

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un
sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu,
Puno**

**Tesis para obtener el Título Profesional de
Ingeniera Mecánica Electricista**

Autor

Gutiérrez Morales, Patricia Lisbet

Asesor – Código ORCID

Alva Julca, Ruber Gregorio

Código 0000-0002-6206-278X

CHIMBOTE – PERÚ

2023

ÍNDICE

Tema	Página N°
Caratula.....	i
Índice	ii
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas	iv
Palabras clave y líneas de investigación	v
Constancia de originalidad.....	vi
Título.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. Introducción.....	1
II. Metodología	27
III. Resultados	31
IV. Análisis y discusión	61
V. Conclusiones.....	65
VI. Recomendaciones	66
VII. Agradecimiento.....	67
VIII. Referencias bibliográficas	68
IX. Anexos y apéndice	74
Formato de publicacion en repositorio	94
Reporte de similitud.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anemómetro digital.....	8
Figura 2. Anemómetros mecánicos de cazoletas	8
Figura 3. Aerogenerador de eje horizontal tipo tripala	10
Figura 4. Elementos principales de aerogenerador tripala.....	11
Figura 5. Componente de un sistema de calefacción.....	15
Figura 6. Sistema de calefacción por vapor de agua.....	16
Figura 7. Macrolocalización del emplazamiento	28
Figura 8. Microlocalización del emplazamiento.....	28
Figura 9. Ubicación de la zona de estudio	29
Figura 10. Condiciones climatológicas en el distrito de Quilcapuncu a lo largo del año.....	34
Figura 11. Carga térmica de calefacción para cada mes del año en W.....	36
Figura 12. Energía anual de consumo vs horas de funcionamiento diario del sistema calefactor.....	38
Figura 13. Rosa de los vientos en Quilcapuncu, para altura igual a 10 m.....	39
Figura 14. Velocidad del viento promedio mensual a lo largo del año.....	40
Figura 15. Histograma de frecuencias relativas.....	42
Figura 16. Frecuencia relativa acumulada menor o igual que	43
Figura 17. Frecuencia relativa acumulada menor o igual que	43
Figura 18. Curva de duración de la velocidad	44
Figura 19. Probabilidad de velocidad $p(v)$ y Función acumulada $F(v)$	48
Figura 20. Curva de potencia del ENAIR PRO 200L (10 kW)	51
Figura 21. Evolución de la energía generada por el sistema.....	55
Figura 22. Evolución de emisiones de CO ₂ ahorradas por el sistema.....	55
Figura 23. Tasa de descuento y VAN para el sistema	58
Figura 24. Flujo de Caja Acumulado para el sistema	59
Figura 25. Comportamiento del costo nivelado de energía con respecto a la tasa de descuento	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz Operacional de la Variable	25
Tabla 2 Dimensiones de elementos constructivos de la vivienda.....	31
Tabla 3 Dimensiones de elementos constructivos de la vivienda.....	31
Tabla 4 Coeficiente global de transferencia de calor para cada elemento	32
Tabla 5 Condiciones ambientales a lo largo del año.....	33
Tabla 6 Condiciones de diseño interior para calefacción.....	33
Tabla 7 Carga térmica de calefacción a lo largo del año	35
Tabla 8 Necesidades energéticas anuales.....	37
Tabla 9 Necesidades energéticas anuales.....	37
Tabla 10 Velocidad del viento mensual promedio	39
Tabla 11 Datos iniciales para evaluación estadística del viento	40
Tabla 12 Análisis estadístico para la velocidad de viento h=18 m	41
Tabla 13 Parámetros estadísticos para la velocidad de viento h=18 m.....	42
Tabla 14 Distribución de Weibull para la velocidad de viento h=18 m.....	45
Tabla 15 Parámetros de Weibull para la velocidad de viento h=18 m.....	46
Tabla 16 Función de densidad de Weibull para la velocidad de viento h=18 m.....	46
Tabla 17 Funciones de probabilidad para la velocidad de viento h=18 m.....	47
Tabla 18.....	50
Tabla 19 Energía de salida del aerogenerador	52
Tabla 20 Evolución de la energía generada y emisiones ahorradas del sistema.....	54
Tabla 21 Presupuesto suministro de materiales del sistema	56
Tabla 22 Presupuesto montaje electromecánico del sistema	56
Tabla 23 Presupuesto general del sistema.....	57
Tabla 24 Tiempo de vida útil componentes principales del sistema.....	57
Tabla 25 Flujo de caja económico para el sistema.....	58
Tabla 26 Costo nivelado de energía para el sistema	59

PALABRAS CLAVE

Tema	Sistema de Calefacción
Especialidad	Ingeniería Mecánica Eléctrica

Theme	Heating System
Specialty	Electric Mechanic Engineering

Línea de investigación	Sector Energía
Área	Ingeniería, Tecnología
Sub-área	Ingeniería eléctrica, electrónica e informática
Disciplina	Ingeniería eléctrica y electrónica

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Vicerrector de Investigación de la Universidad San Pedro:

HACE CONSTAR

Que, de la revisión del trabajo titulado "Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno" del (a) estudiante: **GUTIERREZ MORALES PATRICIA LISBET**, identificado(a) con Código N° **1116100340**, se ha verificado un porcentaje de similitud del **30%**, el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad San Pedro mediante resolución de Consejo Universitario N° 5037-2019-USP/CU para la obtención de grados y títulos académicos de pre y posgrado, así como proyectos de investigación anual Docente.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Chimbote, 25 de marzo de 2024

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

DR. JAVIER MARTÍNEZ CARRIÓN
VICERRECTOR



NOTA: Este documento carece de valor si no tiene adjunta el reporte del Software TURNITIN.

TÍTULO

Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno

RESUMEN

El distrito de Quilcapuncu, en la provincia de San Antonio de Putina, se enfrenta a una problemática crítica relacionada con las extremas bajas temperaturas que caracterizan la región, alcanzando hasta 15 y 20°C bajo cero. Estas condiciones climáticas adversas tienen impactos devastadores en la salud y bienestar de la población local, especialmente en niños y adultos, causando enfermedades como hipotermia y neumonía, con consecuencias fatales. Por lo tanto, la investigación se abordó con el sentido de realizar el diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno.

La investigación elaborada presentó un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental y aplicada, con un diseño descriptivo. La población y muestra se limitaron a las viviendas de Quilcapuncu, y las técnicas de recolección de datos incluyeron observación directa, análisis documental y entrevistas. Se emplearon instrumentos como guías, fichas y herramientas de medición, y se aseguró la validez y confiabilidad mediante procedimientos como el juicio por expertos. El procesamiento de la información implicó cálculos matemáticos, uso de programas como Excel y AutoCAD, y la presentación de resultados a través de tablas y gráficos.

La carga térmica máxima calculada fue de 8,08 kW, sin embargo, se consideró un 20 % adicional, llegando a 9,69 kW, tomando un valor final de 10 kW. El recurso eólico se evaluó para una altura de 18 m, perteneciente a la torre del aerogenerador escogido. La velocidad promedio se determinó en 4,11 m/s mientras que los parámetros de Weibull para los datos de la velocidad de viento de la ubicación fueron k equivalente a 1.86 y el factor c equivalente a 4.084 m/s. El sistema cuenta con un aerogenerador de 10 kW, un inversor de 10 kW, una caldera eléctrica regulable de 15 kW con una máxima demanda de 10 kW, y 02 radiadores de acero. El sistema puede generar 16455,41 kWh/año, lo que permite el funcionamiento del sistema de calefacción por 6 horas a lo largo del día.

ABSTRACT

The district of Quilcapuncu, in the province of San Antonio de Putina, is facing a critical problem related to the extreme low temperatures that characterize the region, reaching up to 15 and 20°C below zero. These adverse weather conditions have devastating impacts on the health and well-being of the local population, especially children and adults, causing illnesses such as hypothermia and pneumonia, with fatal consequences. Therefore, the research was approached with the sense of carrying out the design of a wind turbine to supply electrical energy to a home heating system in the district of Quilcapuncu, Puno.

The research presented a quantitative, non-experimental, and applied approach, with a descriptive design. The population and sample were limited to dwellings in Quilcapuncu, and data collection techniques included direct observation, documentary analysis, and interviews. Instruments such as guides, index cards, and measuring tools were used, and validity and reliability were ensured through procedures such as expert judgment. The processing of the information involved mathematical calculations, the use of programs such as Excel and AutoCAD, and the presentation of results through tables and graphs.

The maximum thermal load calculated was 8.08 kW, however, an additional 20% was considered, reaching 9.69 kW, taking a final value of 10 kW. The wind resource was evaluated for a height of 18 m, belonging to the tower of the chosen wind turbine. The average speed was determined at 4.11 m/s while the Weibull parameters for the wind speed data of the location were k equivalent to 1.86 and the c factor equivalent to 4.084 m/s. The system has a 10-kW wind turbine, a 10-kW inverter, a 15-kW adjustable electric boiler with a maximum demand of 10 kW, and 02 steel radiators. The system can generate 16455.41 kWh/year, allowing the heating system to operate for 6 hours throughout the day.

I. INTRODUCCIÓN

Los antecedentes de investigación son una parte esencial de cualquier estudio académico o científico, ya que proporcionan el contexto necesario para comprender la relevancia y la contribución única de un proyecto de investigación. En ese sentido, se presentan los antecedentes que respaldan el presente estudio, incluyendo investigaciones previas, teorías relacionadas y breves descripciones de los avances en el campo de estudio. Estos antecedentes ayudarán a establecer una base sólida para el trabajo actual y a destacar su importancia en el contexto de la literatura académica existente.

Güğül et al. (2023), en su estudio abordaron la problemática de subestimación del potencial de producción de energía eólica en la literatura técnico-económica, la cual suele utilizar datos de estaciones meteorológicas o satélites. En contraste, la investigación utilizó datos reales de una central eólica operativa en Bursa, Turquía, recopilando mediciones de corriente a intervalos de 10 minutos durante dos años. Se analizaron parámetros como Weibull, turbulencia y densidad de potencia, y se llevaron a cabo estudios utilizando tres modelos de turbinas eólicas. Los resultados indican altos valores de escala y turbulencia, con velocidades de viento mensuales entre 4,6 y 11,7 m/s. Según el estudio, la velocidad media del viento en una región rural de Bursa es de 7,4 m/s. El análisis financiero reveló que las turbinas Goldwind presentaron el costo nivelado de energía más bajo (0.035 \$/kWh). El estudio tiene implicaciones tanto a nivel macro como microeconómico, destacando la importancia de datos específicos del sitio en la toma de decisiones políticas y de inversión.

Ayala, K. (2023), en su estudio se centró en la evaluación de la viabilidad de la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante tecnologías eólicas en la comunidad rural de Yuracruz. La investigación abarcó aspectos tecnológicos, normativos y económicos relacionados con los sistemas eólicos. Se recopiló información sobre capacidades instaladas, componentes y normativas legales aplicables a las instalaciones de generación autoabastecida. Con el objetivo de evaluar la viabilidad de la energía eólica en la comunidad rural de Yuracruz, se llevó a cabo la medición del potencial de generación eólica a lo largo de cuatro meses, mediante la

observación y registro de la velocidad del viento. Las mediciones proporcionaron datos sobre el potencial eólico, permitiendo la selección de un aerogenerador ST-1500W con una velocidad de arranque de 2 m/s y una entrega de 167W a 4m/s, suficiente para abastecer dispositivos de baja potencia. En el análisis económico, se determinó que en el escenario 1 (conectado a red), el costo de conexión a la red resulta viable según los indicadores financieros, con un TIR (17 %), superior a la tasa de interés y un VAN positivo, lo que evidencia la factibilidad del sistema propuesto. El periodo de recuperación de la inversión se estimó en 9 años, siendo considerado apropiado al recuperarse en la mitad de la vida útil del proyecto, confirmando así la viabilidad del proyecto.

Jaramillo-Cardona et al. (2022), en su investigación abordaron un análisis tecno-económico enfocado en Colombia, específicamente en la región de Puerto Bolívar, con el propósito de evaluar 24 tipos de pequeñas turbinas eólicas. La caracterización técnica de estos aerogeneradores comprendió la determinación de parámetros clave, como el coeficiente de potencia, la relación de velocidad de punta, el radio del rotor R, la potencia nominal, la velocidad nominal del viento, entre otros. De acuerdo con el recurso eólico definido por la distribución de Weibull, el mejor modelo en el caso de Puerto Bolívar fue el ECO1200 (15V) con la menor capacidad instalada de 600 W, alcanzando un valor de TIR de 3,34% sin financiación. Sin embargo, debido a que su TIR es inferior al 12% proyectado, se determina que ninguna de las turbinas eólicas es económicamente viable para operar en Puerto Bolívar, a pesar de ser uno de los lugares con mayor recurso eólico de Colombia y del mundo. En este sentido, nuestro trabajo pone de relieve la posibilidad de seguir investigando para mejorar las circunstancias técnicas o económicas de los aerogeneradores diminutos. En términos de consideraciones tecnológicas, se requieren nuevos diseños basados en recursos eólicos modestos con velocidades medias de entre 7 y 8 m/s, ya que los aerogeneradores se construyen normalmente para velocidades nominales de entre 11 y 12 m/s. El estudio subrayó la necesidad de investigaciones futuras para mejorar las circunstancias técnicas, económicas y regulatorias de las turbinas eólicas de baja potencia.

Sánchez-Torres y Rodríguez-Ramos (2021), en su trabajo de investigación remarcaron la necesidad de invertir en fuentes de energía sostenibles que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero en su país de origen Cuba, en particular en la Isla de la Juventud. El potencial eólico de la Isla de la Juventud se caracterizó por su baja velocidad media del viento, registrándose una media de 3,5 m/s en la región objeto de estudio. Es por ello por lo que el objetivo principal fue el evaluar la factibilidad técnico-económica de incorporar la turbina eólica Zefir D7-P5 de 5,0 kW a una altura de 20,0 m, destacándola como la opción óptima dentro de un grupo de 7 turbinas de 5,0 kW comparadas. La finalidad específica fue satisfacer la demanda energética de 22 viviendas ubicadas en la comunidad de San Pedro, con un consumo promedio de 180,0 kWh/mes. Los datos de velocidad del viento fueron sometidos a análisis estadístico mediante la distribución de Weibull. Los resultados obtenidos indican una producción anual de energía de 9,56 MWh y un Costo Nivelado de la Energía de 0,53 US\$/kWh. Adicionalmente, se estima un ahorro de 96,10 barriles de crudo y una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de 47,50 toneladas de CO_{2e} anuales con la implementación de la turbina seleccionada. Los parámetros como TIR y VAN resultaron ser negativos.

Marcel et al. (2022), en su trabajo de investigación sobre la evaluación del desempeño de aerogeneradores realizado en Chad tuvieron como principal objetivo evaluar el potencial eólico utilizando datos de velocidad del viento medidos a 10 m de altitud durante un período de 18 a 30 años en Chad. El tipo de investigación fue del tipo descriptiva longitudinal y de enfoque cuantitativo. Los investigadores para esta producción científica realizaron la implementación del método estadístico de la ley de Rayleigh, además examinaron el rendimiento de cinco aerogeneradores en cinco sitios diferentes en función de su factor de capacidad y producción anual de energía. Los autores concluyen que la densidad de potencia varía de 20,80 W/m² a 44,17 W/m² respectivamente, valor mínimo para Mongo y máximo para Faya-Largeau. Centrándose en la producción anual de energía, el aerogenerador Enercom E-82 con una potencia de 200 kW y una velocidad nominal de 2 m/s podría adaptarse para los cinco sitios considerados en este estudio.

Vera, J. (2020), en su investigación inició abordando la falta de suministro eléctrico en hogares alejados de la provincia de Junín, identificada como la región con mayor potencial eólico en la zona, con una densidad de viento de aproximadamente 108 W/m^2 . se estableció el objetivo de analizar de qué manera el diseño de un sistema eólico aislado puede contribuir a la electrificación de áreas rurales dispersas en dicha provincia. La investigación se basó en la recopilación de información sobre las velocidades del viento en la zona, utilizando datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) correspondientes al periodo de 2011 a 2018. Se seleccionaron seis tipos diferentes de pequeños aerogeneradores para llevar a cabo un análisis de producción de energía, considerando las condiciones específicas de velocidad de viento y densidad de aire en la región. La investigación, de naturaleza aplicada y con un enfoque descriptivo-correlacional, concluyó que, a pesar de la disminución de la densidad de aire con la altitud y las velocidades de viento moderadas en la zona, el sistema eólico diseñado puede operar de manera aceptable. La elección adecuada de un tipo de aerogenerador permite satisfacer la demanda energética de viviendas rurales distantes entre sí. Empleando una tasa de descuento social (4 %), obtuvo un valor de TIR de 4,05 %, un VAN de S/ 75,58 y un payback de 25 años.

Goudarzi et al. (2020), en su investigación exploraron el potencial de la generación de energía eólica en la región metropolitana de Baltimore, Maryland, EE. UU., y analizaron la practicidad de la implementación de sistemas de energía eólica. Las velocidades del viento superiores a 3 m/s tienen una probabilidad máxima del 43%. Los resultados coinciden con la categorización de energía eólica residencial del NREL. Es adecuado para aplicaciones eléctricas y mecánicas no conectadas a la red debido a la heterogeneidad espacial y estacional entre las ubicaciones. Las localidades de UMBC, Padonia y Essex tuvieron las cifras más altas y bajas de energía eólica y densidad de energía, respectivamente. Las velocidades de viento más altas en UMBC pueden deberse a su ubicación sobre la línea de caída, sobre la meseta de Piedmont, pero los vientos menores en Essex pueden deberse al estancamiento causado por la persistencia de una circulación local de brisa de la bahía. Entre los sistemas de energía eólica distribuida investigados, se puede alcanzar una producción de electricidad de 1990 kWh anual. La investigación económica reveló que el periodo de recuperación

más bajo disminuye de 19 a 13 años cuando el precio de la energía sube de \$0.14/kWh a \$0.22/kWh. La viabilidad económica mejora gracias a los incentivos gubernamentales, finalmente mencionaron que el uso de dispositivos contemporáneos de recolección de energía eólica en la ciudad de Baltimore, una zona de baja velocidad del viento contribuye a la expansión de la utilización de la energía eólica para la generación de energía.

González y Sánchez (2019) en su tesis sobre el diseño de un aerogenerador para la producción de energía eléctrica en la finca “El alto del Gavilán”, Boyacá realizaron análisis del lugar y la disposición que se tiene del viento como elemento primario para la generación de energía. El objetivo de la investigación fue realizar el diseño de un aerogenerador óptimo para el aprovechamiento el recurso eólico en el emplazamiento de estudio. La investigación fue del tipo descriptiva con enfoque cuantitativo. Se realizó el establecimiento de parámetros básicos y requerimientos fundamentales, indicando alternativas de diseño donde se seleccionó la mejor alternativa, posteriormente, se realizó un diseño del aerogenerador seleccionado anteriormente, donde se calcularon los elementos externos e internos; se hizo la respectiva simulación de la zona más crítica del aerogenerador a través de elementos finitos. Los autores concluyen que el aerogenerador diseñado produce 5.715 kW cuando la velocidad es igual a 5.5 m/s, cumpliendo el requisito mínimo de potencia, para la finca esta potencia es 7 veces mayor a la capacidad instalada que entrega EBSA.

