fotovoltaico de 455W [31]

Se tomó el siguiente tipo de panel debido a la gran demanda de este dispositivo, los precios son más accesibles por tanto se opta por una inversión a largo plazo.

Para conocer la potencia que puede llegar a generar nuestro panel con una irradiancia a las 11:00 am, nos centramos en el Anexo 3 y la Ecuación 3.

Datos:

Eficiencia del Panel = 0.2

Irradiancia media por m²: 1006 W/m²

Área del Panel: 2.23m²

$$P_{fv} = 1000 \frac{W}{m^2} * 2.26 m^2 * 0.2$$

$$P_{fv} = 446W$$

Antes de realizar el cálculo del N° de paneles se necesita la irradiancia media que proporciona la zona, calculada previamente en la tabla N°3, además de ello, será necesario modificar la ecuación de la potencia fotovoltaica, considerando que no se usarán baterías en este sistema, en este caso sería obligatorio definir el número de paneles en relación a la demanda durante las horas de irradiancia independientemente de la energía generada por el sistema eólico.

Las horas de irradiancia se estimarán según el Anexo 3, teniendo en cuenta que las horas donde ocurre la irradiancia óptima para el panel son desde las 8:00 horas hasta las 16:00 horas, teniendo un total Horas Solares Pico de 8 horas.

Recordaremos la Ecuación /Ecuación 3 que nos detalla la potencia que genera un sistema fotovoltaico.

Entonces:

$L_{d_{md}}$ = Consumo medio energético durante las horas de irradiancia

H_c = Horas consideradas durante la irradiancia

PR = Eficiencia del sistema según inversor

De esta manera podríamos calcular los números de paneles necesarios realizando un análisis de magnitudes.

$$Ld_{md} = N_{\text{paneles}} * H_c * \text{Potencia MAX del panel} * PR$$

Donde:

- Ld_{md} : Demanda máxima*0.7 x $H_c = 8630W*0.7*8h=48328Wh$
- Potencia Máxima del panel: 455W
- Eficiencia del Sistema (PR) : 0.92
- Horas Solares Pico: 8 h

Reemplazamos:

$$48328Wh = N_{\text{paneles}} * 8 h * 455W * 0.92$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{48328Wh}{8h * 455W * 0.92}$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = 14.43 \cong 14$$

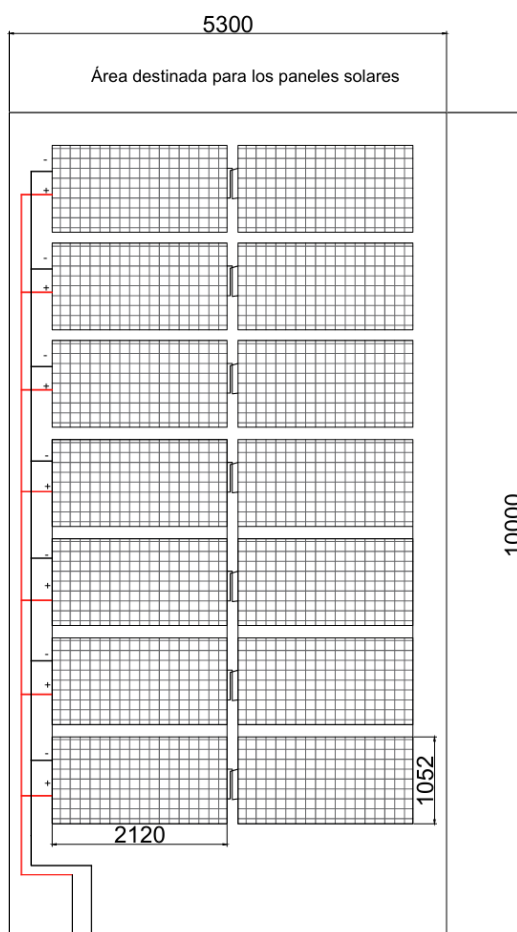


Ilustración 19 Conexión de 14 paneles fotovoltaicos

Después de haber seleccionado el panel fotovoltaico a utilizar, se procedió a realizar el diseño en 2D acerca de la organización de los paneles solares y definiendo que el área que ocuparán es de 14.971 m^2

4.3.2.1. Ángulo de inclinación de los paneles:

Para proponer un ángulo de inclinación de los paneles, primero debe conocerse la latitud en la zona del diseño. Con el conocimiento de los datos del proyecto podemos decir que la latitud es de $-6,8$.

La ecuación para el ángulo óptimo de inclinación es la siguiente:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0.69 * |\varphi|)$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0.69 * |-6.8|)$$

$$\beta_{opt} = 8.392$$

4.4. Cálculo de potencia abastecida con el sistema

4.4.1. Potencia generada con valores máximos del recurso eólico y solar

Según el Anexo 1 Se ha presentado que los recursos picos registrados en los años 2021 y 2022 fueron:

- Velocidad pico del viento: 10m/s
- Horas Solares Pico: 9 h

$$P_{\text{sistema}} = P_{\text{solar}} + P_{\text{eólica}}$$

Potencia del sistema eólico:

$$P_{\text{eólica}} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

Donde:

ρ = Densidad del aire

A = Área de barrido del aerogenerador

V = Velocidad del viento

C_p = Coeficiente de potencia de los aerogeneradores verticales

Reemplazando los valores de la velocidad pico del aire

$$P_{\text{eólica}} = \frac{1}{2} * 1.255 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 30\text{m}^2 * \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 * 0.35$$

$$P_{\text{eólica}} = 6588.75 \text{ W}$$

Potencia del Sistema fotovoltaico

$$P_{\text{solar}} = P_{\text{panel}} * N^{\circ} \text{ de paneles}$$

$$P_{\text{panel}} = A * G * n_p$$

Donde:

A = área del panel en m^2

G = Radiación en $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

n = Eficiencia del panel

Por potencia de diseño del panel

$$P_{pico\ panel} = 2.23m^2 * 1000 \frac{W}{m^2} * 0.205 = 463.3$$

$$P_{pico\ solar} = P_{pico\ panel} * N^{\circ}\ de\ paneles$$

$$P_{pico\ solar} = 463.3 * 14$$

$$P_{pico\ solar} = 6486.2$$

$$P_{picosistema} = 6486.2 + 6588.75W$$

$$P_{picosistema} = 13074.95W$$

4.4.2. Potencia generada por el sistema híbrido con valores promedios

Datos:

- Velocidad media del viento: 6.82m/s
- Irradiación media en la zona: 600 w/m²

$$P_{sistema} = P_{solar} + P_{eólica}$$

$$P_{eólica} = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

Donde:

ρ = Densidad del aire

A = Área de barrido del aerogenerador

V = Velocidad del viento

C_p = Coeficiente de potencia de los aerogeneradores verticales

$$P_{eólica} = \frac{1}{2} * 1.255 \frac{kg}{m^3} * 30m^2 * \left(6.82 \frac{m}{s}\right)^3 * 0.35$$

$$P_{eólica} = 2090.0474\ watts$$

$$P_{solar} = P_{panel} * N^{\circ}\ de\ paneles$$

$$P_{panel} = A * G * \eta_p$$

Donde:

A = área del panel en m²

$$G = \text{Radiación en } \frac{W}{m^2}$$

$$n = \text{Eficiencia del panel}$$

$$P_{\text{panel}} = 2,23m^2 * 600 \frac{W}{m^2} * 0,205$$

$$P_{\text{panel}} = 274.29 \text{ Watts}$$

$$P_{\text{solar}} = 274.29 * 14$$

$$P_{\text{solar}} = 3840.06W$$

$$P_{\text{sistema}} = 2090.05 + 3840.06W$$

$$P_{\text{sistema}} = 5930.11W$$

4.4.3. Balance de carga y oferta vs demanda

Datos de la carga:

- Carga domiciliaria, monofásica 3F - 380VAC + N - 60HZ
- Máxima demanda calculada previamente: 8600 W
- Potencia instalada: 10805 W
- Consumo energético diario: 146200 Wh/día

Para simular el diagrama de carga, se atribuyeron porcentajes de la máxima demanda guiándonos del portal informativo del COES [32], en donde varían desde el 30% hasta el 65% del total, llegando a sumar aproximadamente 147kWh/día.