Salazar y Yzasiga (2017), en su estudio acerca del diseño de un aerogenerador para suministro de energía a un sistema convencional de bombeo de agua realizaron este sistema para edificaciones residenciales en Pimentel – Chiclayo. La presente tesis tuvo como objeto de estudio, el uso de la energía eólica, como fuente de energía para satisfacer las necesidades de agua en las viviendas del sector rural del distrito de Pimentel. El tipo de investigación fue del tipo descriptiva con enfoque cuantitativo. Así mismo, se realizó un estudio del potencial eólico de la zona de influencia del proyecto, para lo cual se midió la velocidad del viento, y ésta se hizo en dos momentos del año, en febrero y julio, es decir a diferentes estaciones del año, para tener una medición más correcta. La medición se hizo mediante un protocolo, a dos diferentes

alturas, durante un periodo de tiempo del día, utilizándose un equipo anemómetro digital, que permitió la lectura de este. En función al requerimiento de agua y al potencial eólico, mediante las ecuaciones de la conservación de la energía, se seleccionó los mecanismos, que permitan el almacenamiento de la energía para su posterior uso. El autor concluye que con velocidad media de 5,76 m/s se hizo la selección de la turbina eólica, la cual tiene una potencia instalada de 2.0 kW, potencia que garantiza el accionamiento de la electrobomba de 1,4 kW.

Arenas y Cedrón (2016), en sus tesis de diseño de una micro central eólica de 50 kW para el sistema de iluminación, realizado en el campus II de la Universidad Nacional del Santa del distrito de Nuevo Chimbote, la investigación tuvo por objetivo determinar el óptimo diseño de una micro central eólica de 50 kW para la alimentación del sistema de iluminación del campus universitario, el tipo de investigación fue descriptivo, el autor realizo mediciones de velocidad de viento, donde la potencia de la micro central eólica es 50 kW, y la energía que produce al año es igual a 396813.24 kWh/año, esto puede alimentar 520 lámparas de corriente continua de 70 W de consumo. El autor concluye que se realizó la distribución de los aerogeneradores de manera óptima, siguiendo todas las consideraciones al respecto se ubicó a la micro central eólica en la zona más cercana, la micro central eólica ocupa un espacio considerable en el campus II, pero se pueden realizar otros proyectos en el mismo terreno.

El marco teórico de esta investigación representa el andamiaje conceptual que sustenta todo el estudio. En este componente fundamental, se exploran y analizan las teorías, conceptos y modelos relevantes que proporcionan la estructura conceptual necesaria para comprender y abordar el problema de investigación. A través de este marco teórico, se buscó no solo contextualizar el estudio en el contexto académico actual, sino también establecer conexiones significativas entre las ideas previas y los enfoques teóricos que guían la exploración y el análisis de los datos en esta investigación.

1.1. Energía eólica

1.1.1. Viento y energía eólica

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía la podemos convertir en electricidad a través de un generador eléctrico. Es una energía renovable, limpia, que no contamina y que ayuda a reemplazar la energía producida a través de los combustibles fósiles. Para producir energía eólica es necesario captar la fuerza del viento gracias a un aerogenerador, una versión moderna de los antiguos molinos (Factorenergía, 2018).

La Energía cinética que porta el aire al moverse es de alto grado termodinámico, lo que permite su conversión en otras formas de energía con un elevado grado de eficiencia (Arenas & Cedrón, 2016).

1.1.2. Medidores de velocidad de viento

Arenas & Cedrón (2016), expresan que si no se dispone de gráficos meteorológicos precisos se debe medir la velocidad del viento durante la etapa de estudio de viabilidad del proyecto, para efectuar determinadas acciones de control. Para tal finalidad, se emplean los denominados anemómetros (anemo “viento”), los cuales están presentes comercialmente en dos formas que definen sus modos de utilización:

Anemómetro portátil: Empleados para realizar mediciones sobre suelo. Son equipos que integran todas las funciones necesarias para captar la velocidad del viento y presentar su valor de forma numérica en su pantalla digital (Arenas & Cedrón, 2016).



Figura 1. Anemómetro digital
Fuente: (Armotec, 2022)

Anemómetro de copas: También llamados anemómetros rotativos, constan de una hélice con copas que rotan según la velocidad del viento (ver Figura 2). Usualmente asociados a una veleta, son capaces de reportar tanto velocidad como dirección del viento. Es un anemómetro relativamente antiguo y probado cuya robustez, relativamente alta precisión y bajo costo lo han posicionado como el más utilizado (Almada, 2020). En algunos casos también se le llama anemómetro de cazoletas.



Figura 2. Anemómetros mecánicos de cazoletas
Fuente: (Almada, 2020)

1.1.3. Recurso eólico en el Perú

La región costa cuenta con una velocidad de viento promedio anual de 6 m/s, sin embargo, en algunos lugares se llega a velocidades promedio de 8 m/s como en Malabrigo, San Juan de Marcona y Paracas. Aunque la capacidad instalada hasta el momento alcanza a penas los cientos de megavatios, el país dispone de un potencial eólico mayor a los 22 GW. Por otro lado, Ica y Piura son los departamentos que cuentan con mayor potencia utilizable, con 9.144 MW y 7.554 MW respectivamente; el departamento de Ancash cuenta con tan solo 138 MW.

1.2. Aerogeneradores

1.2.1. Definición de aerogeneradores

Son máquinas rotativas formadas por mecanismos para modificar la fuerza del viento en electricidad, también llamadas turbinas eólicas. Existen diferentes tipos, siendo los de mayor uso y eficiencia los tripalas cuyos ejes es horizontales. La parte más importante de un aerogenerador es la góndola, la cual es colocada sobre una torre para que la velocidad del viento sea diferente y aumente a distintas alturas (Cespedes & Vásquez, 2019).

1.2.2. Clasificación de los aerogeneradores

De acuerdo con Cespedes & Vásquez (2019):

Según potencia de generación P_m :

- Baja capacidad $P_m \leq 20 \text{ kW}$
- Media capacidad $20 \text{ kW} \leq P_m \leq 200 \text{ kW}$
- Alta capacidad $200 \text{ kW} \leq P_m$

Según eje del rotor:

- Eje vertical
- Eje horizontal

Según generador empleado:

- Generador de corriente continua (CC)
- Generador de corriente alterna (CA)

Según número de álabes:

- Monopala: 1 álabes
- Bipala: 2 álabes
- Tripala: 3 álabes
- Multiálabes: más de 3 álabes



Figura 3. Aerogenerador de eje horizontal tipo tripala
Fuente: (Arenas & Cedrón, 2016)

1.2.3. Elementos de aerogenerador de eje horizontal

El aerogenerador está compuesto de diversos componentes, para poder convertir la energía cinética de la masa de aire en energía de rotación (del rotor). Luego, se tienen los siguientes subsistemas en un aerogenerador (Arenas & Cedrón, 2016):

- Subsistema de captación: conformado por rotor, el cual se compone de las palas y del buje.
- Subsistema de transmisión mecánica: compuesto por eje de rotación y la caja multiplicadora de revoluciones.
- Subsistema de generación eléctrica: compuesto por generador eléctrico (CC o CA)
- Subsistema de orientación: puede ser sistema pasivo o activo.

- Subsistema de control o regulación: conformado generalmente por un controlador electrónico y sistema de freno.
- Subsistema de soporte: Constituido por góndola y torre.

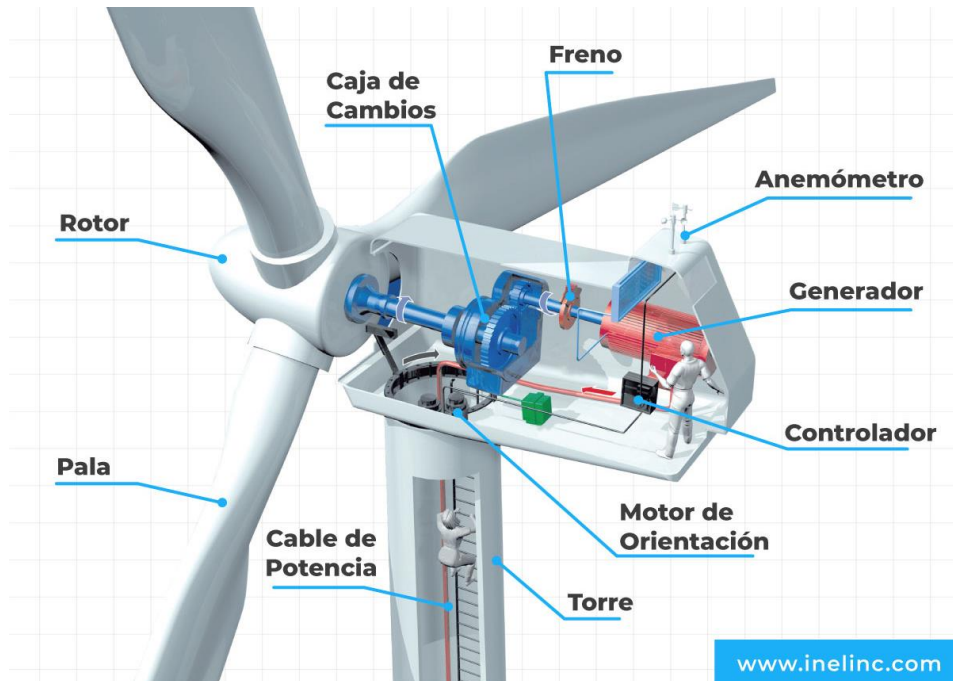


Figura 4. Elementos principales de aerogenerador tripala
Fuente: (Inel, 2021)

1.2.4. Potencia de turbina eólica

Arenas & Cedrón (2016) basados en la amplia literatura científica que existe respecto de la potencia de un aerogenerador, exponen que la potencia disponible en el viento, la que obtendríamos si se pudiera convertir el 100% en electricidad P_D , es:

$$P_D = \frac{1}{4} \pi \rho D^2 v^3 \quad (1)$$

donde:

D	:	diámetro de rotor	en	m
ρ	:	densidad del aire	en	kg/m ³
v	:	velocidad del viento	en	m/s

Pero los sistemas reales nunca son ideales, tienen pérdidas e imperfecciones. De hecho, existe un máximo teórico, representado por el coeficiente de potencia máximo $C_{p\text{máx}} = 16/27 = 59\%$. Este resultado se conoce como el Límite de Betz, que indica que tan solo aproximadamente el 59% de la energía contenida en el viento es aprovechable por la turbina. Luego la máxima potencia aprovechable $P_{\text{máx}}$ sería:

$$P_{\text{máx}} = \frac{16}{27} P_D \quad (2)$$

Los sistemas reales no alcanzan los máximos teóricos, así que para calcular la potencia neta se consideran eficiencias mecánica y eléctrica.

1.2.5. Aerogeneradores y medio ambiente

Son algunas, las consecuencias medioambientales que tienen estos aerogeneradores. Algunas de ellas son:

- Impacto visual.
- Impacto sobre las aves.
- Modificación de flora y fauna.
- Efecto sonoro.

1.3. Análisis energético del recurso eólico

El análisis energético del recurso eólico es un proceso fundamental en la evaluación y desarrollo de proyectos de energía eólica. Consiste en estudiar y cuantificar la energía que puede ser capturada por una turbina eólica a partir del viento disponible en una ubicación específica. Este análisis es esencial para determinar la viabilidad de un proyecto y estimar su capacidad de generación de energía (Burton et al., 2021).

Los pasos típicos en el análisis energético del recurso eólico incluyen:

- a. Medición del viento: Se recolectan datos de viento en la ubicación del proyecto durante un período de tiempo significativo. Esto implica la instalación de anemómetros y otros dispositivos de medición del viento para registrar la velocidad y la dirección del viento.

- b. **Análisis de datos:** Los datos de viento recopilados se analizan para determinar patrones de viento, velocidades medias, distribución de frecuencias y otros parámetros relevantes.
- c. **Estimación de la potencia del viento:** Con base en los datos recopilados, se calcula la energía cinética del viento disponible en la ubicación. La potencia del viento se relaciona con la velocidad del viento y es fundamental para estimar la producción de energía.
- d. **Curva de potencia del aerogenerador:** Cada tipo de aerogenerador tiene una curva de potencia que muestra la relación entre la velocidad del viento y la potencia generada. Esta curva se utiliza para estimar la producción de energía en función del viento disponible.
- e. **Evaluación de la producción de energía:** Usando la curva de potencia del aerogenerador y los datos de viento, se estima la producción de energía anual o mensual del parque eólico.
- f. **Modelado del proyecto:** Se realiza un modelado financiero que tiene en cuenta los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los ingresos por la venta de energía. Esto ayuda a evaluar la rentabilidad del proyecto.

1.3.1. Función de densidad de Weibull

La función de densidad de Weibull, a menudo denominada simplemente "distribución de Weibull", es una función matemática utilizada en estadísticas y teoría de probabilidad para modelar la distribución de probabilidad de variables aleatorias continuas. Fue propuesta por el ingeniero sueco Waloddi Weibull en la década de 1950 y se utiliza comúnmente para describir la vida útil de productos, la duración de eventos, y en el contexto de la energía eólica, para modelar la distribución de la velocidad del viento (Burton et al., 2021).

La distribución de Weibull se utiliza para modelar la velocidad del viento, lo que es esencial para estimar la energía generada por parques eólicos. A menudo, se recopilan datos de velocidad del viento a lo largo del tiempo y se ajusta una

distribución de Weibull a estos datos para predecir la distribución de la velocidad del viento en una ubicación dada (Burton et al., 2021).

1.4. Sistemas de calefacción

1.4.1. Definición del sistema de calefacción

Es un grupo de elementos y etapas que interactúan entre sí y están interrelacionados con la finalidad de producir y distribuir radiación calorífica en espacios o en determinados ambientes para proporcionar condiciones de comodidad térmica (Vega, 2021).

Un sistema de calefacción es un conjunto de dispositivos y componentes diseñados para generar y distribuir calor en un espacio interior con el propósito de elevar su temperatura y mantenerlo a un nivel cómodo y habitable. Los sistemas de calefacción se utilizan en edificios residenciales, comerciales e industriales para proporcionar confort térmico y, en algunos casos, para fines específicos, como procesos industriales que requieren temperaturas controladas.

La elección del sistema de calefacción depende de varios factores, como la ubicación geográfica, el presupuesto, la eficiencia energética, las preferencias personales y las necesidades específicas de calefacción. Los sistemas modernos de calefacción a menudo incorporan tecnología para maximizar la eficiencia y el control de la temperatura, lo que puede incluir termostatos programables, sistemas de zonificación y sistemas de calefacción inteligentes (Vega, 2021).

Un ejemplo de sistema de calefacción utiliza resistencias eléctricas o bombas de calor eléctricas para generar calor. Se pueden encontrar en forma de radiadores eléctricos, calentadores de infrarrojos o sistemas de calefacción de suelo eléctrico.

1.4.2. Elementos de un sistema de calefacción

Normalmente poseen tres componentes en su sistema.

La Planta Térmica tiene la función de generar radiación calorífica y distribuirlo según el sistema utilizado para la sustancia o fluido que será recepcionado por un fluido primario que, con ayuda de un intercambiador, brindará

apoyo a un equipo terminal, los componentes que lo conforman son el conducto de humos, una caldera y un quemador. Las canalizaciones transportan fluidos calefactores donde hay dos tipos que son las cañerías y conductos. Y los equipos terminales transfieren el calor al ambiente con radiadores, zócalos térmicos y paneles. Los sistemas de calefacción más utilizados son por aire caliente forzado que al calentar un material o sustancia transmiten radiación calorífica al ambiente, como el piso radiante que se transmite el calor desde la parte inferior hacia la parte superior de la vivienda, de la misma forma la de una pared radiante haciendo fluir una sustancia caliente por el interior de la infraestructura (Peña, 2018) .

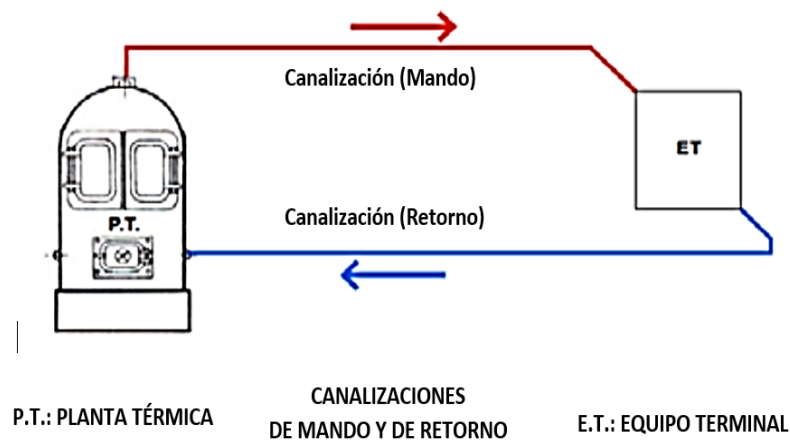


Figura 5. Componente de un sistema de calefacción
Fuente: (Peña, 2018)

1.4.3. Clasificación

Los diferentes sistemas de calefacción se clasifican por sus funciones de la energía liberada por el fluido transmisor. Los que se pueden encontrar son los sistemas de calefacción por agua caliente, esta utiliza el agua en su estado líquido para transferir calor calentado en una caldera central; calefacción por vapor de agua, utiliza vapor a presión que es transferido por tuberías hacia los radiadores que son los intercambiadores de calor; calefacción por aire caliente, es aire impulsado a un espacio renovando el ambiente; calefacción por resistencia eléctrica, utiliza la electricidad para calentar una resistencia eléctrica que emita calor; calefacción por radiación solar, se aprovecha la radiación solar para generar

calor con ayuda de un colector; calefacción por paneles radiantes, utilizados para espacios grandes con tuberías para agua caliente y resistencias eléctricas situados en la parte detrás del techo o paredes. Y calefacción electrónica, el calor es producido por osciladores electrónicos de alta frecuencia alimentados por corriente alterna continua (Vega, 2021).

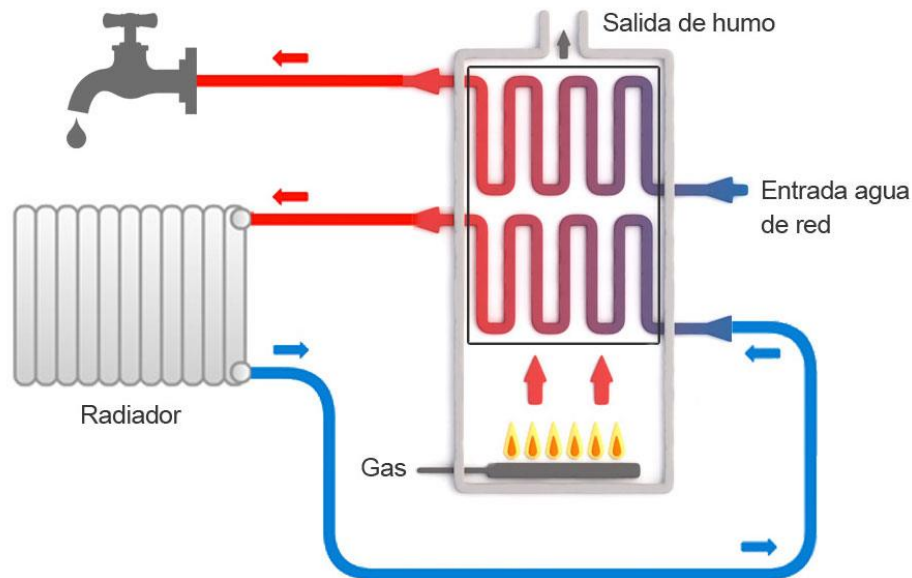


Figura 6. Sistema de calefacción por vapor de agua
Fuente: (Peña, 2018)

1.5. Confort térmico

Un ambiente cómodo a una temperatura adecuada sigue siendo un parámetro muy importante para el ser humano en las diferentes construcciones para un ambiente térmicamente agradable y cómodo. El confort térmico es adquirido cuando sus diferentes parámetros son agradables para el ser humano o la sensación neutra entre la persona con respecto al ambiente térmico. El confort es una condición básica para el éxito en la enseñanza; las temperaturas muy bajas o altas, una iluminación inadecuada, ruido y reverberación acústica inapropiada perjudican seriamente el aprendizaje; la percepción del confort térmico es relativamente parecida entre los seres humanos (Calapuja, 2017).

1.5.1. Rango de temperaturas recomendadas

La zona de confort térmico se encuentra entre 21 °C a 27 °C; existen variaciones por la adaptación climática – una persona en la selva amazónica acepta con facilidad una temperatura de 28 °C, lo que sería muy caliente para una persona de la zona andina alta; una temperatura de 19 °C es aceptable para personas climatizadas en las alturas de los andenes, pero para personas climatizadas a la selva baja ya sería frío; temperaturas en torno de los 23 °C son considerados agradables por la mayoría de personas, independientemente de su zona climática. Por lo que se recomienda un rango de 18 °C a 20 °C de temperatura para reposar y para trabajar un rango de 15 °C a 18 °C para las zonas andinas (Calapuja, 2017)

1.5.2. Parámetros de confort térmico

Para un ambiente con confort térmico agradable se tienen que considerar los siguientes parámetros primordiales y son la velocidad y la temperatura del aire tanto en la parte interior como en el exterior y la humedad relativa (para un espacio saludable se recomienda una humedad relativa de 50% al 60%).

Además, existen otros parámetros secundarios que influyen como el metabolismo de cada ser humano, la actividad física desarrollada, la luz, el nivel de ruido y la calidad del aire (Peña, 2018).

1.6. Carga térmica

1.6.1. Definición carga térmica

Cuando se habla de carga térmica en sistemas de calefacción se hace referencia a la tasa de energía o potencia térmicas que un ambiente cerrado intercambia con su medio exterior debido a las diferencias de temperatura del interior y exterior y generalmente se efectúan los cálculos de carga térmica con las condiciones más desfavorables (peor caso) (Sapaico, 2020).

La carga térmica se refiere a la cantidad de calor que debe agregarse o eliminarse de un espacio, sistema o proceso para mantener o alcanzar una temperatura deseada. Es un concepto fundamental en la ingeniería de calefacción,

ventilación y aire acondicionado (HVAC), así como en el diseño y control de sistemas de refrigeración, climatización y acondicionamiento térmico.

Calcular con precisión la carga térmica es esencial para dimensionar adecuadamente los sistemas de HVAC y asegurar un ambiente interior confortable y eficiente desde el punto de vista energético. La gestión eficiente de la carga térmica es crucial para el diseño y la operación de sistemas de climatización, ya que permite dimensionar adecuadamente los sistemas HVAC, seleccionar equipos apropiados y controlar el consumo de energía, lo que contribuye a la comodidad de los ocupantes y al ahorro de energía (Sapaico, 2020).

1.6.2. Cálculo térmico según método abreviado

Cálculo aproximado en el que existen dos métodos expuestos por (Sapaico, 2020).

En el primero se aplica la siguiente relación:

$$C = 230 \times V + (\#PyE \times 476) \quad (3)$$

Donde:

C	:	Capacidad térmica	en	BTU
V	:	Volumen del ambiente a climatizar	en	m ³
#PyE	:	Cantidad de personas y equipos	en	und

Para el segundo método se consideran las condiciones de clima y la carga térmica que proporcionan las personas y equipos.

$$C = A \times E_c + E_p \quad (4)$$

Donde:

C	:	Capacidad térmica	en	BTU
A	:	Área del ambiente a climatizar	en	m ²
E _c	:	Energía por unidad de área según clima	en	BTU/m ²
E _p	:	Carga térmica aportada por personas o equipos		BTU

1.6.3. Cálculo térmico según método tabular

Este método permite calcular en forma efectiva la carga térmica de cualquier recinto que se desee climatizar.

El cálculo de la carga térmica se debe hacer para las situaciones más críticas o desfavorable del entorno. Este método es más extenso y se tienen que considerar los siguientes tipos de cargas térmicas (Sapaico, 2020):

- Carga térmica debido al calor que ingresa por las paredes expuestas al aire exterior.
- Carga térmica debido al calor que ingresa por el techo expuesto.
- Carga térmica debido al calor que ingresa por las ventanas.
- Carga térmica debido al calor que ingresa por las paredes compartidas.
- Carga térmica debido al calor que ingresa por techos y pisos.
- Carga térmica debido al calor que ingresa con el aire infiltrado.
- Carga térmica debido al calor que generan fuentes internas de calor.

El cálculo se realiza empleando los fenómenos de transferencia de calor asociados a cada carga térmica: conducción, convección y radiación. Donde los coeficientes que completan el cálculo se indican en tablas de ganancia de calor según el tipo de carga térmica.

1.7. Evaluación económica de sistemas de generación renovables

1.7.1. Tasa de descuento de proyectos

La tasa de descuento en proyectos de inversión, a menudo denominada tasa de descuento o tasa de actualización es un concepto clave en la evaluación financiera de proyectos. Representa la tasa a la cual se descuentan o "actualizan" los flujos de efectivo futuros de un proyecto para determinar su rentabilidad (Rodríguez et al., 2014).

En esencia, la tasa de descuento refleja el valor del dinero en el tiempo. Dado que un dólar hoy vale más que un dólar en el futuro debido a la capacidad de invertir y generar rendimientos, es necesario aplicar una tasa de descuento para ajustar los flujos de efectivo futuros a su valor presente.

La tasa de descuento en proyectos de inversión es una herramienta crítica para evaluar la rentabilidad de un proyecto al traer todos los flujos de efectivo futuros a su valor presente. Esta evaluación es fundamental en la toma de decisiones de inversión y en la asignación de recursos en una empresa (Rodríguez et al., 2014).

1.7.2. Tasa interna de retorno

Es una métrica financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de un proyecto o inversión. Representa la tasa de rendimiento anualizada a la cual se igualan los flujos de efectivo netos de un proyecto.

La TIR se expresa generalmente como un porcentaje y se calcula resolviendo la ecuación de valor presente neto para encontrar la tasa de descuento que hace que la suma de los flujos de efectivo sea igual a cero (Rodríguez et al., 2014).

La TIR es una herramienta valiosa para la toma de decisiones de inversión, ya que permite a los inversores y empresas evaluar rápidamente la atractividad financiera de un proyecto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en proyectos con flujos de efectivo no convencionales (por ejemplo, proyectos con flujos negativos seguidos de flujos positivos), puede haber múltiples tasas internas de retorno, lo que requiere un análisis adicional para determinar la relevancia de cada TIR (Rodríguez et al., 2014).

1.7.3. Valor actual neto

El Valor Actual Neto (VAN), en inglés Net Present Value (NPV), es una métrica financiera utilizada en el contexto de proyectos de inversión y toma de decisiones financieras. Representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo que un proyecto o inversión generará y el valor presente de los costos asociados a ese proyecto o inversión. En otras palabras, el VAN es una medida que cuantifica el valor económico de un proyecto al considerar el valor presente de todos los flujos de efectivo relacionados con ese proyecto (Rodríguez et al., 2014).

El cálculo del VAN se basa en el principio fundamental del valor del dinero en el tiempo, que establece que un dólar recibido en el futuro vale menos que un dólar recibido hoy debido a la capacidad de invertir y generar rendimientos con ese

dinero. Por lo tanto, es necesario descontar los flujos de efectivo futuros a su valor presente utilizando una tasa de descuento.

El VAN es una herramienta fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, ya que ayuda a tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos financieros y a determinar si un proyecto o inversión es financieramente viable y crea valor para los inversores. Por lo general, se prefiere elegir proyectos con VAN positivo, ya que indican que tienen el potencial de generar rendimientos superiores a la tasa de descuento requerida (Rodríguez et al., 2014).

1.7.4. Periodo de recuperación de inversión

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI), también conocido como Payback Period en inglés, es una métrica utilizada en la evaluación de proyectos de inversión. Representa el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial o el costo de un proyecto a través de los flujos de efectivo generados por el proyecto.

Para calcular el Período de Recuperación de la Inversión, se suman los flujos de efectivo netos de un proyecto en cada período hasta que la suma acumulada iguale o supere la inversión inicial. El último período necesario para lograr esta igualdad se considera el Período de Recuperación de la Inversión (Rodríguez et al., 2014).

El Período de Recuperación de la Inversión es una métrica simple y útil para evaluar la rapidez con la que se recupera una inversión, pero tiene algunas limitaciones importantes. No considera el valor temporal del dinero, es decir, no tiene en cuenta que el dinero recibido en el futuro vale menos que el dinero recibido hoy debido a la capacidad de inversión y rendimiento. Por lo tanto, no proporciona una medida precisa de la rentabilidad a lo largo del tiempo. Por esta razón, el PRI se utiliza a menudo en combinación con otras métricas financieras, como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR), para una evaluación más completa de proyectos de inversión (Rodríguez et al., 2014).

1.7.5. Costo nivelado de energía

El Costo Nivelado de la Energía (LCOE, por sus siglas en inglés, Levelized Cost of Energy) es una métrica utilizada en la industria de la energía para evaluar y

comparar el costo de producción de electricidad a lo largo del tiempo. El LCOE es especialmente relevante en la evaluación de diferentes fuentes de generación de energía, como plantas de energía solar, eólica, nuclear, de gas natural, entre otras. Esta métrica permite determinar cuál fuente de energía es más económica y competitiva a largo plazo (Loth, 2023). Se calcula tomando en cuenta varios factores, incluyendo:

- Costos iniciales de inversión: Esto incluye el costo de construcción, los equipos, la infraestructura y otros gastos de capital.
- Costos operativos y de mantenimiento: Estos son los costos recurrentes asociados con la operación y el mantenimiento de la planta de generación de energía a lo largo de su vida útil. Incluyen gastos como el combustible, el personal, las reparaciones y el reemplazo de componentes.
- Vida útil de la planta: Representa el período de tiempo durante el cual se espera que la planta de generación de energía esté operativa de manera eficiente.
- Producción de energía: Indica la cantidad de electricidad que se espera que la planta genere durante su vida útil, lo que depende de la fuente de energía y las condiciones operativas.
- Tasa de descuento: Es la tasa utilizada para descontar los flujos de efectivo futuros al valor presente. Representa el costo de oportunidad del capital y refleja la preferencia por el dinero en el tiempo.

El LCOE se expresa generalmente en unidades de costo por megavatio-hora (\$/MWh) y permite comparar diferentes fuentes de energía en términos de su costo por unidad de energía generada. El LCOE es una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la planificación energética, ya que ayuda a evaluar la viabilidad económica de proyectos y a determinar qué fuentes de energía son más competitivas en un contexto dado (Loth, 2023).

La justificación de cualquier investigación es un paso crucial que proporciona una base sólida para emprender un estudio en particular. En este contexto, se hace

imperativo demostrar la relevancia y pertinencia del tema de investigación, identificar las lagunas en el conocimiento existente y destacar la importancia de abordar estas cuestiones. La justificación no solo establece el motivo detrás del estudio, sino que también subraya la necesidad de obtener resultados que contribuyan al conocimiento en la materia y aporten posibles beneficios prácticos. Es a través de una justificación convincente que se establece la validez y el valor intrínseco de la investigación. La justificación de la investigación es la siguiente:

Técnicamente la investigación encuentra justificación en dos puntos importantes: primero, en la provincia de San Antonio de Putina se tiene un considerable potencial eólico ya que los vientos helados pueden llegar hasta los 40 km/h, razón por cual se puede emplear energía eólica para producir electricidad; como segundo punto tenemos el hecho de que las viviendas en las que se pretende emplear esta tecnología son aisladas de la red eléctrica y con grandes problemas debido a las fuertes heladas que se dan en dicha localidad, es por ello que es necesaria la instalación de un sistema de calefacción que merme el intenso frío de dicha zona, este sistema estaría alimentado por un aerogenerador. Se puede añadir un hecho adicional, como las viviendas son dispersas unas de otras, no habría problema en colocar aerogenerador de dimensiones considerables.

De llevarse a cabo la implementación de este sistema, esto mejoraría la calidad de vida de los pobladores de la localidad ya que se reducirían las enfermedades a causa de las heladas, la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire, logrando así disminuir la incidencia de enfermedades respiratorias y mejorar la calidad del aire. Además, de reducir los combustibles fósiles, reducir los costos de energía, crear empleo en la industria de las energías renovables y promover la sostenibilidad. Estas heladas debido a sus bajas temperaturas, muchos cerros están cubiertos por grandes bloques de hielo, por lo tanto, su instalación se llevará a cabo en cabañas para que los pobladores puedan albergar a su ganado.

Mediante el sistema de calefacción a través de los aerogeneradores estaría relacionado con la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema en general y no tanto para crear una nueva tecnología o ciencia.

Problema

El distrito de Quilcapuncu, situado en la provincia de San Antonio de Putina, enfrenta una problemática crucial vinculada a las extremas bajas temperaturas que caracterizan la región, ubicada a altitudes entre 3500 y 4600 metros sobre el nivel del mar. Las adversas condiciones climáticas, con temperaturas que pueden descender hasta 15 y 20°C bajo cero, generan impactos significativos en la salud y bienestar de la población local. Las consecuencias de las gélidas temperaturas son alarmantes, dando lugar a lamentables pérdidas humanas, especialmente en niños y adultos, debido a enfermedades como hipotermia y neumonía. Además, se evidencia un impacto negativo en la infraestructura de atención médica, con postas médicas cerradas, escasez de medicamentos, y la falta de alimentos y abrigos necesarios para hacer frente a estas condiciones climáticas extremas.

El impacto se extiende a la actividad ganadera, que constituye el principal y único medio de sustento para los habitantes de la región. Las bajas temperaturas afectan gravemente a las carreteras, viviendas e infraestructuras locales, dejándolas en condiciones precarias. La cobertura de hielo sobre el ICHU, que es la principal fuente de alimento para el ganado yace en los cerros, resulta en pérdidas masivas de ganado debido a la falta de acceso a la alimentación. Las crías de ganado, en particular, son vulnerables a las heladas y suelen perecer, agravando aún más la difícil situación económica de los habitantes. En este contexto desafiante, surge la necesidad imperante de abordar la problemática de suministrar energía eléctrica para sistemas de calefacción domiciliaria en Quilcapuncu. La propuesta de implementar energía eólica se presenta como una alternativa sostenible y adecuada para las condiciones geográficas y climáticas de la región.

La siguiente interrogativa resume el enfoque de la investigación: ¿Cómo se puede implementar de manera efectiva un sistema de generación de energía eléctrica a través de fuentes eólicas para abastecer sistemas de calefacción domiciliaria en el distrito de Quilcapuncu, en la provincia de San Antonio de Putina, ubicada en el departamento de Puno?

Tabla 1
Matriz Operacional de la Variable

VARIABLES	INDICADOR	SUB-INDICADOR	MEDIDAS	TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION	INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE INFORMACION	INSTRUMENTO DE MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE						
Aerogenerador de eje Horizontal Tripala	Transformación de energía	Velocidad de viento	m/s	Mediciones convencionales	Hoja de recolección de datos	Anemómetro digital
		Dirección del viento	rumbos	Análisis de documentos	Hoja de recolección de datos	POWER Data Access Viewer
		Potencia de generación	kW	Análisis de documentos	Ficha de análisis de documentos	Cálculos matemáticos
VARIABLE DEPENDIENTE						
Energía eléctrica	Producción	Tensión	V	Observación, Análisis de documentos	Guía de Observación y ficha de análisis de documentos	Cálculos matemáticos
		Corriente eléctrica	A			
Sistema de calefacción domiciliario	Caldera eléctrica	Carga térmica	°C	Observación, Análisis de documentos	Guía de Observación y ficha de análisis de documentos	Cálculos matemáticos
		Potencia requerida	kW	Observación, Análisis de documentos	Guía de Observación y ficha de análisis de documentos	Cálculos matemáticos

La hipótesis de esta investigación representa una suposición fundamentada que orienta la indagación en busca de respuestas a preguntas específicas. La hipótesis constituye una guía para la investigación, ya que plantea una relación o una predicción entre las variables de estudio y proporciona un marco para el diseño y la ejecución de la investigación.

La hipótesis es la siguiente: Con el recurso eólico presente en el distrito de Quilcapuncu de la provincia San Antonio de Putina del departamento de Puno es posible diseñar de manera óptima un aerogenerador con potencia menor a 10 kW, el cual será capaz de dotar de energía a un sistema de calefacción con el que se proporcione una carga térmica adecuada para los habitantes de una vivienda.

El objetivo general de esta investigación fue realizar el diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno.

A su vez, los objetivos específicos son:

- Evaluar el recurso eólico presente en el distrito de Quilcapuncu, Puno realizando mediciones puntuales de velocidad de viento.
- Diseñar aerogenerador para suministro de energía eléctrica aprovechando el recurso eólico, para luego proseguir con la distribución mediante estaciones en todas las viviendas de Quilcapuncu.
- Diseñar un sistema de calefacción eficiente, económico y que sea capaz de operar bajo el régimen de la potencia que suministrará el aerogenerador, así como de tener un adecuado nivel de aislamiento para óptimo rendimiento. Además, el sistema debe suministrar la carga térmica adecuada para las personas dentro de un domicilio.

II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación que aquí se expone, presenta un enfoque cuantitativo, ya que existe hipótesis, se tienen variables como velocidad de viento y potencia eléctrica, además la teoría permite relacionar las variables y estas son cuantificables mediante cálculos matemáticos. Se empleó la data existente o mediciones para probar la hipótesis. A partir de la prueba de la hipótesis y los resultados este enfoque permite extraer conclusiones.

La investigación es del tipo no experimental en virtud de que no existe manipulación o control de variables y aplicada, porque se basa en los fundamentos básicos de ciencias de la ingeniería para ser aplicados de modo directo en este problema de índole energético.

El diseño de la investigación es descriptivo, en vista de que la realidad investigada fue rigurosamente caracterizada desde la evaluación del recurso eólico presente en la localidad objeto de estudio hasta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos a través de los cálculos respectivos.