Tabla 9 Porcentaje de la demanda máxima considerada en el diagrama de carga

Porcentaje de la máxima demanda (W)		
0	0,37	3150
1	0,37	3150
2	0,37	3150
3	0,37	3150
4	0,37	3150

5	0,51	4410
6	0,51	4410
7	0,55	4725
8	0,57	4935
9	0,61	5250
10	0,61	5250
11	0,73	6300
12	0,76	6510
13	0,79	6825
14	0,78	6720
15	0,76	6510
16	0,79	6825
17	0,76	6510
18	0,76	6510
19	0,73	6300
20	0,71	6090
21	0,68	5880
22	0,65	5565
23	0,55	4725

Para el los datos de generación del sistema híbrido se utilizaron los datos por hora en el día 1ero de diciembre en el año 2023. Anexo [6]

Tabla 10 Generación con respecto a las horas en el día del sistema híbrido

	Potencia del sistema híbrido (W)			
	Ppanel	Psolar	E eólica	Ptotal
0	0	0	1466.293	1466.293
1	0	0	1547.599	1547.599
2	0	0	1600.873	1600.873
3	0	0	1972.792	1972.792
4	0	0	2269.641	2269.641

5	0	0	2398.268	2398.268
6	30.0919	421.2866	2368.164	2789.451
7	119.9287	1679.002	2757.451	4436.453
8	222.552	3115.729	3310.583	6426.311
9	307.2757	4301.859	3386.106	7687.965
10	370.2092	5182.929	3919.142	9102.071
11	413.4785	5788.698	5130.581	10919.28
12	404.4977	5662.968	6668.132	12331.1
13	371.4092	5199.729	7936.48	13136.21
14	320.7296	4490.214	8650.583	13140.8
15	216.1405	3025.967	8865.643	11891.61
16	128.1689	1794.364	8276.893	10071.26
17	46.92645	656.9703	7116.15	7773.121
18	2.356608	32.99252	5577.973	5610.966
19	0	0	4074.946	4074.946
20	0	0	3223.901	3223.901
21	0	0	2428.625	2428.625
22	0	0	2117.75	2117.75
23	0	0	2062.587	2062.587

Luego de obtener estos resultados se pudo hallar el diagrama de la oferta vs demanda. Figura 19.

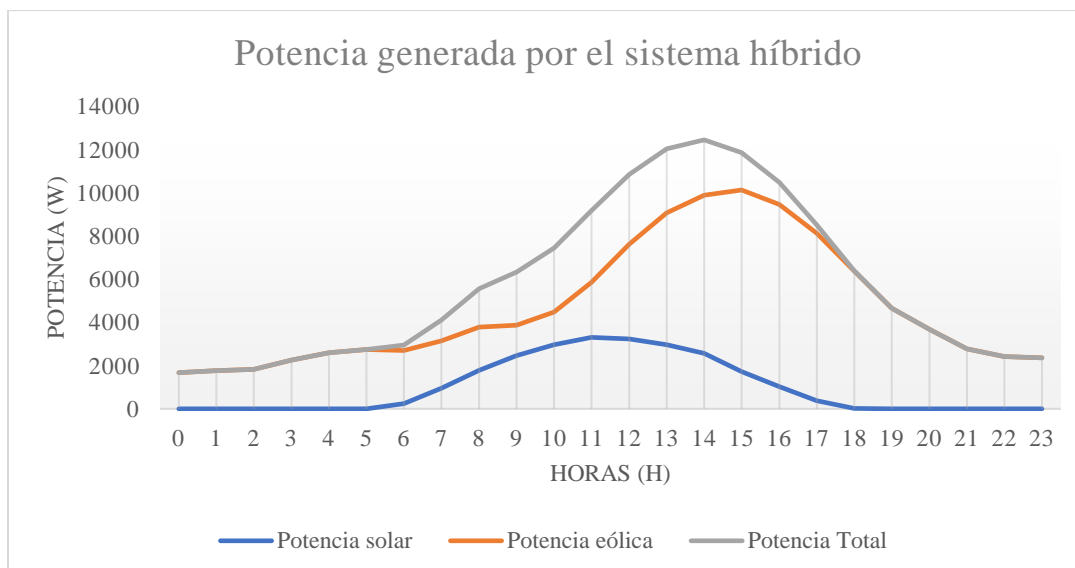


Ilustración 20 Energía generada por el sistema híbrido

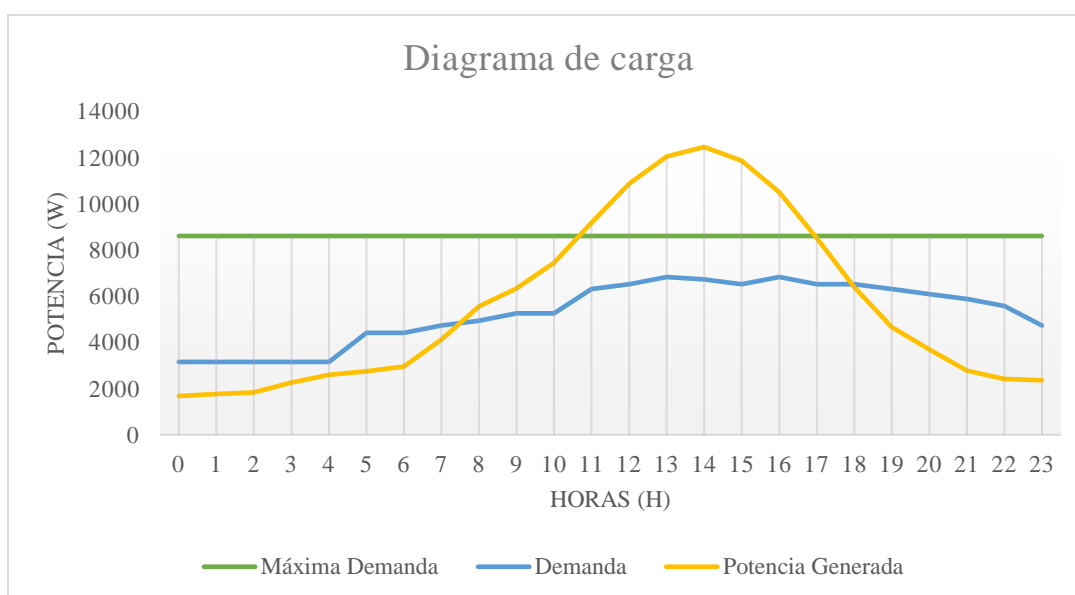


Ilustración 21 Diagrama de Oferta vs demanda

Luego de haber realizado el análisis, se puede obtener la potencia que será abastecida por la red y en cuanto tiempo. A continuación, se muestra la demanda cubierta y no cubierta por el sistema híbrido, en intervalos horarios.