2.2. Población y muestra

En este estudio la población y muestra son únicas y están conformadas solamente por las viviendas del distrito de Quilcapuncu, Puno y la carga térmica requerida por tales viviendas. El distrito de Quilcapuncu se encuentra ubicado en:

- País: Perú
- Departamento: Puno
- Provincia: San Antonio de Putina
- Distrito: Quilcapuncu
- Latitud: -14.89348°
- Longitud: -69.73023°

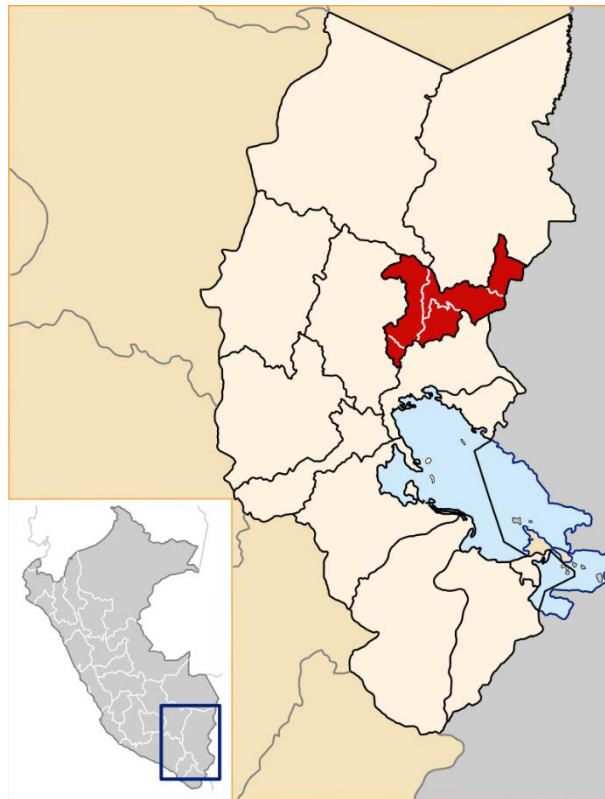


Figura 7. Macrolocalización del emplazamiento
Fuente: Puno mágico (2023)



Figura 8. Microlocalización del emplazamiento
Fuente: FamilySearch (2023).



Figura 9. Ubicación de la zona de estudio
Fuente: Google Maps (2023).

2.3. Técnicas e instrumentos de investigación

Técnicas de recolección de datos:

- *Observación directa y mediciones convencionales*

Se visitó el lugar para realizar las mediciones de la velocidad del viento en diferentes días, alturas y horas.

- *Análisis documental*

Nos permite obtener información indispensable sobre el tema de investigación.

- *Entrevista*

Se realizaron entrevistas a los habitantes para conocer el número de personas en cada hogar.

Instrumentos de recolección de datos:

- Guía de observación
- Guía de análisis de documento

- Ficha de recolección de datos
- Instrumentos de medición
- Guion de entrevista
- Portales web, aplicaciones de navegación, fichajes y fotos.

Validez y confiabilidad

Validez:

La validez total la conforman las siguientes utilidades del instrumento:

- Validez de constructo
Mediante el procedimiento de criterio o empírica concurrente
- Validez de criterio
Para la aplicación de instrumentos politómicos mediante el Alpha de Conbrach
- Validez de contenido
Por medio del procedimiento del juicio por jueces o expertos

Confiabilidad:

Esta investigación tuvo la estabilidad y consistencia mediante el método Test-Retest, para la obtención de resultados favorables.

2.4. Procesamiento y análisis de la información

Se aplicó fórmulas y/o cálculos eléctricos y matemáticos con el propósito de desarrollar metodológicamente la investigación.

Se procesaron los resultados obtenidos mediante programas Excel, y AutoCAD. Los cuáles fueron estudiados mediante tablas, gráficos de barras, diagramas y gráficos porcentuales.

III. RESULTADOS

3.1. Cálculo carga térmica de calefacción

La vivienda escogida, tuvo las siguientes dimensiones que se presentan a continuación:

Tabla 2

Dimensiones de elementos constructivos de la vivienda

Tipo Cerramiento	LARGO (m)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m²)	VOLUMEN (m³)
Pared 1	6,00	2,50	0,20	15,00	3,00
Pared 2	6,00	2,50	0,20	15,00	3,00
Pared 3	10,00	2,50	0,20	25,00	5,00
Pared 4	10,00	2,50	0,20	25,00	5,00
Piso	10,00	6,00	0,25	60,00	15,00
Techo	10,00	6,00	0,20	60,00	12,00
Fenestración					
Puerta 1	1,00	2,10	0,08	2,10	0,17
Ventana 1	1,00	0,30	0,08	0,30	0,02
Ventana 2	1,00	1,00	0,08	1,00	0,08
Ventana 3	1,00	1,00	0,08	1,00	0,08
Ventana 4	2,00	1,00	0,08	2,00	0,16

Nota: Datos obtenidos del estudio preliminar de campo (visita en campo).

De igual manera, los elementos constructivos presentan los siguientes materiales:

Tabla 3

Dimensiones de elementos constructivos de la vivienda

Tipo Cerramiento	Descripciones de los materiales de construcción y capas
Pared 1	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de soga y mortero interior y exterior.
Pared 2	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de soga y mortero interior y exterior.
Pared 3	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de cabeza y mortero interior y exterior.
Pared 4	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de cabeza y mortero interior y exterior.
Piso	Capa de concreto de 10 cm y cemento pulido de 2,5 cm
Techo	Capas de 4 mm de plancha de fibrocemento, 20 mm de paja, 25 mm de aire estanco, vigueta estructural y 2 mm de plástico PE (polietileno)

Fenestración	
Puerta	Puerta batiente de madera con marco de madera
Ventana 1	Ventana alta con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor
Ventana 2	Ventana baja con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor
Ventana 3	Ventana baja con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor
Ventana 4	Ventana baja con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor

Nota: Datos obtenidos del estudio preliminar de campo (visita en campo).

Para determinar el aporte de cada cerramiento y elemento de fenestración, es importante conocer el coeficiente de transferencia de calor unitario. En la siguiente tabla se aprecian estos cuantificados.

Tabla 4
Coefficiente global de transferencia de calor para cada elemento

Elemento	Coefficiente global de transferencia de calor U (W/m²°C)
Pared 1 y 2	2,01
Pared 3 y 4	2,01
Techo	1,51
Puerta	3,50
Ventana 1	3,12
Ventana 2	3,12
Ventana 3	3,12
Ventana 4	3,12

En virtud de entender mejor la Tabla 2 y Tabla 3, en el Anexo 6 se presenta el plano arquitectónico de la vivienda escogida.

En particular, para el piso al encontrarse en contacto directo con el suelo, Hoyos (2021), asevera que se debe considerar el coeficiente de pérdida de calor por metro de perímetro. En particular este valor se toma como 0.85 W/m°C.

Los coeficientes globales de transferencia de calor para los cerramientos se obtuvieron revisando los valores obtenidos en la investigación de Acero (2023). En el Anexo 7 se encuentra el cálculo realizado para los valores de U de los cerramientos. En el Anexo 8, se tiene la base de datos para seleccionar el valor de U para cada fenestración.

La carga térmica de infiltración según Hoyos (2021), se obtiene a partir del área expuesta al exterior A_{es} y del área unitario de infiltración A_{ul} . En particular el valor de A_{es} es 140 m^2 , mientras que A_{ul} es $2.8 \text{ cm}^2/\text{m}^2$. El cálculo respectivo se aprecia en el Anexo 9.

Las condiciones ambientales anuales propias del distrito de Quilcapuncu, fueron obtenidas a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), y se presentan a continuación:

Tabla 5
Condiciones ambientales a lo largo del año

MESES	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tme (°C)	Humedad Relativa (%)
Enero	16,76	3,78	10,27	83,52 %
Febrero	16,47	4,44	10,46	85,47 %
Marzo	16,47	3,75	10,11	85,04 %
Abril	17,41	1,03	9,22	80,98 %
Mayo	17,30	-1,29	8,01	78,73 %
Junio	17,26	-5,36	5,95	77,05 %
Julio	18,08	-5,77	6,15	76,54 %
Agosto	18,57	-4,27	7,15	72,92 %
Setiembre	18,99	-0,83	9,08	71,70 %
Octubre	18,60	0,56	9,58	73,88 %
Noviembre	19,48	1,44	10,46	73,76 %
Diciembre	17,42	3,19	10,30	81,34 %

Nota: Tomado y adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2023).

Tabla 6
Condiciones de diseño interior para calefacción

PERIODO	Tid (°C)	Humedad Relativa (%)
CALEFACCIÓN	20,0	50 %

Nota: Tomado y adaptado de Chumbiray (2021).

En particular, las condiciones de diseño interiores, para la carga térmica de calefacción se tomaron de Chumbiray (2021), las cuales son las siguientes:

Para observar gráficamente las condiciones ambientales de Quilcapuncu, en la Figura 10, se observa los parámetros climáticos y su evolución a lo largo del año.

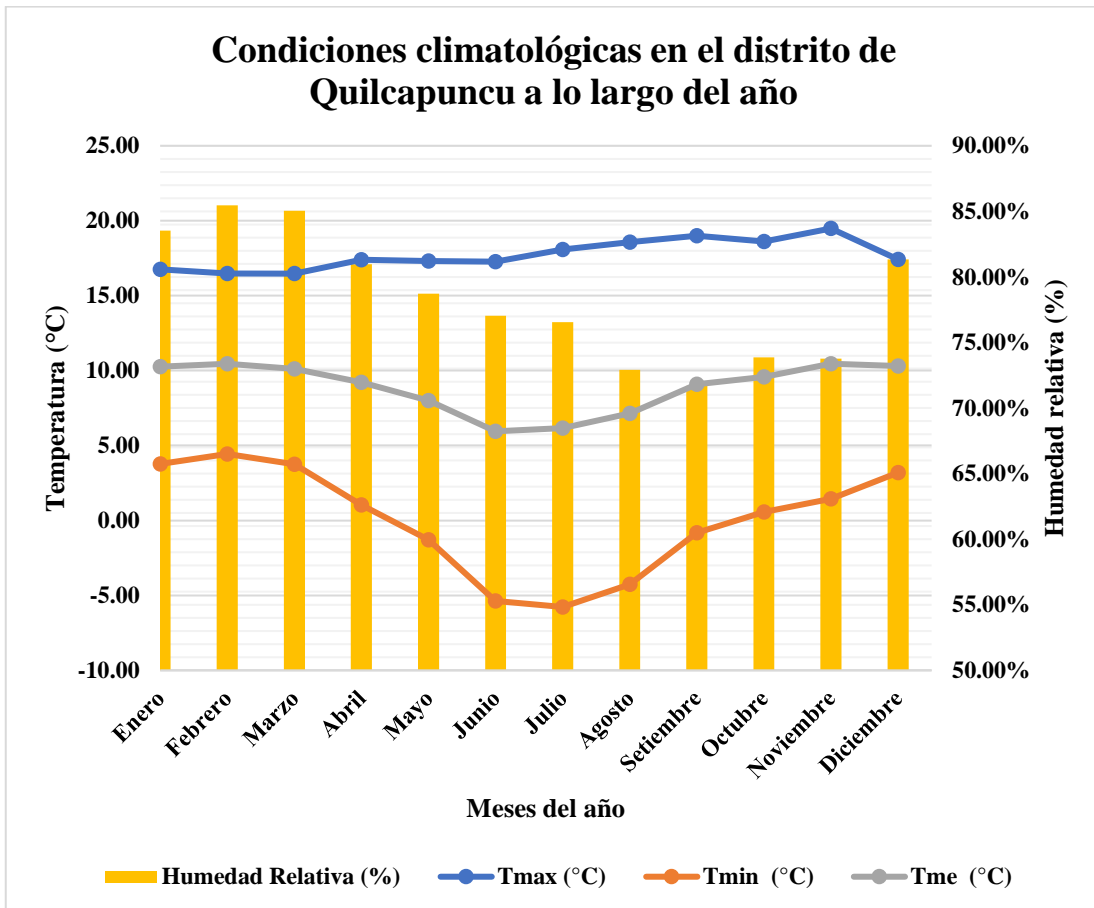


Figura 10. Condiciones climatológicas en el distrito de Quilcapuncu a lo largo del año
Fuente: SENAMHI (2023).

La carga térmica de calefacción mensual se determina sumando cada aporte de los cerramientos, las fenestraciones, el aporte de infiltración. Las condiciones para tener en cuenta al momento del cómputo de la carga térmica de calefacción (Spitler 2014, como se citó en Acero, 2023) son:

- Los aportes propios de la radiación solar incidente se desprecian.
- Aportes de calor internos del recinto, se asumen iguales a cero.
- Las temperaturas externas e internas se consideran constantes.

Es por ello, que la carga térmica de calefacción mensual, a lo largo del año es:

Tabla 7
Carga térmica de calefacción a lo largo del año

MESES	CARGAS TÉRMICAS (W)												TOTAL (W)
	EXTERNAS										INFILTRACIÓN		
	P 1	P 2	P 3	P 4	TECHO	PISO	V1	V2	V3	V4	P1		
ENERO	424,68	490,01	774,22	784,02	1469,13	441,25	15,18	50,61	50,61	101,23	119,24	323,99	5044,18
FEBRERO	407,39	470,06	742,70	752,10	1409,32	423,29	14,57	48,55	48,55	97,11	114,38	307,95	4835,98
MARZO	425,28	490,71	775,32	785,13	1471,21	441,88	15,21	50,69	50,69	101,37	119,40	324,44	5051,33
ABRIL	496,50	572,88	905,16	916,61	1717,59	515,88	17,75	59,17	59,17	118,35	139,40	393,04	5911,51
MAYO	557,41	643,17	1016,21	1029,07	1928,31	579,17	19,93	66,43	66,43	132,87	156,50	453,97	6649,48
JUNIO	663,98	766,13	1210,49	1225,81	2296,98	689,90	23,74	79,14	79,14	158,27	186,42	565,93	7945,94
JULIO	674,66	778,46	1229,96	1245,53	2333,92	701,00	24,12	80,41	80,41	160,82	189,42	577,62	8076,33
AGOSTO	635,25	732,98	1158,11	1172,77	2197,58	660,04	22,71	75,71	75,71	151,42	178,36	535,01	7595,67
SETIEMBRE	545,23	629,12	994,00	1006,59	1886,18	566,52	19,49	64,98	64,98	129,97	153,08	441,70	6501,85
OCTUBRE	508,93	587,22	927,81	939,56	1760,58	528,79	18,20	60,66	60,66	121,31	142,89	405,36	6061,97
NOVIEMBRE	485,96	560,72	885,93	897,15	1681,11	504,92	17,38	57,92	57,92	115,84	136,44	382,60	5783,88
DICIEMBRE	440,17	507,89	802,47	812,63	1522,74	457,35	15,74	52,46	52,46	104,92	123,59	338,52	5230,95
VALOR MÁXIMO (W)												8076,33	
VALOR MÁXIMO (kW)												8,08	

Considerar un 20 % adicional (kW) **9,69**

La capacidad necesaria del equipo de calefacción debe ser de (kW): **10,00**

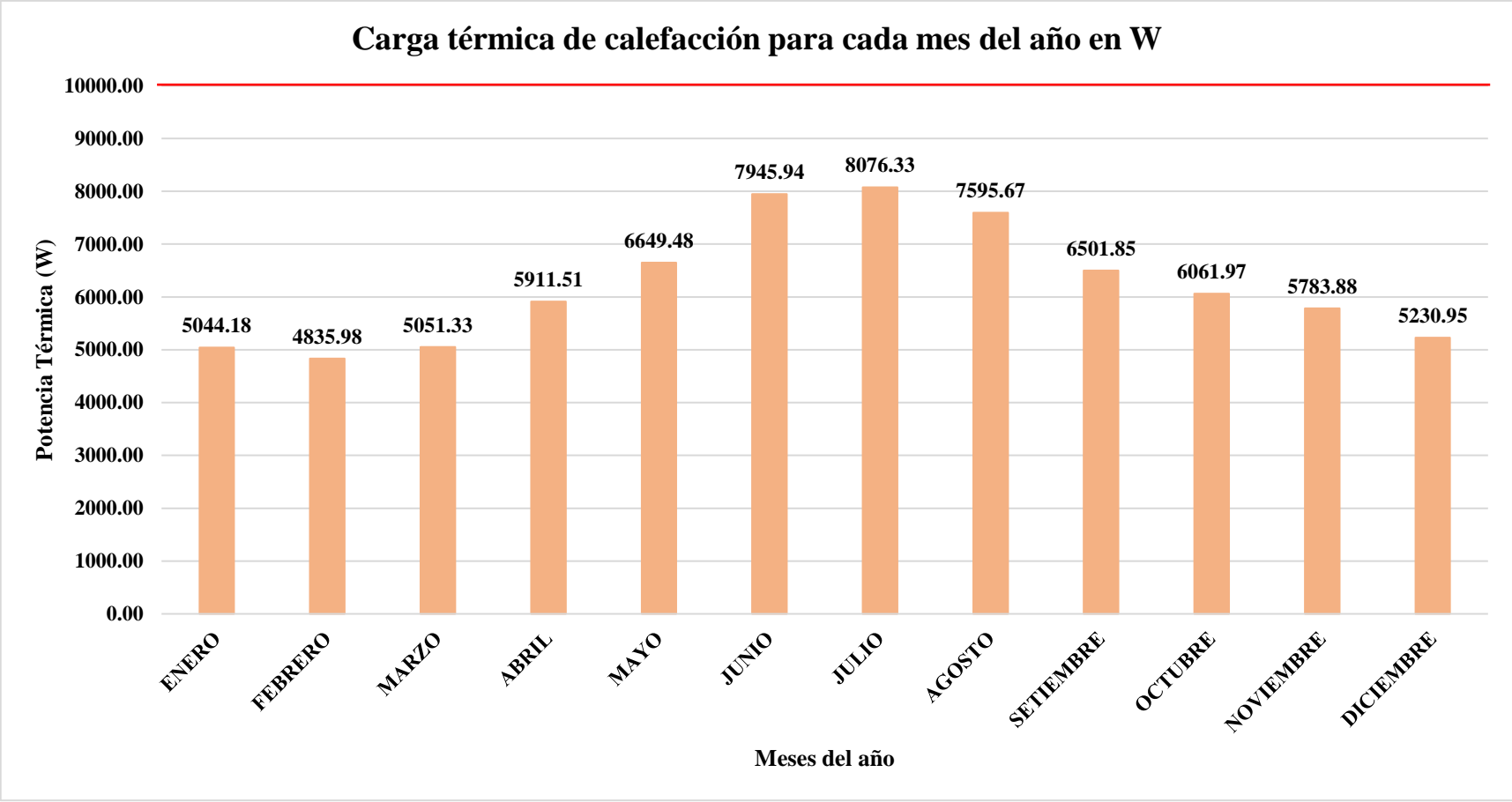


Figura 11. Carga térmica de calefacción para cada mes del año en W
Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades energéticas se evalúan según el horario de funcionamiento del sistema de calefacción. Así tenemos lo siguiente:

Tabla 8
Necesidades energéticas anuales

MESES	Carga Térmica			Horas de funcionamiento h	Energía diaria kWh	Días del mes días	Energía mensual kWh/mes
	Calculado W	Real W	kW				
ENERO	5044,18	6000	6,00	6,00	39,00	31,00	1116,00
FEBRERO	4835,98	5000	5,00	6,00	32,50	28,00	840,00
MARZO	5051,33	6000	6,00	6,00	39,00	31,00	1116,00
ABRIL	5911,51	6000	6,00	6,00	39,00	30,00	1080,00
MAYO	6649,48	7000	7,00	6,00	45,50	31,00	1302,00
JUNIO	7945,94	8000	8,00	6,00	52,00	30,00	1440,00
JULIO	8076,33	9000	9,00	6,00	58,50	31,00	1674,00
AGOSTO	7595,67	8000	8,00	6,00	52,00	31,00	1488,00
SETIEMBRE	6501,85	7000	7,00	6,00	45,50	30,00	1260,00
OCTUBRE	6061,97	7000	7,00	6,00	45,50	31,00	1302,00
NOVIEMBRE	5783,88	6000	6,00	6,00	39,00	30,00	1080,00
DICIEMBRE	5230,95	6000	6,00	6,00	39,00	31,00	1116,00
Energía anual (kWh/año)							14814,00

Dependiendo del tiempo de funcionamiento, la energía anual varía, como se aprecia en la siguiente tabla, junto con su respectiva gráfica. A partir de estos datos se evalúa la energía que se puede cubrir con el recurso eólico.

Tabla 9
Necesidades energéticas anuales

Horas de funcionamiento (h)	Energía anual (kWh/año)
3,00	7407,00
3,50	8641,50
4,00	9876,00
4,50	11110,50
5,00	12345,00
5,50	13579,50
6,00	14814,00
6,50	16048,50
7,00	17283,00

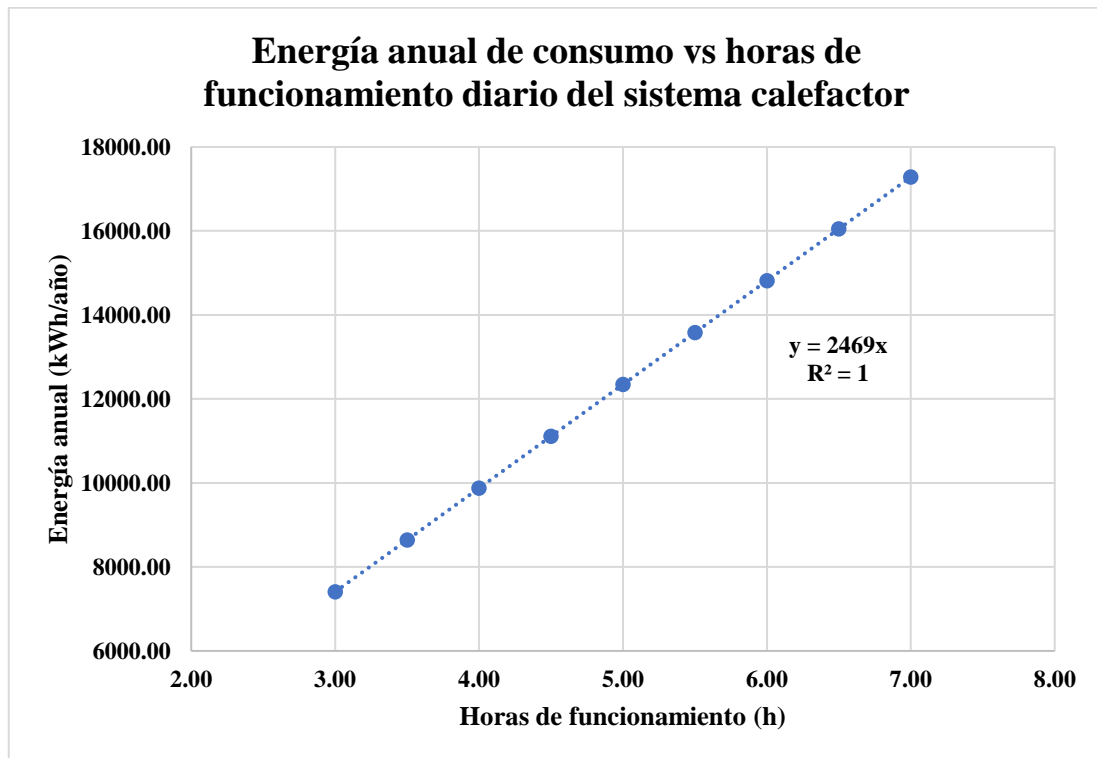


Figura 12. Energía anual de consumo vs horas de funcionamiento diario del sistema calefactor
 Fuente: Elaboración propia.

3.2. Evaluación del recurso eólico

3.2.1. Según el Power Data Access Viewer

La evaluación del recurso eólico se elaboró en base a las mediciones in situ, así como datos obtenidos de la POWER Data Access Viewer. La altura de medición fue de 10 metros. Los datos se evaluaron desde el 01 de enero del 2001 hasta el 31 de diciembre del 2022. Se obtuvo datos de velocidad de viento y dirección de este. En el Anexo 10 se encuentran los datos de velocidad y dirección del viento extraídas de la POWER Data Access Viewer.

Es necesario comentar que la torre del aerogenerador cuenta con una altura de 18 m, por lo que es preciso modificar los valores obtenidos a 10 m, usando la Ley exponencial de Hellman. Empleando un valor exponencial correspondiente a 0.2 para zonas rústicas. El parámetro a , condiciona la variación de la velocidad del viento en cada valor de altura evaluado. Recordando que, a mayor altura, la velocidad del viento aumenta.

La dirección del viento se evaluó usando el software libre WRPLOT.

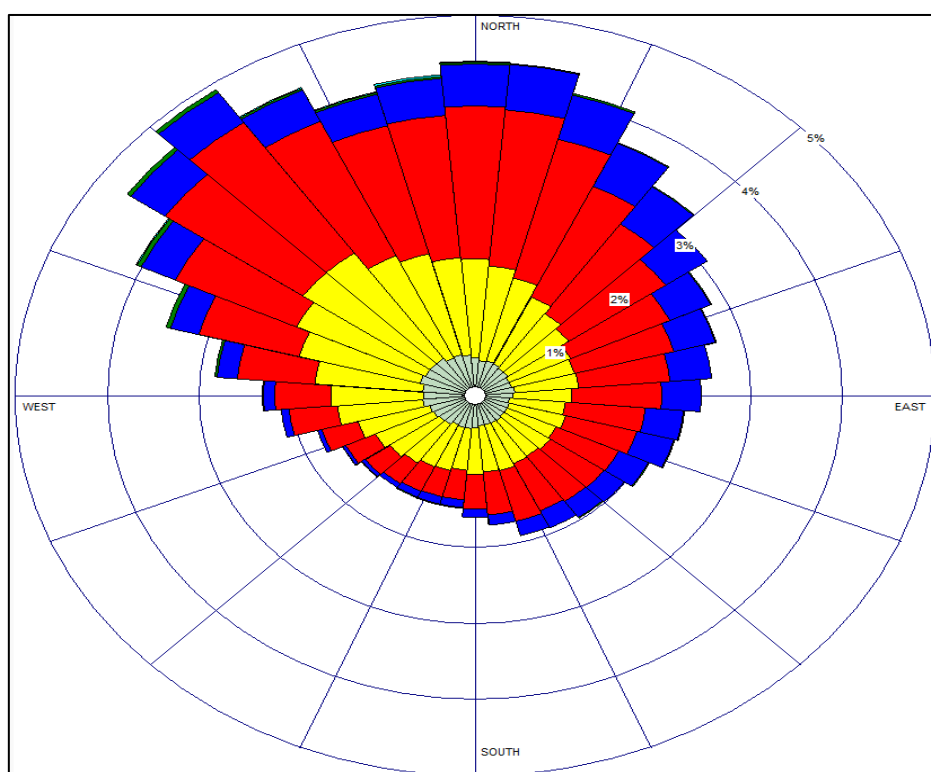


Figura 13. Rosa de los vientos en Quilcapuncu, para altura igual a 10 m.
Fuente: Elaborado en WRPLOT.

Tabla 10
Velocidad del viento mensual promedio

MESES	Velocidad (m/s)	
	h=10m	h=18m
Enero	3,57	4,01
Febrero	3,58	4,03
Marzo	3,54	3,98
Abril	3,37	3,79
Mayo	3,40	3,82
Junio	3,77	4,23
Julio	4,01	4,51
Agosto	3,99	4,48
Setiembre	3,78	4,25
Octubre	3,62	4,08
Noviembre	3,62	4,07
Diciembre	3,59	4,04
Promedio	3,65	4,11

Nota: Tomado y adaptado de POWER Data Access Viewer (2023).

La variación mensual de la velocidad promedio se aprecia en la siguiente figura.

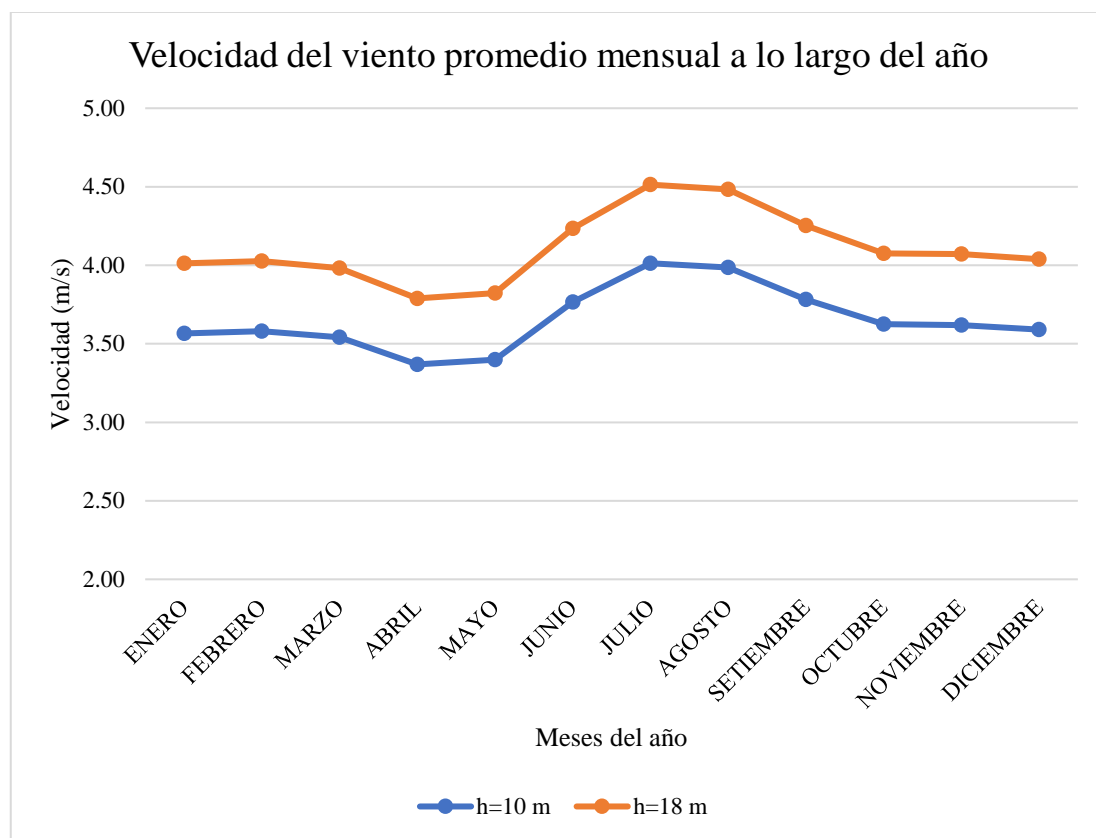


Figura 14. Velocidad del viento promedio mensual a lo largo del año
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, para la altura de 18 m, la velocidad aumenta. A partir de ahora se muestra los datos relacionados a la velocidad del viento referida solo para la altura de 18 m. En la Tabla 12, se aprecia el análisis estadístico de la velocidad del viento. El análisis se enmarca en la estadística descriptiva para datos agrupados debido a la naturaleza continua de la velocidad de viento.

Tabla 11

Datos iniciales para evaluación estadística del viento

Número de datos	192840
Valor máximo	18,36
Valor mínimo	0,00
Rango	18,36
Número de clase	19
Amplitud	0,96610

Tabla 12*Análisis estadístico para la velocidad de viento h=18 m*

Límite inferior	Límite superior	Centro de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Media	Varianza
Li (m/s)	Ls (m/s)	vi (m/s)	fi	Fi	fi %	≤	≥	≥	x	s ²
0	1	0,5	6132	6132	0,03180	0,03180	0,96820	186708	3066,00	79994,04
1	2	1,5	19608	25740	0,10168015	0,133478531	0,86652	167100	29412,00	133759,40
2	3	2,5	32146	57886	0,16669778	0,300176312	0,69982	134954	80365,00	83515,56
3	4	3,5	39546	97432	0,20507156	0,505247874	0,49475	95408	138411,00	14803,67
4	5	4,5	37624	135056	0,19510475	0,700352624	0,29965	57784	169308,00	5668,93
5	6	5,5	27305	162361	0,14159407	0,841946692	0,15805	30479	150177,50	52616,89
6	7	6,5	16417	178778	0,08513275	0,927079444	0,07292	14062	106710,50	93631,71
7	8	7,5	8279	187057	0,04293196	0,970011408	0,02999	5783	62092,50	95040,20
8	9	8,5	3468	190525	0,01798382	0,987995229	0,01200	2315	29478,00	66779,82
9	10	9,5	1324	191849	0,0068658	0,994861025	0,00514	991	12578,00	38438,81
10	11	10,5	540	192389	0,00280025	0,997661274	0,00234	451	5670,00	22036,68
11	12	11,5	222	192611	0,00115121	0,998812487	0,00119	229	2553,00	12117,87
12	13	12,5	111	192722	0,00057561	0,999388094	0,00061	118	1387,50	7810,11
13	14	13,5	53	192775	0,00027484	0,999662933	0,00034	65	715,50	4671,30
14	15	14,5	30	192805	0,00015557	0,999818502	0,00018	35	435,00	3237,42
15	16	15,5	18	192823	9,3342E-05	0,999911844	0,00009	17	279,00	2334,43
16	17	16,5	12	192835	6,2228E-05	0,999974072	0,00003	5	198,00	1841,60
17	18	17,5	3	192838	1,5557E-05	0,999989629	0,00001	2	52,50	537,73
18	19	18,5	2	192840	1,0371E-05	1	0,00000	0	37,00	414,04
			192840		1,00000				4,11	3,73

Tabla 13

Parámetros estadísticos para la velocidad de viento h=18 m

Medidas de centralización		Medidas de dispersión	
Media (m/s)	Mediana (m/s)	Rango (m/s)	Desviación estándar (m/s)
4,11	3,97	18,36	1,93

El histograma de frecuencias de la velocidad del viento se muestra a continuación. El histograma de frecuencias de velocidad de viento es una herramienta valiosa para comprender y utilizar datos sobre las velocidades del viento en una amplia variedad de aplicaciones, desde la meteorología y la climatología hasta la ingeniería y la planificación urbana. Ayuda a visualizar y analizar la variabilidad de las velocidades del viento en una ubicación específica, lo que puede ser esencial para la toma de decisiones informadas en diversos campos.

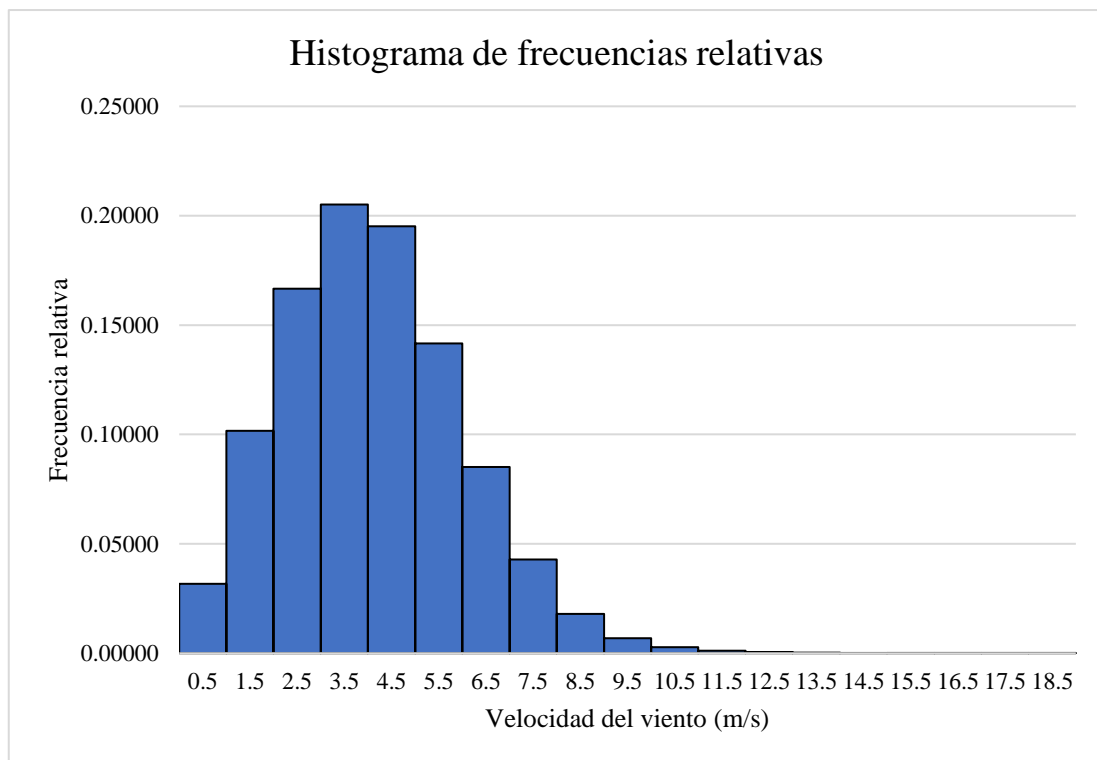


Figura 15. Histograma de frecuencias relativas
Fuente: Elaboración propia.

El conocimiento de la distribución de las velocidades del viento es esencial para determinar la ubicación óptima de los aerogeneradores y para estimar la producción de energía esperada.