Tabla 11 Energía cubierta por el sistema híbrido

Intérvalo (h)	Energía abastecida Wh	Energía no cubierta Wh
[0-7]	18 481,37	11 443,63
[7-18]	59745,00	0
[18-24]	19 518,78	8 831,22
<hr/>		
Total		
(Wh)	97 745,15	20 274,85

Con los datos anteriores es posible establecer el porcentaje de energía cubierto por el sistema híbrido y el porcentaje que es cubierto por el la red eléctrica.

Tabla 12 Porcentaje de energía abastecido por el sistema vs red eléctrica

Intérvalo (h)	Energía abastecida por el sistema	Energía no cubierta
[0-7]	62,9%	37,1%
[7-18]	100%	0%
[18-24]	68,8%	31,2%
<hr/>		
Total		
(Wh)	82,8%	17,2%

El sistema híbrido puede llegar a cubrir hasta 97745,15 Wh en 24 Horas.

Energía generada por el sistema híbrido en un año:

$$97,75 \text{ kWh} * 365 \text{ días} = 35\,676,93 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Se podría decir que el diseño tiene un objetivo de funcionamiento o tiempo de vida de hasta 20 años. Por lo que el total de energía generada en 20 años sería:

$$35\,676,93 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 20 = 713\,538,5 \frac{\text{kWh}}{20 \text{ años}}$$

4.5. Selección de componentes

4.5.1. Selección del inversor

Para calcular el número de inversores en el sistema se necesita conocer la capacidad del inversor seleccionado. En este caso, debido a la potencia pico que puede generar el sistema híbrido.

Potencia del sistema: 8600W como demanda máxima

Se aumenta un 15% para mantener un rango dentro de la potencia que genera el sistema:

$$8600 * 1,15 = 9890$$

Gracias a ello ahora es posible seleccionar un Inversor que tenga la capacidad de funcionar con una potencia máxima de 8600 W aproximadamente.

El Sistema bastaría simplemente con el uso de un solo inversor si este cumple con los requisitos de funcionamiento y las características del dimensionamiento.

El Inversor On Grid o de interconexión Fronius Primo 15 kW es el componente viable para este sistema, ya que cuenta con un medidor de red que le permite acoplarse a la red. Llegando a suministrar energía sin necesidad de almacenarla en baterías



Ilustración 22 Inversor utilizado en el sistema

4.5.2. Selección del Controlador DC

Para seleccionar el controlador Solar de corriente continua, se necesita hallar la corriente que generan los paneles solares.

A continuación, se usará la ecuación de la corriente mínima en los paneles solares, proporcionada como datos del fabricante en la ficha técnica.

Intensidad del controlador solar: $1.25 \times I_{cc}$ del panel $\times N_p$ paralelo

Donde:

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito del panel

N_p : Número de paneles en paralelo

$$1,25 * 11,41 * 7 = 99,8375$$

Para ello se seleccionó el controlador de carga solar:

$$N^{\circ} \text{ de controladores de carga solar} - \frac{99.8375}{100} = 0,998$$

CONTROLADOR SMART SOLAR MPPT 150V 100^a VICTRON



Ilustración 23 Controlador de carga solar de 100A

4.5.3. Dimensionamiento de conductores eléctricos

Consideraremos los conductores que van del panel fotovoltaico hacia el inversor:

Se tiene que la Intensidad de cortocircuito del panel fotovoltaico es de 11.41A.

Entonces para la selección del conductor se asume un 25% adicional a la corriente.

El sistema de paneles tiene 4 grupos de paneles, cada grupo tiene 2 paneles conectados en serie y los grupos se conectarán en paralelo hacia el interruptor.

$$I_{max} = 1.25 * 11,41A * 7$$

$$I_{max} = 99,8375 A$$

Para calcular la sección mínima del conductor usaremos la siguiente tabla:

CONDUCTORES ELÉCTRICOS LIMA S.A. **CELSA**

CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMISIBLE EN AMPERES

Temperatura ambiente: 30 °C
 Temperatura admisible en el conductor: 70 °C (TW-70; TWF-70; TWT-70)
 Temperatura admisible en el conductor: 90 °C (THW-90; THWF-90; XHHW-90; CAI; CAI-S)

CONDUCTOR		CAPACIDAD DE CORRIENTE Ampere			
Calibre AWG-MCM	Sección mm ²	Instalaciones en Tubo Máximo Tres Conductores		Instalaciones al Aire Libre	
		TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR			
		70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
18	0,821	9	14	13	18
	1,0	11	16	16	24
16	1,31	13	18	19	24
	1,5	15	22	23	27
14	2,08	20	25	28	35
	2,5	20	27	28	35
12	3,31	25	30	33	40
	4	26	34	35	46
10	5,26	34	40	48	55
	6	36	42	50	60
8	8,37	47	55	66	80
	10	47	60	74	83
6	13,3	62	75	90	105
	16	71	78	100	115
4	21,15	81	95	120	140
	25	90	100	133	150
2	33,63	110	130	160	190
	35	114	130	165	190
1	42,41	124	150	185	220
	50	138	150	210	230
1/0	53,51	143	170	220	260
2/0	67,44	166	195	250	300
	70	171	195	255	300
3/0	85,02	190	225	295	350
	95	204	225	315	355
4/0	107,2	219	260	340	405
	120	233	260	360	405
250	126,7	242	290	385	455
	150	271	300	420	480
300	152,0	271	320	420	505
350	177,4	295	350	480	570
	185	304	350	490	570
400	202,7	318	380	520	615
	240	357	400	565	635
500	253,4	361	430	590	700
	300	400	455	655	740
600	304,0	400	475	655	780
750	380,0	450	535	745	855
	400	465	535	775	880
	500	518	595	890	1 000
1000	506,7	518	615	890	1 055

NOTA:
 1. Para temperatura ambiente superior a 30 °C, aplicar los factores de corrección de la tabla I
 2. Para instalaciones mayores de tres conductores en cada tubo, aplicar los factores de corrección de la tabla II

Ilustración 24 Tabla para la sección del conductor

Haciendo uso de la tabla anterior, pudimos hallar la sección ideal para el sistema, empezando con 33.63mm^2 para el conductor principal.

Para cada panel sería necesario un conductor de 4mm^2

4.6. Diagrama unifilar del Sistema híbrido

La conexión del sistema sigue el siguiente diagrama. El cuál corresponde a las conexiones y los componentes que se usan en el sistema.

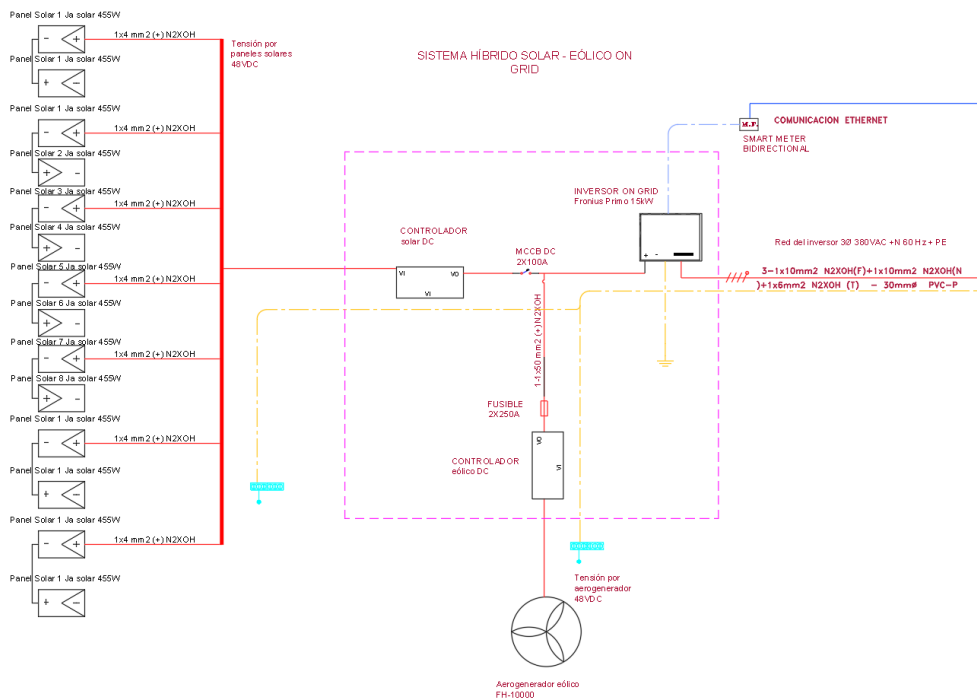


Ilustración 25 Diagrama unifilar del sistema híbrido (Sistema)

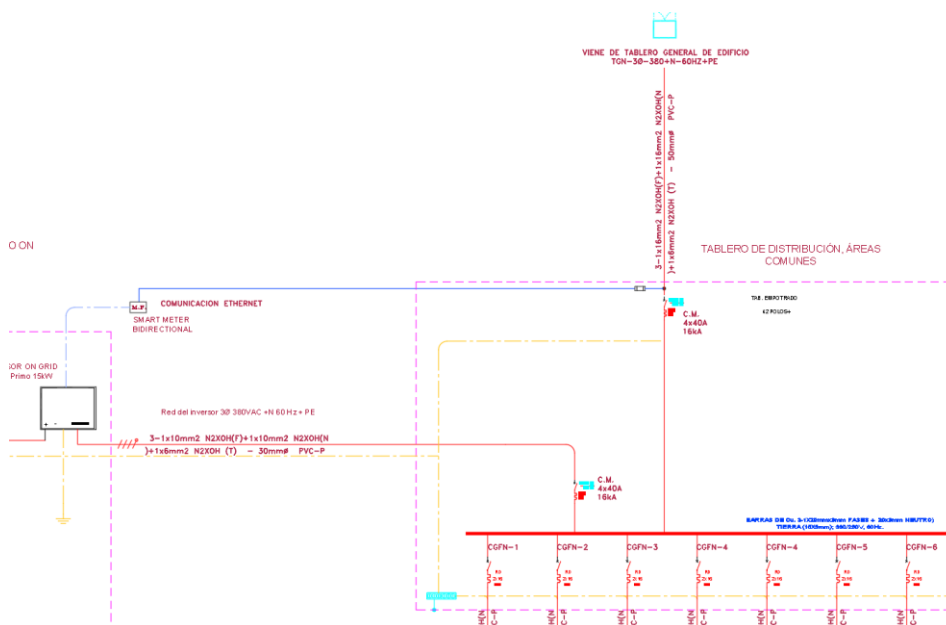


Ilustración 26 Conexión del sistema y medición

5. COSTO DE INSTALACIÓN Y LISTADO DE MATERIALES

Para el análisis de costos unitarios es necesario conocer los precios de cada componente considerado en el dimensionamiento del sistema híbrido.

COSTOS DIRECTOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	SUBTOTAL
Costos por área				
Metros cuadrados de instalación	m ²	85	250	21250
Materiales				
Panel JA solar 455W	Ud	14	639,47	8952,58
Aerogenerador Eólico FH-10K con controlador	Ud	1	6000	6000
Inversor Fronius Primo 8.2kW	Ud	1	16215,05	16215,05
Controlador de carga solar	Ud	2	267,80	535,60
Conductor	m	100	12	1200
Conductor 2	m	100	12	1200
Equipo de protección	Ud	10	120	1200
Interruptores termomagnéticos	Ud	5	200	1000
Estructura metálica	ud	1	6000	6000
Mano de Obra				
Instalación	hh	72	100	7200
Gastos Generales y utilidades				
		0.2		9900,65
SUBTOTAL				80653,87
IGV		0.18		14517,70

**COSTO TOTAL
DEL PROYECTO**

95171,57

El costo final de todo el proyecto es de 95171,57 nuevos soles peruanos (.s/)

Para realizar el cálculo del VAN y TIR, primero se determina el LCOE (Levelized Cost of Energy), de esta manera se puede saber el costo de energía que genera el sistema híbrido. Para calcularlo se usa la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{\sum_{T=1}^n \frac{i + Mt}{(1 + r)^t}}{\sum_{T=1}^n \frac{E}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

t = Vida estimada de la instalación

i = Inversión inicial

Mt = Costos de mantenimiento

E = Energía generada en la vida útil

r = Tasa de descuento

Datos:

$$t = 20$$

$$i = 95171,57$$

$$Mt = 1.5\% * i = 1142,06$$

$$E = 713\,538,5 \frac{kWh}{20 \text{ años}}$$

$$r = 0,12$$

Reemplazando los datos en la fórmula nos da lo siguiente:

$$LCOE = \frac{\sum_{T=1}^{20} \frac{95171,57 + 1142,06}{(1 + 0,12)^t}}{\sum_{T=1}^{20} \frac{713\,538,5}{(1 + 0,12)^t}}$$

$LCOE = 0.1349$ /s. por kWh

Asumiendo que el costo por energía para empresas y edificios en el Perú es de 0.6 soles por kWh, entonces se obtendría un ahorro significativo de 22064,99 soles anuales, lo cuál se plasmó en el flujo de caja como ingresos.

Además de ello se asignaron valores aproximados del bono de carbono que pueden ser obtenidos por capturar o evitar la emisión de CO₂. Debido a que el monto por tonelada de CO₂ no es fijo, se asignaron aproximadamente 1600 dólares cada 5 años por la contribución al medio ambiente [25].