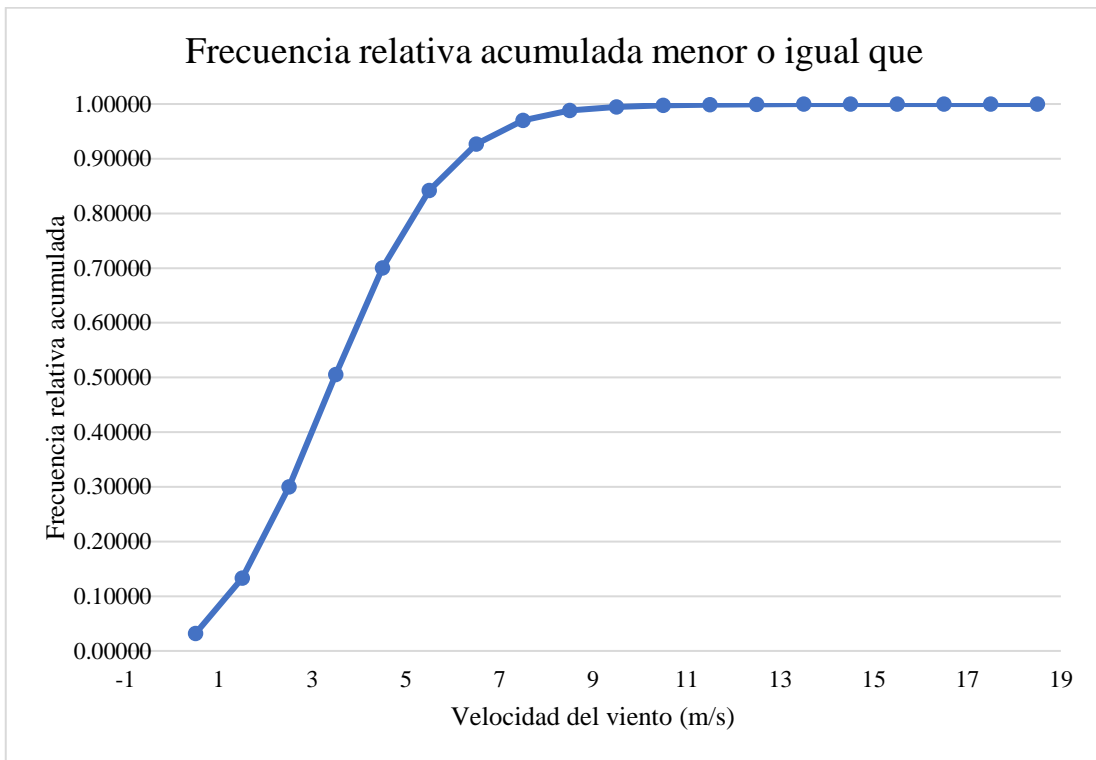


Figura 16. Frecuencia relativa acumulada menor o igual que
Fuente: Elaboración propia.

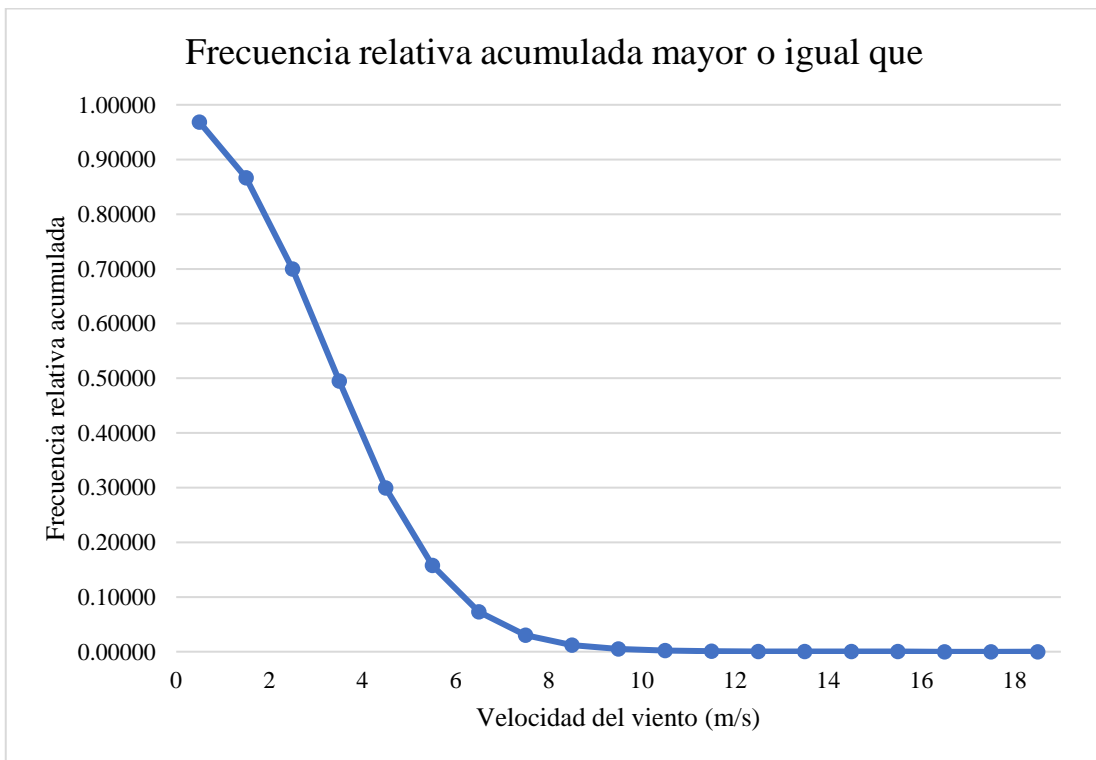


Figura 17. Frecuencia relativa acumulada mayor o igual que
Fuente: Elaboración propia.

La curva de duración de la velocidad del viento para un año típico se muestra a continuación. La curva de duración de la velocidad del viento es una representación gráfica que muestra la distribución de las velocidades del viento a lo largo de un período de tiempo específico en una ubicación particular. Esta curva se utiliza comúnmente en la industria de la energía eólica y la climatología para comprender el comportamiento del viento en una región específica y determinar la idoneidad de esa ubicación para la generación de energía eólica o para otros fines relacionados con el viento.

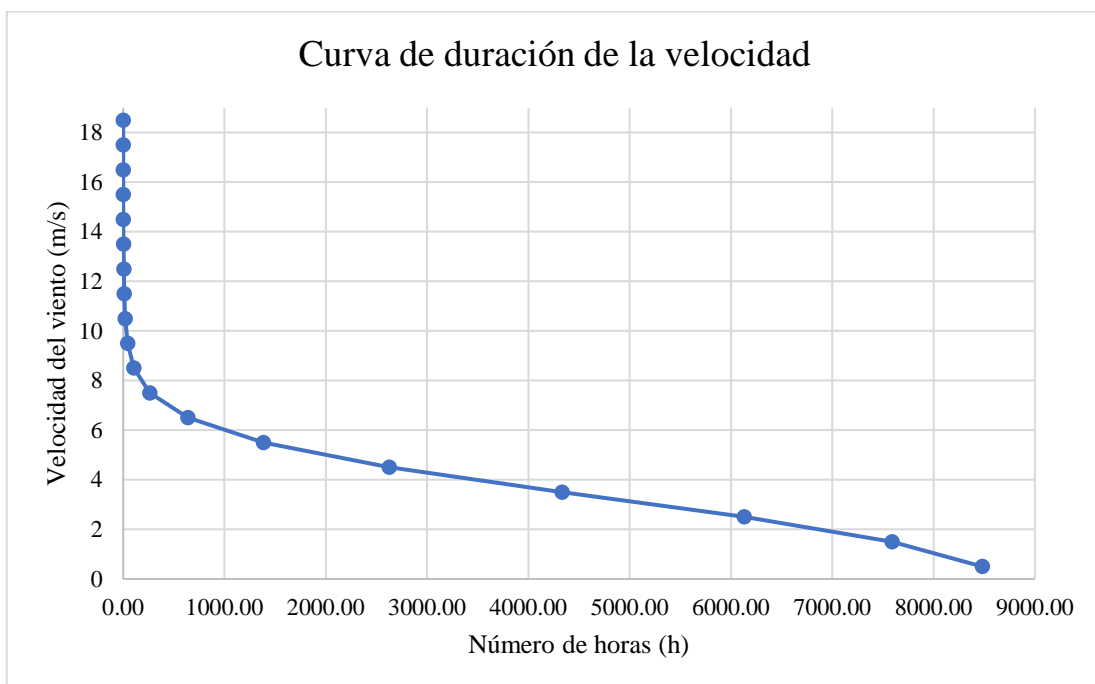


Figura 18. Curva de duración de la velocidad
Fuente: Elaboración propia.

Esto permite identificar cuánto tiempo se experimentan velocidades de viento a diferentes niveles, lo que es útil para tomar decisiones sobre la ubicación de parques eólicos, estimar la producción de energía eólica y evaluar la variabilidad del viento en una región.

La curva de duración de la velocidad del viento es una herramienta importante para evaluar el potencial eólico de una ubicación y comprender la distribución de las velocidades del viento a lo largo del tiempo.

El modelado en la función de distribución de Weibull es un método ampliamente usado para evaluar el recurso eólico en cualquier lugar. El método se muestra a continuación:

Tabla 14

Distribución de Weibull para la velocidad de viento $h=18$ m

Centro de clase v_i (m/s)	Frecuencia relativa f_i %	Frecuencia relativa acumulada \leq	Abscisa $\ln(v_i)$ x_i	Ordenada $\ln(-\ln(1-F_i))$ y_i	Coeficientes del ajuste por mínimos cuadrados			
					fix_i	fix_i^2	fiy_i	$fixiy_i$
0,5	0,03180	0,03180	-0,693	-3,432	-0,022	0,015	-0,109	0,076
1,5	0,10168	0,13348	0,405	-1,943	0,041	0,017	-0,198	-0,080
2,5	0,16670	0,30018	0,916	-1,030	0,153	0,140	-0,172	-0,157
3,5	0,20507	0,50525	1,253	-0,351	0,257	0,322	-0,072	-0,090
4,5	0,19510	0,70035	1,504	0,187	0,293	0,441	0,036	0,055
5,5	0,14159	0,84195	1,705	0,612	0,241	0,411	0,087	0,148
6,5	0,08513	0,92708	1,872	0,963	0,159	0,298	0,082	0,153
7,5	0,04293	0,97001	2,015	1,255	0,087	0,174	0,054	0,109
8,5	0,01798	0,98800	2,140	1,487	0,038	0,082	0,027	0,057
9,5	0,00687	0,99486	2,251	1,662	0,015	0,035	0,011	0,026
10,5	0,00280	0,99766	2,351	1,801	0,007	0,015	0,005	0,012
11,5	0,00115	0,99881	2,442	1,907	0,003	0,007	0,002	0,005
12,5	0,00058	0,99939	2,526	2,001	0,001	0,004	0,001	0,003
13,5	0,00027	0,99966	2,603	2,079	0,001	0,002	0,001	0,001
14,5	0,00016	0,99982	2,674	2,153	0,000	0,001	0,000	0,001
15,5	0,00009	0,99991	2,741	2,234	0,000	0,001	0,000	0,001
16,5	0,00006	0,99997	2,803	2,357	0,000	0,000	0,000	0,000
17,5	0,00002	0,99999	2,862	2,440	0,000	0,000	0,000	0,000
18,5	0,00001	1,00000	2,918	3,604	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	1,00000				1,276	1,967	-0,244	0,319

Tabla 15*Parámetros de Weibull para la velocidad de viento h=18 m*

Ajuste por mínimos cuadrados			Parámetros de Weibull	
A	B	y=Ax+B	k	c (m/s)
1,860	-2,617	y=1,877x-2,384	1,860	4,084

Tabla 16*Función de densidad de Weibull para la velocidad de viento h=18 m*

Función densidad de Weibull				
k/c	k-1	(1/c) ^(k-1)	(1/c) ^k	(k/c) (1/c) ^(k-1)
0,455	0,860	0,298	0,073	0,136

La función de densidad de Weibull o Probabilidad de velocidad p(v) que se obtuvo fue la siguiente:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} = 0.136v^{0.86} e^{-0.298v^{1.86}} \quad (5)$$

La función acumulada se determinó de la siguiente manera:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} = 1 - e^{-0.298v^{1.86}} \quad (6)$$

El comportamiento de la función densidad de Weibull y la función acumulada se muestran a continuación:

Tabla 17

Funciones de probabilidad para la velocidad de viento $h=18 m$

Velocidad inferior	Velocidad superior	Velocidad (m/s)	Probabilidad de velocidad $p(v)$	Función acumulada $F(v)$	Horas de funcionamiento al año (h)
0	1	0	0,0000	-	0,00
0	1	0,5	0,0734	0,020	642,65
1	2	1,5	0,1648	0,144	1443,83
2	3	2,5	0,1999	0,331	1751,19
3	4	3,5	0,1883	0,528	1649,44
4	5	4,5	0,1494	0,698	1309,00
5	6	5,5	0,1033	0,824	904,74
6	7	6,5	0,0633	0,907	554,11
7	8	7,5	0,0347	0,955	303,87
8	9	8,5	0,0172	0,980	150,26
9	10	9,5	0,0077	0,992	67,33
10	11	10,5	0,0031	0,997	27,44
11	12	11,5	0,0012	0,999	10,20
12	13	12,5	0,0004	1,000	3,47
13	14	13,5	0,0001	1,000	1,08
14	15	14,5	0,0000	1,000	0,31
15	16	15,5	0,0000	1,000	0,08
16	17	16,5	0,0000	1,000	0,02
17	18	17,5	0,0000	1,000	0,00
18	19	18,5	0,0000	1,000	0,00

La función de densidad de Weibull es una herramienta esencial en la energía eólica que se utiliza para comprender y modelar la variabilidad de las velocidades del viento en un sitio, lo que a su vez tiene un impacto significativo en la planificación, el diseño y la operación de proyectos de energía eólica. Ayuda a los desarrolladores y operadores a tomar decisiones informadas y a maximizar la eficiencia y la rentabilidad de sus instalaciones. Conociendo la distribución de velocidades del viento en un sitio, es posible predecir cuánta energía eólica puede generar la turbina eólica específica a escoger en la ubicación precisada. Las horas de funcionamiento en la última columna de la Tabla 17, se tomaron en base a las 8760 horas anuales.

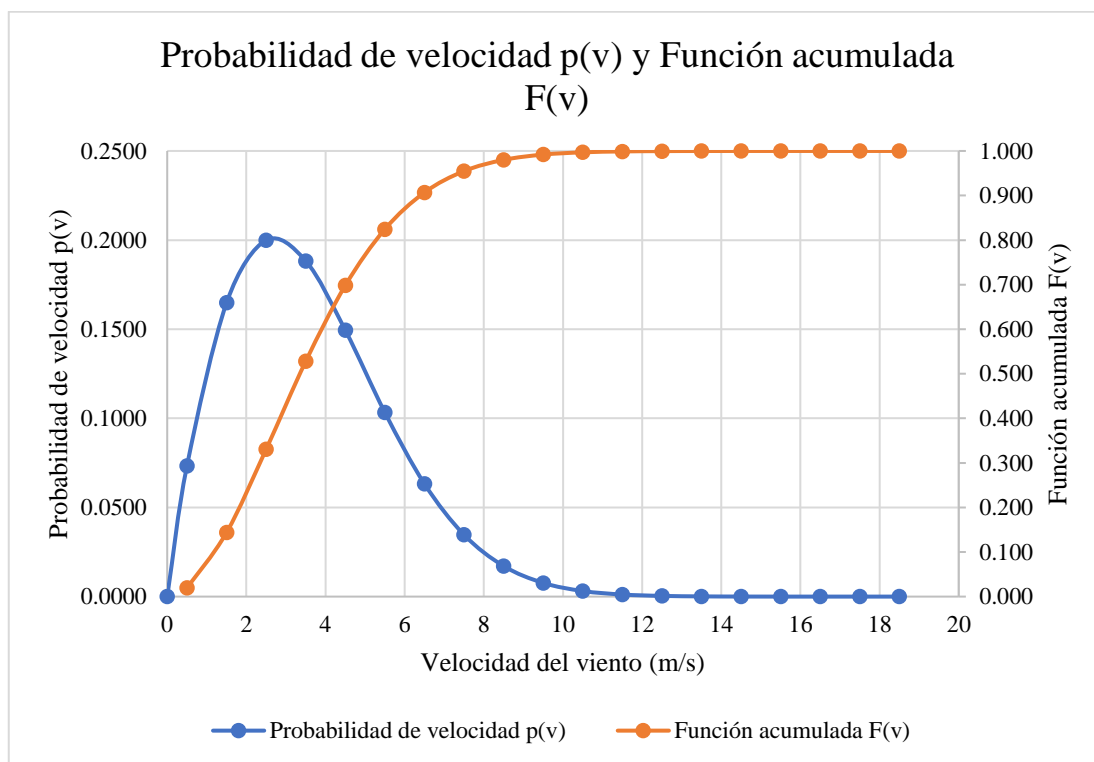


Figura 19. Probabilidad de velocidad $p(v)$ y Función acumulada $F(v)$
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Según la Norma Peruana E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

A continuación, resumiremos aquellas disposiciones esenciales de la norma Peruana E-020 de cargas ubicado en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Definiciones y Consideraciones Preliminares

La filosofía de diseño de la NTE E.020 describe que las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en la combinación prescrita y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su Norma de diseño específica.

La estructura, los elementos de cierre y los componentes exteriores de todas las edificaciones expuestas a la acción del viento, serán diseñados para resistir las cargas (presiones y succiones) exteriores e interiores debidas al viento, suponiendo que este

actúa en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí. En la estructura de la ocurrencia de presiones y succiones exteriores serán consideradas simultáneamente.

Clasificación de la estructura

Para el diseño según esta norma, clasifica a las estructuras en 3 tipos, para las cuales seleccionamos:

- Tipo 3: el reglamento coloca en esta clasificación a las estructuras con problema aerodinámicos como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes.

Velocidad de diseño

El cálculo para determinar la velocidad de diseño se debe hacer con la siguiente formula:

$$V_h = V * \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

Donde:

- V_h : velocidad de diseño en la altura h en Km/h
- V : velocidad referencial de diseño hasta 10m de altura en Km/h
- H : altura sobre el terreno en metros

El reglamento no permite usar una velocidad referencial menor a 75 km/h, este criterio amplificaría las cargas en las ciudades que tienen un registro menos al mínimo. En este caso la velocidad de diseño para la ciudad de Quilcapuncu según el mapa isotacas ubicado en el anexo 11 es de 85 km/h, por lo que aplicando la ecuación para determinar la velocidad del viento a distintas alturas hasta los 18m de alto, como se observa en la tabla 18.

Tabla 18*Velocidad de diseño por viento según la norma E020.*

Altura (m)	Vh (km/h)	Altura (m)	Vh (km/h)
1,0	51,22	10,0	85,0
2,0	59,65	11,0	86,80
3,0	65,22	12,0	88,48
4,0	69,48	13,0	90,05
5,0	72,98	14,0	91,53
6,0	75,96	15,0	92,93
7,0	78,59	16,0	94,26
8,0	80,93	17,0	95,53
9,0	83,05	18,0	96,73

Según nuestra tabla 18 podemos visualizar que para una altura de 10m tendremos una velocidad de diseño (Vh) de 85,0 km/h con un $Tr = 50$ años, pero para una altura de 18m tenemos 96,73km/h, estos valores considerados como velocidades medias máximas para un periodo de retorno de 50 años.

Finalmente comparando estos valores con los obtenidos según nuestro Power Data Access Viewer a una altura de 10m, evaluados desde el 01 de enero del 2001 hasta el 31 de diciembre del 2022 la velocidad máxima fue de 16,32 m/s esto igual a 58,75 km/h y para una altura de 18m que es la altura de la torre del aerogenerador tenemos 18,36 m/s que es igual a 66,10 km/h.

Concluimos que existe una diferencia de velocidad respecto a ambas velocidades debido a que contamos con distintos valores de Periodo retorno según el mapa de isotacas considerando 50 años y nuestro Power Data a un periodo de 20 años, sabemos que estos son valores estadísticos y no predice el futuro, son valores que suele determinar con que probabilidad de riesgo puede que a medida del avance de cada año este recurso va en aumento o en disminución debido a los fuertes cambios climáticos que tenemos a diario a consecuencia de diversos factores. Entonces para nuestro proyecto se estimó una velocidad promedio respecto a cada año con un potencial eólico considerado en el peor de los casos, aun así, estaríamos abasteciendo de energía suficiente a nuestro sistema de calefacción.