Año		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Egresos	-95171,57										
Costo de mantenimiento		-1142,05884	-1142,0588	-1142,05884	-1142,0588	-1142,0588	-1142,0588	-1142,0588	-1142,0588	-1142,0588	-1142,0588
Costo de equipos nuevos					-1800				-1800		
Ingresos											
Ahorro de energía		22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851
Bonos de carbono					6000				6000		
Beneficio	-95171,57	20922,92626	20922,9262	20922,92626	25122,9262	20922,9262	20922,9262	20922,9262	25122,9262	20922,9262	20922,9262
FLUJO DE CAJA		18681,18416	16679,6287	14892,52564	15966,0738	11872,2302	10600,205	9464,46927	10146,7285	7545,0169€	6736,62228

Año		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Egresos	-95171,57										
Costo de mantenimiento		-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884	-1142,05884
Costo de equipos nuevos			-1800				-1800				-1800
Ingresos											
Ahorro de energía		22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851	22064,9851
Bonos de carbono											
Beneficio	-95171,57	20922,92626	19122,92626	20922,92626	20922,92626	20922,92626	19122,92626	20922,92626	20922,92626	20922,92626	19122,92626
FLUJO DE CAJA		6014,841328	4908,378876	4794,994681	4281,245251	3822,540403	3119,363511	3047,305806	2720,808755	2429,293531	1982,411905

Para calcular en VAN se aplica la siguiente fórmula

$$VAN = \sum \frac{Flujo\ de\ Caja}{(1 + r)^t}$$

$$0 = \sum \frac{Flujo\ de\ Caja}{(1 + TIR)^t}$$

Con la herramienta Excel se pudo calcular el VAN y TIR

$$VAN = 64534,30$$

$$TIR = 22\%$$

6. RECOMENDACIONES

Para la debida optimización del sistema híbrido es necesario continuar con el monitoreo de los recursos solares y eólicos en la zona, es por ello que, al referenciar esta tesis, se recomienda acceder a la plataforma de POWER DATA ACCESS VIEWER y obtener los datos actualizados.

Para la investigación se puede recomendar la implementación de una estrategia de mantenimiento, además de considerarlo en los costos. Esto garantiza el buen funcionamiento del sistema y su larga duración.

Considerar no solo abarcar cubrir áreas comunes, sino también expandirlo y abastecer distintas áreas que puedan ser necesarias dentro de un edificio multifamiliar.

Averiguar acerca del bono de carbono y los montos fijos que se le brindan a las empresas por capturar o evitar la emisión del CO₂.

Fomentar la investigación y el desarrollo continuo en tecnologías de energía renovable y almacenamiento de energía. La innovación en estos campos puede ofrecer nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y reducir los costos del sistema híbrido.

7. CONCLUSIONES

La evaluación de los recursos solar y eólico en la zona de Pimentel, Chiclayo, Lambayeque, utilizando datos de la plataforma POWER Data Access Viewer de la NASA, demostró que el área es apta para la implementación de un sistema híbrido. La velocidad media del viento a 50 metros es de 6,82 m/s y la radiación solar promedio es de 7,005 kWh/m²/día, lo que indica un potencial significativo para la generación de energía renovable.

Se seleccionaron tecnologías apropiadas para la zona evaluada. El generador eólico vertical FS-10 000 fue elegido debido a su capacidad de operar a velocidades de viento cercanas al promedio de la zona y su menor volumen comparado con los generadores horizontales. Para la

generación solar, se optó por 14 paneles fotovoltaicos monocristalinos JA Solar 455W, que ofrecen alta eficiencia y son comercialmente accesibles.

El sistema híbrido diseñado tiene una potencia pico de 12958,75 W combinando 6 588,75 W del aerogenerador eólico y 6370W de los paneles solares, y con valores promedios se obtuvo una potencia de 5930,11W. El sistema híbrido pudo satisfacer 97 745,15 Wh de la energía un día, además, se mostraron los diagramas de oferta y demanda. El consumo diario de energía considerado en la carga es de 146,2 kWh al día.

La implementación de este sistema híbrido contribuirá significativamente a la reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables. La energía generada por el sistema híbrido puede satisfacer una parte importante de la demanda energética, disminuyendo así los costos operativos y las emisiones de carbono asociadas al consumo de energía tradicional.

El costo de instalación total, junto con el listado de materiales, resultó de un 95171,57 nuevos soles peruanos, se realizó un análisis de viabilidad en el que se obtuvo un LCOE de 0.1349 (./s/), para el cálculo del Valor Actual Neto, se consideraron los bonos de carbono obteniendo un VAN de 64534,30 y un TIR del 22%

La implementación de sistemas híbridos solares-eólicos en edificaciones urbanas es una solución viable y sostenible para afrontar los desafíos energéticos actuales. Este proyecto sirve como modelo replicable que puede adaptarse a otras ubicaciones con características climáticas similares, promoviendo así el uso de energías renovables y contribuyendo a un futuro más sostenible.

8. REFERENCIAS

- [1] L. H. Quispe Acevedo, Diseño del sistema híbrido para lograr autoabastecer de energía eléctrica a las instalaciones de la Granja Experimental Agropecuaria de Yauris, Huancayo: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2021.
- [2] J. L. Gamarra Garboza, Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado Siete Techos ubicado en el distrito de Reque- Chiclayo - Lambayeque, Lambayeque: UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”, 2019.
- [3] . S. . S. Cajusol Bances, Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo San Juan de Cayalti provincia de Chiclayo- Lambayeque, Chiclayo: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- [4] G. Udayakanthi , Design of a Wind-Solar Hybrid Power, Sri Lanka: Vetenskap OCH KONST, 2015.
- [5] IBERDROLA, «Energía eléctrica por hibridación: cuando la unión de las renovables hace la fuerza,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-hibrida#:~:text=Los%20sistemas%20de%20energ%C3%ADa%20h%C3%ADbrida,un%20mismo%20punto%20de%20conexi%C3%B3n.> [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [6] IBERDROLA, «¿Qué es la energía eólica, cómo se transforma en electricidad y cuáles son sus ventajas?,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica#:~:text=A%20trav%C3%A9s%20de%20un%20aerogenerador,dicha%20energ%C3%ADa%20mec%C3%A1nica%20en%20el%C3%A9ctrica..> [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [7] IBERDROLA, «¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica.> [Último acceso: Septiembre Septiembre 2022].
- [8] Grupo ACMS, «¿Qué es el gasto energético?,» [En línea]. Available: <https://www.grupoacms.com/consultora/que-es-el-gasto-energetico.> [Último acceso: 8 11 2022].
- [9] Ministerio de Energía y Minas, «Código nacional de electricidad (SUMINISTRO 2011),» Dirección general de Electricidad, Lima, 2011.

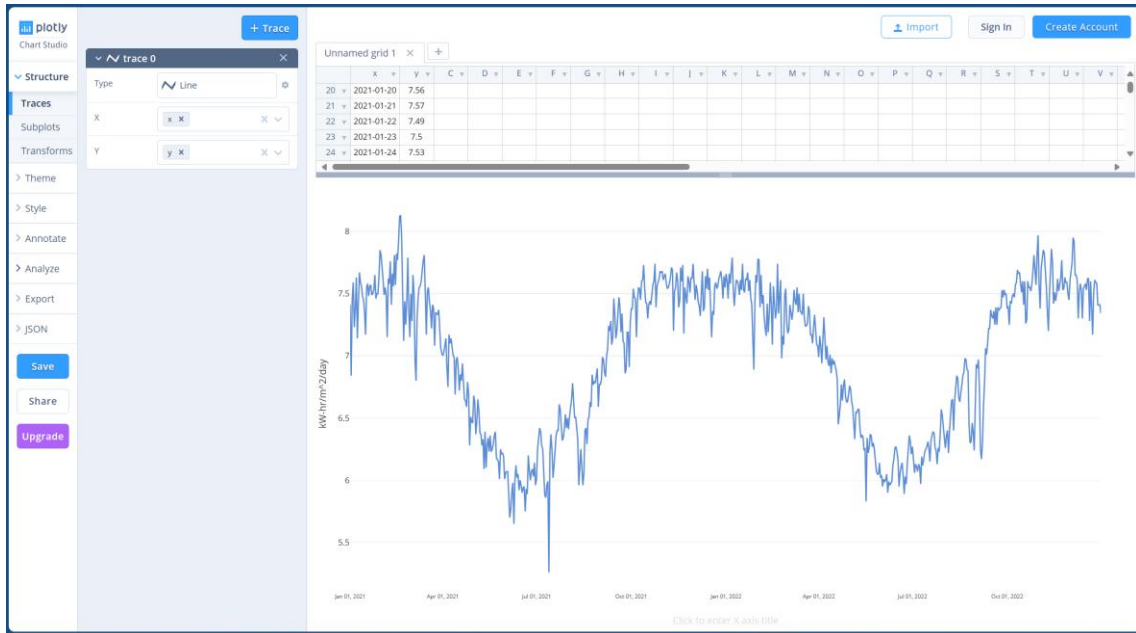
- [10] Toyota, «Toyota Híbrido,» [En línea]. Available: <https://www.toyotaperu.com.pe/toyotahibridos/historia-de-la-tecnologia-hibrida.html>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [11] R. M. F. D. I. C. Raúl Castillo, «Sistema híbrido fotovoltaico-eólico para la generación de energía eléctrica,» *Tlatemoani*, 2013.
- [12] «Caracterización de un generador eólico Tripala y análisis de mejoras de diseño».
- [13] M. Blackwood, «Maximum Efficiency of a Wind Turbine,» *Undergraduate Journal of Mathematical*, vol. 6, n° 2, 2016.
- [14] A. S. R. Tirado, Artist, *Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico – fotovoltaico de baja*. [Art]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2023.
- [15] «Ingeniería y desarrollo Energético Solar,» 2024. [En línea]. Available: <https://ingenieriasolar.es/que-es-un-aerogenerador-de-eje-vertical/#:~:text=El%20aerogenerador%20de%20eje%20vertical%20es%20un%20tipo,que%20el%20eje%20del%20rotor%20se%20mueve%20verticalmente..> [Último acceso: Enero 2024].
- [16] S.A., «ANNUR TV,» Comunicación, [En línea]. Available: <https://www.annurtv.com/news-51607-medio-ambiente-las-bases-cientificas-de-la-energia-eolica.html-data>. [Último acceso: 20 06 2024].
- [17] S.A., «Hellfirez,» Physics, [En línea]. Available: http://www.hellfirez.de/web/referate/inhalte/Physik_Energie.htm. [Último acceso: 20 06 2024].
- [18] Asociación municipal de colonos del pato, «Informa de cálculos para sistema solar fotovoltaico,» Caquetá, 2017.
- [19] F. M. R. S. Jefferson Eusebio Cata Sánchez, Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana , 2015.
- [20] Ministerio de energía y minas del Perú, «Estudio para aprovechamiento eólico con fines energéticos y actualización del atlas eólico del Perú,» VORTEX, Lima, 2016.
- [21] MINEM, «Atlas de energía solar del Perú,» GEF, LIMA, 2003.
- [22] SHILDEN, «INVERTER SHILDEN,» SHILDEN, 17 abril 2024. [En línea]. Available: <https://es.shieldchannel.com/blogs/inverters/how-does-a-solar-inverter-synchronize-with-grid#:~:text=Tecnolog%C3%ADa%20de%20bucle%20de%20bloqueo,red%20en%20el%20mundo%20entero>. [Último acceso: 10 Agosto 2025].

- [23] I. Collins, «Analog,» Analog Dialogue, 07 JULY 2018. [En línea]. Available: <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-52/number-3/phase-locked-loop-pll-fundamentals.pdf>. [Último acceso: 15 agosto 2025].
- [24] Autosolar energía de colombia S.A.S., «Autosolar,» [En línea]. [Último acceso: 2025].
- [25] ENEL, «Conociendo las tarifas,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.enel.pe/es/empresas/entendiendo-tarifas.html>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [26] NASA, «POWER Data Access Viewer,» Enero 2023. [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Último acceso: 22 abril 2023].
- [27] Ministerio de Energía y Minas , «Sistema de utilización,» de *Código Nacional de Electricidad*, Lima, MEM, pp. 60-61.
- [28] SA, «Engineering Toolbox,» [En línea]. Available: <https://www.engineeringtoolbox.com/>. [Último acceso: junio 2024].
- [29] ENERGY DATA, «GLOBAL WIND ATLAS,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://globalwindatlas.info/es/>. [Último acceso: 22 abril 2023].
- [30] Google, «Google Earth,» Google Earth Pro, 04 19 2023. [En línea]. Available: <https://www.google.com/intl/es-419/earth/versions/>. [Último acceso: 19 06 2023].
- [31] aliexpress. [En línea]. Available: https://www.aliexpress.us/item/3256805167915957.html?spm=a2g0o.productlist.main.51.7a995867CMZF6r&algo_pvid=fa70cba9-fdff-4ac5-bbb5-3d432b22135e&algo_exp_id=fa70cba9-fdff-4ac5-bbb5-3d432b22135e-25&pdp_npi=3%40dis%21USD%211598.00%21799.0%21%21%211598.00%21.
- [32] COES, «PORTAL INFORMACION,» COES, 25 DICIEMBRE 2025. [En línea]. Available: <https://www.coes.org.pe/Portal/portalinformacion/demanda?indicador=maxima>. [Último acceso: 3 JUNIO 2025].
- [33] USAT, «Transparencia Usat,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.usat.edu.pe/transparencia/>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [34] Significados, «Significado de Híbrido,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/hibrido/>. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [35] J. Oviedo-Salazar, M. Badii, A. Guillen y O. L. Serrato, «Historia y Uso de Energías Renovables,» *International Journal of Good Conscience.*, vol. 1, n° 10, pp. 1-18, 2015.