3.3. Diseño del sistema de generación eléctrica eólico

A partir de la evaluación del recurso eólico se escogió como modelo de aerogenerador el AEROGENERADOR ENAIR 200L, cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo 11. A continuación, se muestra la curva de potencia del aerogenerador escogido. La curva de potencia de un aerogenerador es una representación gráfica que muestra la relación entre la velocidad del viento y la potencia eléctrica que el aerogenerador es capaz de generar a esa velocidad del viento. Esta curva es una herramienta fundamental en la evaluación y operación de parques eólicos, ya que proporciona información crucial sobre el rendimiento y el comportamiento del aerogenerador en diferentes condiciones de viento.

Al estudiar la curva de potencia de un aerogenerador, los ingenieros pueden elegir la máquina más adecuada para un sitio específico, teniendo en cuenta las características del viento en esa ubicación. La curva de potencia ayuda a determinar si un aerogenerador es capaz de generar la cantidad de energía requerida en ese lugar.

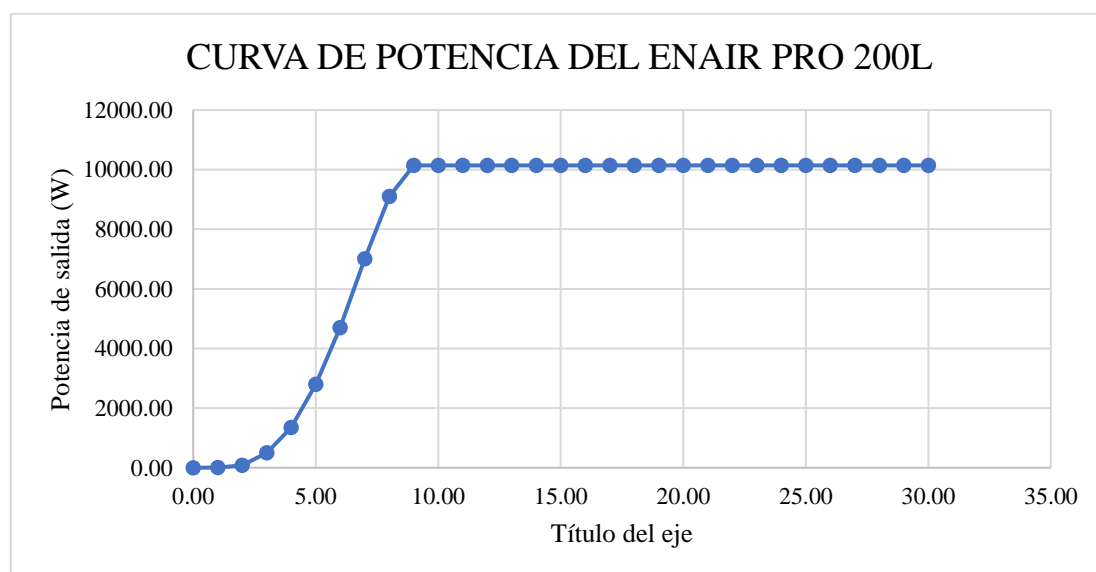


Figura 20. Curva de potencia del ENAIR PRO 200L (10 kW)
Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200l#calculaInstalacion>

Tabla 19
Energía de salida del aerogenerador

Velocidad (m/s)	Hora de funcionamiento (h)	Potencia de salida (W)	Energía de salida del aerogenerador (kWh)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	642,65	0,00	0,00
1,50	1443,83	45,00	64,97
2,50	1751,19	290,00	507,84
3,50	1649,44	925,00	1525,73
4,50	1309,00	2075,00	2716,17
5,50	904,74	3750,00	3392,77
6,50	554,11	5850,00	3241,53
7,50	303,87	8050,00	2446,17
8,50	150,26	9620,00	1445,48
9,50	67,33	10140,00	682,71
10,50	27,44	10140,00	278,25
11,50	10,20	10140,00	103,45
12,50	3,47	10140,00	35,17
13,50	1,08	10140,00	10,96
14,50	0,31	10140,00	3,13
15,50	0,08	10140,00	0,82
16,50	0,02	10140,00	0,20
17,50	0,00	10140,00	0,04
18,50	0,00	10140,00	0,01
Energía anual (kWh/año)			16455,41

En la Tabla 18, se aprecia la energía de salida que ofrece el aerogenerador escogido, comparándolo con la Tabla 9 y la Figura 12, se puede cubrir la demanda para 6,0 horas de funcionamiento del sistema de calefacción.

El inversor para conectarse debe cumplir las siguientes características según Angulo y Vásquez (2023):

- La potencia del inversor debe estar relacionada con la capacidad de la turbina eólica esto es 10 kW.
- Debe cumplir los requerimientos eléctricos de conexión entre el aerogenerador y el equipo de demanda eléctrica.

Es por ello por lo que se escogió el modelo Inversor de 10 kW, Huawei SUN2000-10KTL, el cual tiene compatibilidad con el aerogenerador a pesar de ser un inversor

usado para sistemas fotovoltaicos, como se indica en la ficha técnica del aerogenerador. La ficha técnica del inversor se observa en el Anexo 12.

3.4. Diseño del sistema de calefacción

En la Tabla 7, se especifica que la capacidad necesaria del equipo de calefacción debe ser de 10 kW, sin embargo, en el mercado se encuentra el modelo regulable Caldera Eléctrica Solo Calefacción Regulable 15 kW. Este modelo permite la regulación a diferentes niveles de calefacción, como se muestra en su ficha técnica en el Anexo 13.

Para la difusión del calor de calefacción se escogió 02 radiadores, radiador de acero, emisión calorífica 207,6 kcal/h, para una diferencia media de temperatura de 50°C entre el radiador y el ambiente, el cual se aprecia su ficha técnica en el Anexo 14.

3.5. Diseño de elementos adicionales

Los elementos adicionales se determinaron de acuerdo con su compatibilidad, como los conductores, elementos de protección y maniobra, sistema de puesta a tierra, que se corresponden con las necesidades del sistema para evitar inconvenientes. Estos mismos se observan en el análisis técnico y económico que se muestra en el siguiente acápite. En el Anexo 16, se presenta el sistema a través de un diagrama unifilar.

3.6. Análisis técnico del sistema

Teniendo en cuenta una degradación del sistema de generación eólico de 0,5 % anual, según Angulo y Vásquez (2023), se estimó la producción energética para un periodo de 20 años de vida útil del proyecto.

De igual manera, según el Ministerio del Ambiente (2015), el factor de emisiones del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional es de 0,2611 kgCO₂/kWh, con lo que se puede calcular cuantas emisiones se ahorran en la vida útil del sistema.

Estos datos mencionados, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20*Evolución de la energía generada y emisiones ahorradas del sistema*

AÑO	ENERGÍA GENERADA - kWh/año	EMISIONES CO₂ AHORRADAS - CO₂/año
1	16455,41	4296,51
2	16373,13	4275,02
3	16291,26	4253,65
4	16209,81	4232,38
5	16128,76	4211,22
6	16048,11	4190,16
7	15967,87	4169,21
8	15888,03	4148,37
9	15808,59	4127,62
10	15729,55	4106,99
11	15650,90	4086,45
12	15572,65	4066,02
13	15494,79	4045,69
14	15417,31	4025,46
15	15340,23	4005,33
16	15263,52	3985,31
17	15187,21	3965,38
18	15111,27	3945,55
19	15035,71	3925,82
20	14960,54	3906,20
TOTAL	313934,65	81968,34

En virtud de observar el comportamiento gráficamente, se presentan las siguientes imágenes.

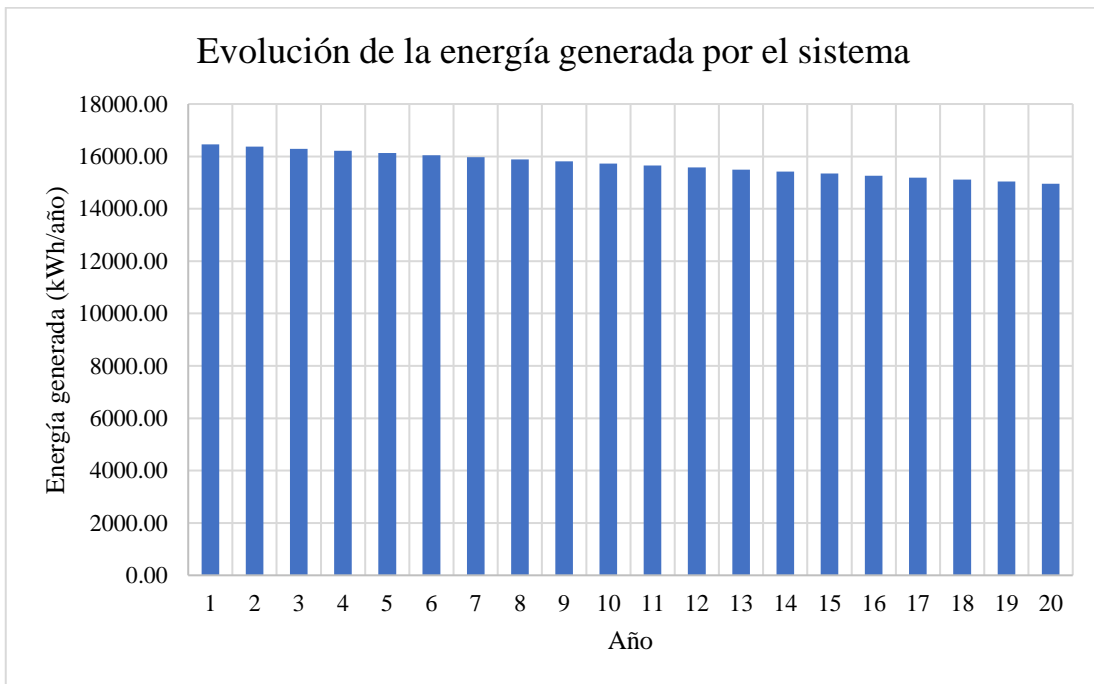


Figura 21. Evolución de la energía generada por el sistema
Fuente: Elaboración propia.

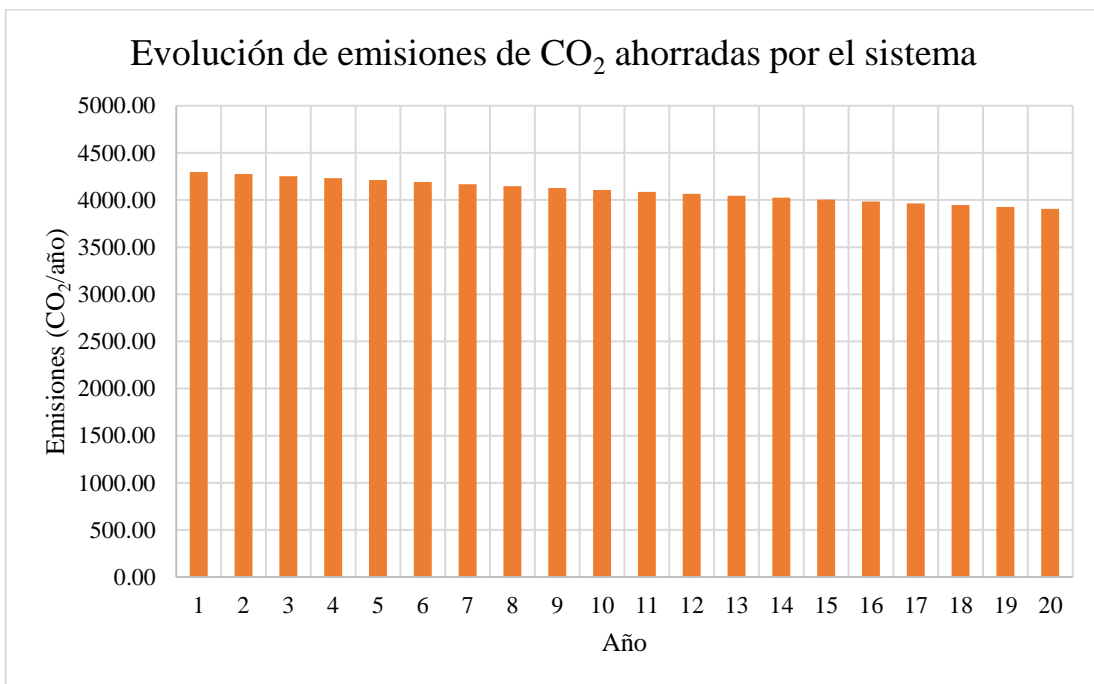


Figura 22. Evolución de emisiones de CO₂ ahorradas por el sistema
Fuente: Elaboración propia

3.7. Análisis económico del sistema

Se muestra a continuación el presupuesto general del sistema diseñado. El detalle del presupuesto se puede observar en el Anexo 15.

Tabla 21

Presupuesto suministro de materiales del sistema

ITEM	PARTIDA	Subtotal
01.00.00	SISTEMA DE CALEFACCIÓN	S/ 5260,43
02.00.00	SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICO	S/ 63600,43
03.00.00	EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA	S/ 1226,73
04.00.00	ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y ACCESORIOS	S/ 29376,00
05.00.00	CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE	S/ 244,84
06.00.00	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	S/ 600,00
07.00.00	CONEXIÓN Y ACCESORIOS	S/ 1000,00
08.00.00	POZO DE PUESTA A TIERRA	S/ 1000,00
TOTAL		S/ 102308,43

Tabla 22

Presupuesto montaje electromecánico del sistema

ITEM	PARTIDA	Subtotal
01.00.00	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN	S/ 500,00
02.00.00	INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y AEROGENERADOR	S/ 8825,04
03.00.00	INSTALACIÓN DE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN CON EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA	S/ 500,00
04.00.00	CABLEADO Y CONEXIONADO	S/ 500,00
05.00.00	CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PUESTA A TIERRA	S/ 1500,00
06.00.00	PRUEBAS ELÉCTRICAS	S/ 400,00
TOTAL		S/ 12225,04

Tabla 23*Presupuesto general del sistema*

PRESUPUESTO TOTAL		
I.	SUMINISTRO DE MATERIALES	S/ 102308,43
II.	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO	S/ 12225,04
II.	TRANSPORTE	S/ 5115,42
PRESUPUESTO TOTAL		S/ 119648,89

El análisis económico se realizó, teniendo en cuenta la Tarifa BT5-B residencial para la zona de estudio, el costo de energía activa de electricidad fue de 0,8737 S//kWh, según OSINERGMIN (2023). La vida útil del sistema se determinó en 20 años. Sin embargo, no todas las unidades del sistema tienen la misma vida útil. Por tanto, es importante presentar el número adecuado de suplentes para cada equipo. En cuanto a los costes de mantenimiento del sistema, su valor anual se fijó en el 2% del presupuesto total.

Tabla 24*Tiempo de vida útil componentes principales del sistema*

Equipo del sistema	Tiempo de vida útil en años	Número de reemplazos
AEROGENERADOR ENAIR E200L 10 kW	25	0
INVERSOR DE 10 kW	10	1

Se eligió una tasa de descuento adecuada del 10%, que es común para proyectos de generación de energía renovable. Los flujos de efectivo y los flujos acumulados se muestran en la siguiente tabla.

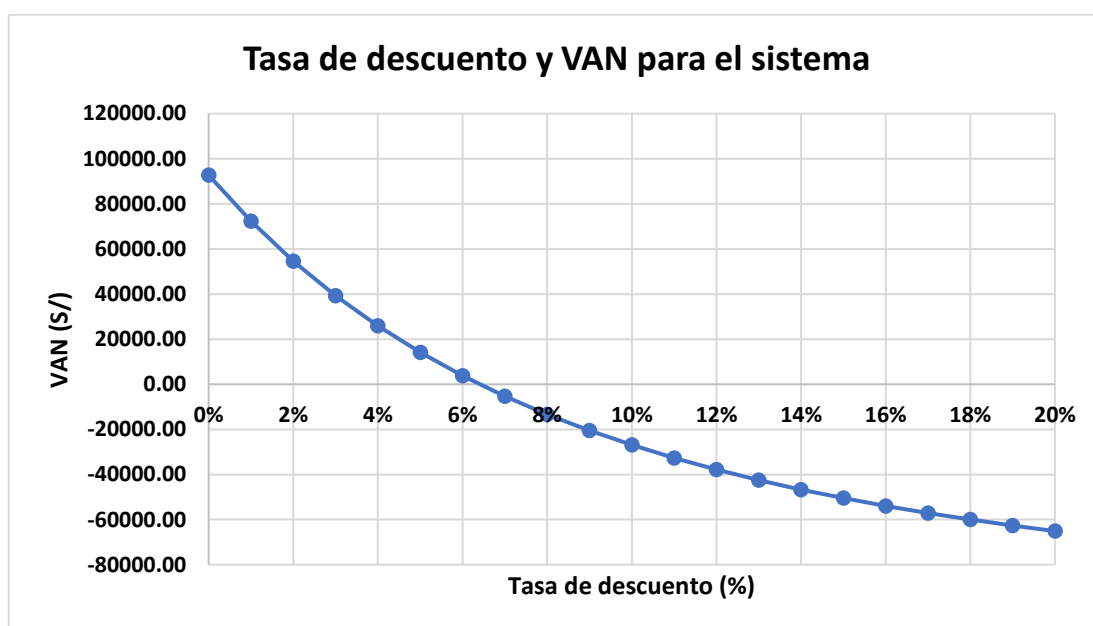


Figura 23. Tasa de descuento y VAN para el sistema
Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Flujo de caja económico para el sistema

AÑO	INGRESOS (S/)	EGRESOS (S/)	FLUJO DE CAJA ECONÓMICO (S/)	FLUJO DE CAJA ACUMULADO (S/)
0	0,00	119648,89	-119648,89	-119648,89
1	14377,09	2392,98	11984,11	-107664,78
2	14305,20	2392,98	11912,22	-95752,56
3	14233,68	2392,98	11840,70	-83911,86
4	14162,51	2392,98	11769,53	-72142,33
5	14091,70	2392,98	11698,72	-60443,61
6	14021,24	2392,98	11628,26	-48815,35
7	13951,13	2392,98	11558,15	-37257,20
8	13881,38	2392,98	11488,40	-25768,80
9	13811,97	2392,98	11418,99	-14349,81
10	13742,91	16462,21	-2719,30	-17069,11
11	13674,19	2392,98	11281,22	-5787,89
12	13605,82	2392,98	11212,85	5424,95
13	13537,79	2392,98	11144,82	16569,77
14	13470,11	2392,98	11077,13	27646,89
15	13402,75	2392,98	11009,78	38656,67
16	13335,74	2392,98	10942,76	49599,43
17	13269,06	2392,98	10876,08	60475,52
18	13202,72	2392,98	10809,74	71285,26
19	13136,70	2392,98	10743,73	82028,98
20	13071,02	2392,98	10678,04	92707,03

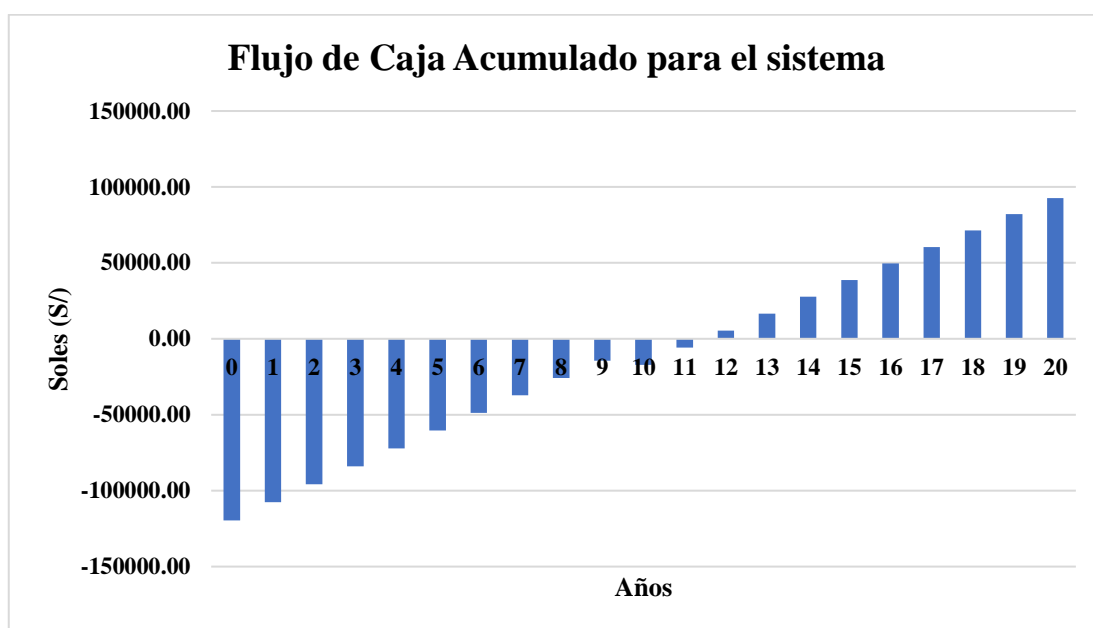


Figura 24. Flujo de Caja Acumulado para el sistema
Fuente: Elaboración propia

Se determinó que la TIR del sistema es de 6,41 % inferior a la tasa de descuento (10 %), lo que significa que la inversión debe financiarse a largo plazo para que se considere viable y se elige otro enfoque de inversión. Según los valores dados, el período de recuperación es de 11,52 años, como se muestra en la Figura 23.