Fuente: Power Data Access Viewer [26]

Anexo 2

Gráficas de la radiación solar



Fuente: Power Data Access Viewer [26]

Anexo 3

Hoja de cálculo en la cuál se llegó a la radiación promedio en los años 2021 y 2022

Link de acceso a la hoja de cálculo donde se detallan los datos y cálculos realizados:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1IUSxQkcyNhJecYbEnGNIUbYns5bHRZG69UexD0uQ5Tc/edit?usp=sharing>

Irradiancia en wh/m^2 por horas en el mes de diciembre, año 2023

Año	Mes	Día	Hora	Irradiancia	
				(Wh/m^2)	
2023	12	1	0		0
2023	12	1	1		0
2023	12	1	2		0
2023	12	1	3		0

2023	12	1	4	0
2023	12	1	5	0
2023	12	1	6	78.77
2023	12	1	7	310.3
2023	12	1	8	558.75
2023	12	1	9	769.33
2023	12	1	10	922.73
2023	12	1	11	1006.17
2023	12	1	12	1007.35
2023	12	1	13	937.15
2023	12	1	14	794.88
2023	12	1	15	597.05
2023	12	1	16	360.52
2023	12	1	17	123.6
2023	12	1	18	3.5
2023	12	1	19	0
2023	12	1	20	0
2023	12	1	21	0
2023	12	1	22	0
2023	12	1	23	0

Irradiancia en wh/m² por horas en el mes de diciembre, año 2023

YEAR	MO	DY	HR	ALLSKY_SFC_SW_DWN
2023	12	1	0	0
2023	12	1	1	0
2023	12	1	2	0
2023	12	1	3	0
2023	12	1	4	0
2023	12	1	5	0
2023	12	1	6	52.88
2023	12	1	7	214.38
2023	12	1	8	414.9
2023	12	1	9	574.98

2023	12	1	10	696.91
2023	12	1	11	802.77
2023	12	1	12	762.3
2023	12	1	13	687.74
2023	12	1	14	608.29
2023	12	1	15	348.55
2023	12	1	16	200.21
2023	12	1	17	81.7
2023	12	1	18	6.81
2023	12	1	19	0
2023	12	1	20	0
2023	12	1	21	0
2023	12	1	22	0
2023	12	1	23	0


Velocidad del viento en m/s por horas, en el mes de diciembre año 2023

YEAR	MO	DY	HR	WS50M
2023	12	1	0	6.06
2023	12	1	1	6.17
2023	12	1	2	6.24
2023	12	1	3	6.69
2023	12	1	4	7.01
2023	12	1	5	7.14
2023	12	1	6	7.11
2023	12	1	7	7.48
2023	12	1	8	7.95
2023	12	1	9	8.01
2023	12	1	10	8.41
2023	12	1	11	9.2
2023	12	1	12	10.04
2023	12	1	13	10.64
2023	12	1	14	10.95

2023	12	1	15	11.04
2023	12	1	16	10.79
2023	12	1	17	10.26
2023	12	1	18	9.46
2023	12	1	19	8.52
2023	12	1	20	7.88
2023	12	1	21	7.17
2023	12	1	22	6.85
2023	12	1	23	6.79

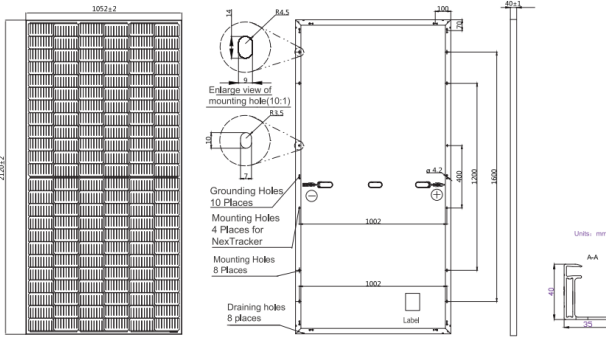
Anexo 4

Especificación técnica del panel solar utilizado en el dimensionamiento del sistema.



JAM72S20 440-465/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	25.0kg±3%
Dimensions	2120±2mm×1052±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27pcs/pallet 594pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	440	445	450	455	460	465
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.40	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.90	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.28	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.76	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96
Module Efficiency [%]	19.7	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8
Power Tolerance				0~+5W		
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})				+0.04%/°C		
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})				-0.272%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})				-0.350%/°C		
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT							OPERATING CONDITIONS	
TYPE	JAM72S20-440/MR	JAM72S20-445/MR	JAM72S20-450/MR	JAM72S20-455/MR	JAM72S20-460/MR	JAM72S20-465/MR	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Rated Max Power(Pmax) [W]	333	336	340	344	348	352	Operating Temperature	-40 C ~+85 C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.40	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61	Maximum Series Fuse	20A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.70	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90	Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.16	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38	Maximum Static Load,Back*	2400Pa
Max Power Current(Imp) [A]	8.60	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81	NOCT	45±2 C
NOCT	Irradiance 800W/m², ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class	Class II
*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.							Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS	
<p>Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR</p>	<p>Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR</p>
<p>Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR</p>	

Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20200402A

Anexo 5

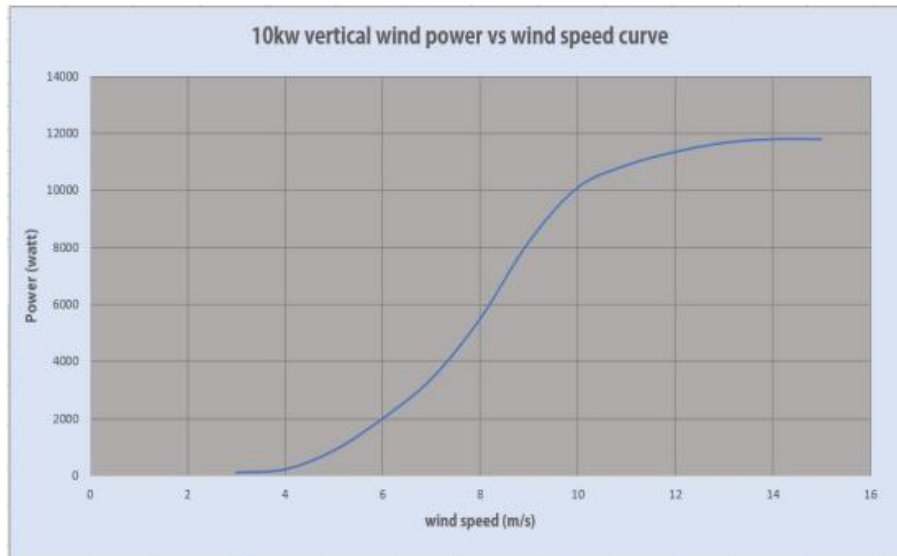
Cuadro de cargas trabajado en relación con los planos de arquitectura de referencia.

Link:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1bV1LEQlh_vDbu8UUc71zANfzghp53mFy/edit?usp=sharing&oid=100247201540025700398&rtpof=true&sd=true

Anexo 6

Ficha Técnica del aerogenerador

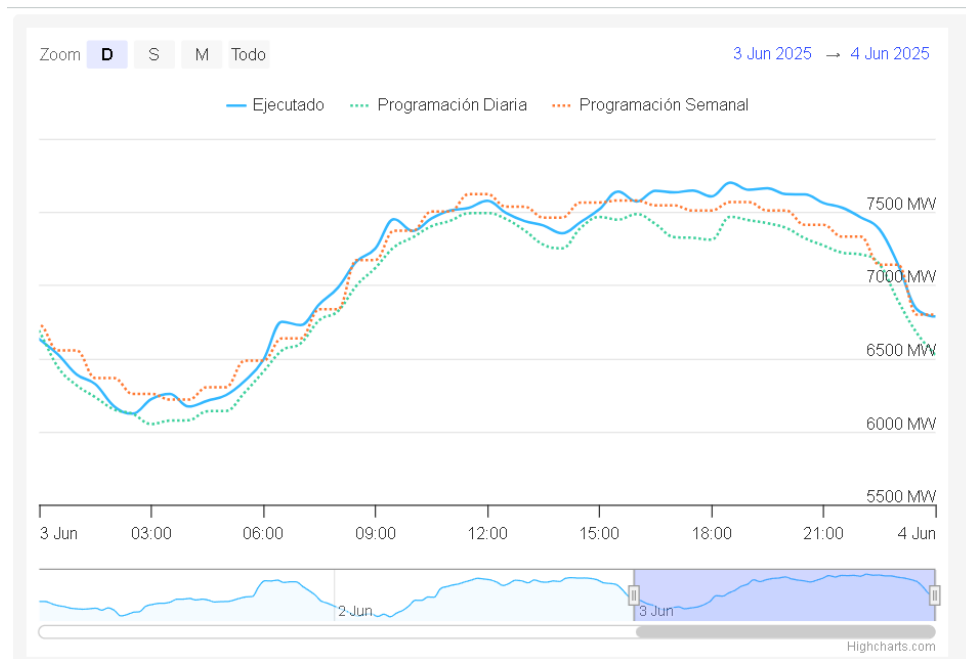


Specifications

Model	FH-4000	FH-5000	FH-10kw	FH-20kw	FH-30kw
Rated power	4000w	5000w	10kw	20kw	30kw
Maximum power	4500w	5500w	12kw	22kw	32kw
Rated voltage	48v-380v	48v-380v	220v-380v	300v-600v	300v-600v
Start-up wind speed	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s
Rated wind speed	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s
Rated RPM	300	350	200	160	130
Net weight	220kg	250kg	320kg	680kg	1280kg
Wheel diameter	2m	3m	5m	5m	8m
Blades height	2.8	3.6m	6m	7m	10m
Number of blades	4	3	3	3	5
Blades material	Aluminium alloy				
Survival wind speed	45m/s				
Generator type	3 phase permanent magnet AC synchronous generator				
yaw mode	Electromagnet				
Working temperature	-40°C-80°C				

Anexo 7

Diagrama de carga de referencia (COES)



Anexo 8

Datos Técnicos de el inversor Fronius Primo 15kW

Datos técnicos 10.0 / 12.5 / 15.0 kW

		Symo Advanced						
		10.0-3-M		12.5-3-M		15.0-3-M		
Datos de entrada	Número de seguidores MPP	2		2		2		
		MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	
	Corriente de entrada máxima por MPP (I _{dc} máx.)	A	27	16,5 ¹	27	16,5 ¹	33	27
	Máxima corriente de entrada (I _{dc} máx. MPPT 1+2)	A	43,5		43,5		51	
			MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
	Máxima corriente de cortocircuito por MPP (I _{sc} pv) ²	A	55,7	34	55,7	34	68	55,7
	Rango de tensión de entrada CC (U _{dc} mín. - U _{dc} máx.)	V	200-1000		200-1000		200-1000	
	Tensión de puesta en servicio (U _{dc} de arranque)	V	200		200		200	
	Rango de tensión MPP	V	200-800		200-800		200-800	
	Rango de tensión MPP (con potencia nominal) (U _{mpp} mín - U _{mpp} máx)	V	270-800		320-800		320-800	
			MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2	MPPT1	MPPT2
	Número de entradas CC		3	3	3	3	3	3
Máxima salida del generador FV (P _{dc} máx.)	Wpeak	15 000		18 800		22 500		

Datos de salida	Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	W	10 000	12 500	15 000			
	Máxima potencia de salida / potencia aparente	VA	10 000	12 500	15 000			
			380 V _{CA}	400 V _{CA}	380 V _{CA}	400 V _{CA}	380 V _{CA}	400 V _{CA}
	Corriente de salida CA ($I_{ca,nom.}$)	A	15,2	14,4	18,9	18	22,7	21,7
	Acoplamiento a la red (rango de tensión)		3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)					
	Frecuencia (rango de frecuencia)	Hz	50 / 60 (45-65)		50 / 60 (45-65)		50 / 60 (45-65)	
	Coefficiente de distorsión no lineal	%	< 1,75		< 2		< 1,5	
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ca,r}$)		0-1 ind. / cap.						

Datos generales	Dimensiones (altura × anchura × profundidad)	mm	725 × 510 × 225					
	Peso (Inversor / con embalaje)	kg	35,4 / 38,4		35,4 / 38,4		41,96 / 44,96	
	Tipo de protección		IP 66		IP 66		IP 66	
	Clase de protección		1		1		1	
			CC	CA	CC	CA	CC	CA
	Categoría de sobretensión (CC/CA) ³		2	3	2	3	2	3
	Consumo nocturno	W	<1		<1		<1	
	Concepto de inversor		Sin transformador					
	Refrigeración		Active Cooling Technology					
	Instalación		Instalación interior y exterior					
	Rango de temperatura ambiente	°C	-25 - +60		-25 - +60		-25 - +60	
	Humedad de aire admisible	%	0-100		0-100		0-100	
			rango de tensión completo / reducido					
	Máxima altitud	m	2000 / 3400		2000 / 3400		2000 / 3400	
	Tecnología de conexión CC	mm ²	6x CC+ y 6x CC bornes roscados 2,5-16 mm					
Tecnología de conexión CA	mm ²	5 polos CA bornes roscados 2,5-16 mm ²						
Certificados y cumplimiento de normas		IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, VDE 0126-1-1/A1, VDE AR-N 4105, G98/1, G99/1, AS/NZS 4777.2, UNE 206007-1, CEI 0-21, CEI 0-16, NRS 097-2-1, TOR Erzeuger Typ A, VDE AR-N 4110, EN 50549-1/-2, IEC 61683, IEC 60068, IEC 63027:2023						
País de fabricación		Austria						

			Symo Advanced		
			10.0-3-M	12.5-3-M	15.0-3-M
Rendimiento	Máximo rendimiento	%	97,8	97,8	97,9
	Rendimiento europeo (η_{EU})	%	97,1	97,4	97,6
	Rendimiento de adaptación MPP	%	> 99,9	> 99,9	> 99,9

Equipamiento de seguridad	Detección de arco voltaico - AFCI (Fronius Arc Guard)		Integrado		
	Medición del aislamiento CC		Integrado		
	Comportamiento de sobrecarga		Desplazamiento al punto de trabajo, limitación de potencia		
	Seccionador CC		Integrado		
	Protección contra polaridad inversa		Integrado		
	RCMU		Integrado		

Interfaces	WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)		
	6 entradas digitales y 4 entradas/salidas digitales		Interfaz receptor del control de onda		
	USB (conector A) ⁴		Datalogging, actualización de inversores vía USB		
	2 conectores RJ45 (RS422) ⁴		Fronius Solar Net		
	Salida de aviso ⁴		Gestión de energía (salida de relé libre de potencial)		
	Datalogger y servidor web		Integrado		
	Input externo ⁴		Interface So-Meter / Input para la protección contra sobretensión		
	RS485		Modbus RTU SunSpec o conexión del contador		

Anexo 9

Link diagramas unifilares y fichas técnicas

https://drive.google.com/drive/folders/1E1U1S9EVz7kh-LYpTK158pdPrVCjn7bP?usp=drive_link