Tabla 26

Costo nivelado de energía para el sistema

AÑO	CAPITAL (S/)	COyM (S/)	REEMPLAZO (S/)	RESIDUAL (S/)	ENERGÍA PRODUCIDA (kWh)
0	119648,89	0,00			0,00
1		2175,43			14959,46
2		1977,67			13531,51
3		1797,88			12239,87
4		1634,44			11071,52
5		1485,85			10014,69
6		1350,77			9058,74
7		1227,98			8194,04
8		1116,34			7411,89
9		1014,86			6704,39
10		922,60	5424,30		6064,42
11		838,72			5485,55
12		762,48			4961,93

13		693,16			4488,29
14		630,15			4059,86
15		572,86			3672,33
16		520,78			3321,79
17		473,44			3004,71
18		430,40			2717,89
19		391,27			2458,46
20		355,70		1778,50	2223,79
Totales	119648,89	20372,77	5424,30	1778,50	135645,11

Al realizar los cálculos apropiados utilizando los datos calculados en la Tabla 25, los costos de energía nivelados para el sistema en estudio son iguales a 1,0591 S//kWh. Su valor es superior al precio de la electricidad activa y se utiliza para el análisis. A continuación, la Figura 45 muestra el comportamiento de los costos de energía suavizados a medida que cambia la tasa de descuento.

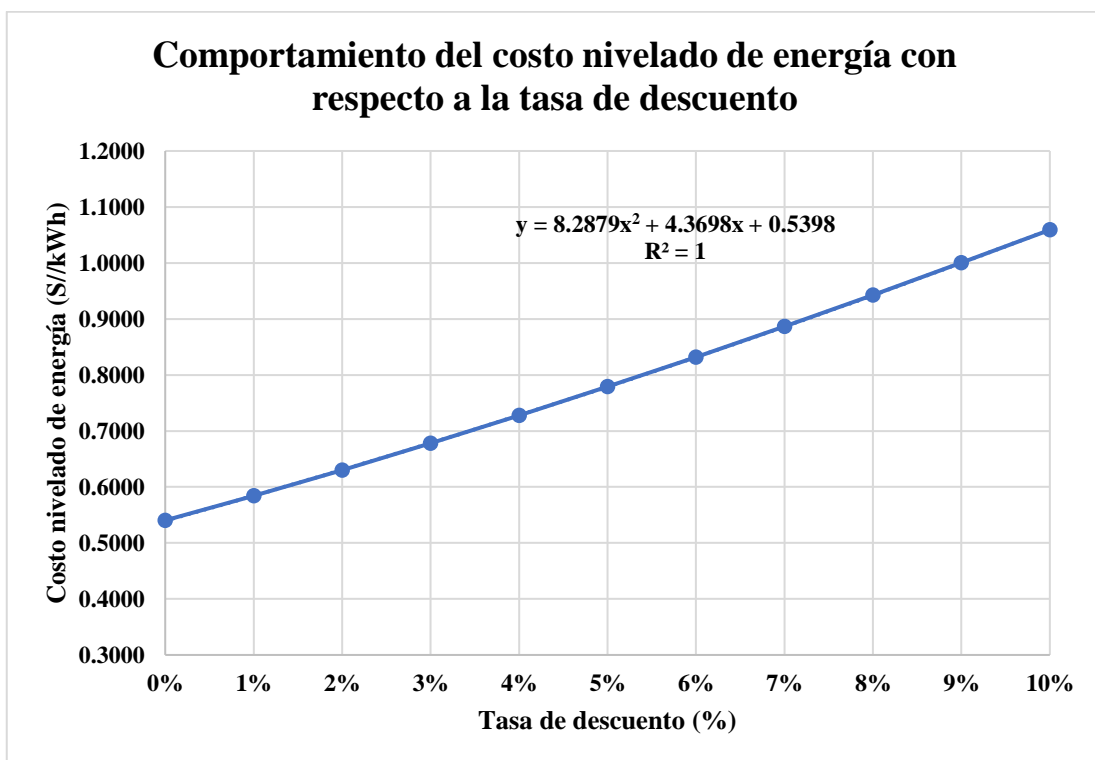


Figura 25. Comportamiento del costo nivelado de energía con respecto a la tasa de descuento
Fuente: Elaboración propia

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En relación con el objetivo general, realizar el diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno, se logró seleccionar un aerogenerador que suministre la energía eléctrica necesaria para un sistema de calefacción determinado por una caldera eléctrica regulable, que se apoya con 02 radiadores de acero ubicados estratégicamente en la vivienda. El aerogenerador seleccionado cuenta con una potencia nominal de 10 kW, el cual puede proveer una energía eléctrica anual de 16455,41 kWh/año, lo que permite dotar de energía al sistema de calefacción para un periodo diario de 6 horas. El aerogenerador mencionado se encuentra conectado a un inversor de 10 kW, que permite convertir la energía producida en energía alterna con una frecuencia de 60 Hz, para el suministro adecuado de electricidad para la carga de calefacción. Los parámetros económicos demuestran que el sistema dimensionado logra un retorno de la inversión para 11,52 años (Figura 24), relacionado esto con un valor de la TIR de 6,41 % (Figura 23). La investigación realizada por Vera (2020), presentó un valor de TIR igual a 4,05 %, con un periodo de retorno de inversión equivalente a 25 años. A pesar de que las TIR son menores a la tasa de descuento de 10 % tomada como referencia, la inversión en sistemas con fuentes de energía renovables no está sujeta a una tasa de descuento, es importante destacar que el período de recuperación del capital varía según la tecnología utilizada. Los plazos mencionados se ubican dentro del rango de amortización simple adecuado para tecnologías renovables. Por otro lado, si se considera la implementación del sistema eólico para suministrar la carga de calefacción, es crucial que las tasas de interés se mantengan por debajo del 6,41 %. En el contexto específico del Perú, las tasas de interés comerciales ofrecidas por las entidades bancarias suelen superar el 10%. Por lo tanto, para hacer que la implementación del sistema sea económicamente viable, es necesario categorizar estos proyectos como inversiones públicas ambientales. Esto permitiría acceder a una tasa de descuento social equivalente al 4%, lo que mejoraría significativamente la viabilidad económica de dichos proyectos. La viabilidad económica de las instalaciones renovables, como sistemas eólicos está intrínsecamente ligada a su capacidad de generar energía a lo largo de su ciclo de vida útil. Esta capacidad de

generación de energía se ve significativamente afectada por dos factores fundamentales: la degradación de los componentes y la duración de la vida útil del sistema. Ambos elementos ejercen una influencia directa en la cantidad de electricidad producida por la instalación y, por ende, en el flujo de ingresos generado a partir de la generación de energía. Estos factores, a su vez, tienen un impacto crucial en el cálculo de los costos nivelados de la energía (LCOE), que es un indicador clave en la evaluación de la rentabilidad y competitividad de la energía en comparación con otras fuentes de generación eléctrica. Tzen et al. (2023), indicó que el LCOE para sistemas eólicos de pequeña escala se encuentra dentro de 0,1 a 2 €/kWh. Sánchez-Torres y Rodríguez-Ramos (2021), por su parte para su sistema eólico dimensionado, presentó un LCOE de 0.53 \$/kWh, mientras que Goudarzi et al. (2020), determinó un valor de LCOE de 0.22 \$/kWh. Güğül et al. (2023), evaluó sistemas eólicos a gran escala por lo que el LCOE que obtuvo fue de 0.035 \$/kWh. El LCOE mostrado para el sistema diseñado en la investigación presente se encuentra dentro de ambos rangos, para una tasa de descuento de 10 %, siendo (1,0591 S//kWh, 0,2758 \$/kWh, 0,2596 €/kWh).

Respecto al primer objetivo específico, evaluar el recurso eólico presente en el distrito de Quilcapuncu, Puno realizando mediciones puntuales de velocidad de viento, la localidad analizada cuenta con un recurso eólico relativamente destacable, teniendo una velocidad de viento promedio de 3,65 m/s para una altura de 10 m, mientras que para la altura de la torre del aerogenerador (18 m), presentó una velocidad promedio de 4,11 m/s. En particular el territorio peruano cuenta con un potencial eólico apropiado para sistemas de generación eléctrica aprovechando el mencionado recurso, sin embargo, en la localidad este valor aún resulta levemente inferior, debido a que se recomiendan velocidades por encima de los 5 m/s para generación eléctrica. Gonzáles & Sánchez (2019), en su investigación determinaron una velocidad igual a 5,5 m/s en la localidad de Boyacá, lo que les permitió sin ningún inconveniente suministrar la energía necesaria para sus cargas conectadas. En el norte de nuestro país, contamos con velocidades de viento mayores, como explican Salazar & Yzasiga (2017), los cuales determinaron una velocidad media de 5,76 m/s. La velocidad media del viento en una región rural de Bursa es de 7,4 m/s, esto para Güğül et al. (2023). Sánchez-Torres y Rodríguez-Ramos (2021), por su parte registraron una media de 3,5 m/s en su

región objeto de estudio. La evaluación estadística a través de la distribución de Weibull para los datos recopilados en Quilcapuncu, determinó que el factor k fue de 1,86, mientras que el factor c fue de 4,084 m/s, estos valores, se ven graficados en la Figura 19.

Acerca del segundo objetivo específico, diseñar aerogenerador para suministro de energía eléctrica aprovechando el recurso eólico, para luego proseguir con la distribución mediante estaciones en todas las viviendas de Quilcapuncu, se estudió la curva del aerogenerador escogido. El aerogenerador es capaz de suministrar 16455,41 kWh/año, lo que permite mantener en funcionamiento por un periodo de 6 horas el sistema de calefacción integrado por una caldera eléctrica regulable y 02 radiadores. El sistema de calefacción está determinado por una caldera regulable, para responder a las variaciones de las necesidades energéticas, entendiéndose que un equipo de bomba de calor no opera correctamente en condiciones climáticas tan adversas como las que se producen en Quilcapuncu, como se aprecia en la Figura 10. Ayala (2023), seleccionó una turbina eólica de 1500 W nominales, por su parte Jaramillo-Cardona et al. (2022), escogieron una turbina de 600 W, para el dimensionamiento de su sistema eólico. Sánchez-Torres y Rodríguez-Ramos (2021), evaluaron la incorporación de una turbina de 5 kW, a una altura de 20 m, similar a la altura de la presente investigación (18 m).

En cuanto al tercer objetivo específico, diseñar un sistema de calefacción eficiente, económico y que sea capaz de operar bajo el régimen de la potencia que suministrará el aerogenerador, así como de tener un adecuado nivel de aislamiento para óptimo rendimiento. Además, el sistema debe suministrar la carga térmica adecuada para las personas dentro de un domicilio, la carga térmica máxima de calefacción calculada fue de 8,08 kW, sin embargo, se consideró un 20 % adicional, llegando a 9,69 kW, indicando un valor nominal de 10 kW. Las bombas de calor, que son equipos de climatización mucho más eficientes, logrando valores de COP alrededor de 4, no operan de manera eficiente en condiciones climáticas extremadamente frías por varias razones, entre ellas, limitación de la diferencia de temperatura, reducción de la eficiencia y congelación de componentes. Por lo tanto, se escogió una caldera eléctrica, que no cuenta con las desventajas descritas. La carga térmica por unidad de área para

el sistema diseñado fue de 0.146 kW/m^2 , en la investigación realizada por Acero (2023), ubicada en la ciudad de Nuevo Chimbote, el valor obtenido fue de 0.127 kW/m^2 . La diferencia se relaciona con las diferentes condiciones climáticas, pues en la costa peruana se tiene temperaturas mínimas de 11 a 12 °C, mientras que en Quilcapuncu las temperaturas mínimas llegan a ser -5 °C . Finalmente, para distribuir correctamente el calor suministrado por la caldera eléctrica regulable escogida, se determinó el uso de 02 radiadores estratégicamente ubicados para lograr una homogeneidad en la distribución del calor en el recinto. Sapaico (2020), determinó necesidades térmicas 190 kW, para el edificio de la torre Interbank ubicado en Lima. La diferencia de las necesidades térmicas se evidencia por las diferentes dimensiones de la vivienda analizada en esta investigación y en el estudio de Sapaico (2020).

V. CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno, el aerogenerador mencionado cuenta con una potencia de 10 kW, una velocidad de arranque de 1.85 m/s y una velocidad límite de 30 m/s. El aerogenerador presentó características técnicas que lo posicionaron como la opción acorde para el recurso eólico de Quilcapuncu, Puno.
- Se evaluó el recurso eólico presente en el distrito de Quilcapuncu, Puno realizando mediciones puntuales de velocidad de viento, obteniendo una velocidad de viento promedio para la altura de la torre del aerogenerador de 18 m, de 4,11 m/s. Los parámetros de Weibull para los datos de la velocidad de viento de la ubicación fueron k equivalente a 1.86 y el factor c equivalente a 4.084 m/s.
- Se diseñó aerogenerador para suministro de energía eléctrica aprovechando el recurso eólico, para luego proseguir con la distribución mediante estaciones en todas las viviendas de Quilcapuncu, el cual puede suministrar 16455,41 kWh/año, energía suficiente para abastecer el sistema de calefacción durante 20 años.
- Se diseñó un sistema de calefacción eficiente, económico y que sea capaz de operar bajo el régimen de la potencia que suministrará el aerogenerador, así como de tener un adecuado nivel de aislamiento para óptimo rendimiento. Además, el sistema debe suministrar la carga térmica adecuada para las personas dentro de un domicilio, que cuenta con una caldera eléctrica regulable de 15 kW con una demanda térmica máxima de 10 kW, y 02 radiadores de acero, los cuales distribuyen el calor uniformemente a través de la vivienda.

VI. RECOMENDACIONES

En referencia a los resultados y la experiencia en la investigación, se recomienda:

- Se recomienda evaluar los resultados obtenidos a través de una simulación empleando softwares especializados en la gestión de energía como el Homer Pro, en virtud de una mayor manipulación de los datos y contrastar los resultados logrados en la investigación.

- Se sugiere implementar un prototipo del sistema diseñado, comenzando por un ambiente con necesidades de calefacción menores para evaluar experimentalmente los resultados de la investigación.

- Se recomienda analizar el sistema, utilizando equipos de almacenamiento de energía como baterías, para comparar y revisar la variación de los resultados técnicos, económicos y ambientales.

- Se recomienda a las instituciones educativas como la Universidad San Pedro continuar promoviendo el uso de fuentes renovables y la investigación en pro de suministrar energía para cubrir la demanda de cargas térmicas.

- Se recomienda plantear la inversión de proyectos para calefacción de ambientes en las zonas altoandinas para mejorar la calidad de vida de sus pobladores, empleando energías renovables, para así contribuir con el desarrollo sostenible del país.

VII. AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera invaluable a la realización de esta investigación. Agradezco sinceramente a mi asesor por su orientación experta, a todas las fuentes de financiamiento que hicieron posible este estudio. Además, quiero agradecer a los participantes y a todas las personas que de alguna manera colaboraron con su tiempo y conocimiento. Este trabajo no habría sido posible sin su generosa colaboración. Su compromiso y apoyo fueron fundamentales para el éxito de esta investigación, además de dar gracias a mi alma mater por haberme permitido formarme profesionalmente

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, K. (2023). *Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4293>
- Almada, A. (2020). *Estación Meteorológica Anemómetro y Pluviómetro*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Mar de Plata, Buenos Aires. Obtenido de https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7033/2019_Tesis_Camilo_Andr%C3%A9s_Boh%C3%B3rquez_Vergara.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Angulo, J. & Vásquez, J. (2023). *Estudio de generación de un sistema híbrido RER para disminuir costos operativos del sistema eléctrico Copeinca Chancay*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4391>
- Arenas, S., & Cedrón, R. (2016). *Diseño de una micro central eólica de 50 kW para el sistema de iluminación del campus II de la Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Obtenido de https://library.co/document/download/y9gvm1jq?page=1#=_
- Armotec. (2022). *Mini Anemómetro Digital Multifunción SR5808*. Obtenido de <https://armotec.pe/producto/ambiental-y-ocupacional/anemometros/minianemometro-digital-multifuncion-sr5808/>
- Arratia, P., Chocala, M., Rodríguez, R., Rodríguez, R., Pedro, M., & Herrera, M. (2017). *Propuesta de abastecimiento energético en forma independiente para una vivienda rural basada en un aerogenerador*. Informes científicos - Técnicos UNPA, 19 - 39. doi:9. 19. 10.22305/ict-unpa.v9i3.253.

- Ayala, K. (2023). *Estudio técnico-económico para la generación eléctrica de baja potencia mediante la conversión de la energía eólica en zonas rurales altas de Ecuador. Caso de estudio comunidad de Yuracruz*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13596>
- Benites, M. (2018). *Aplicación de energía eólica en el diseño arquitectónico de un centro hotelero dinámico - Chimbote*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Chimbote. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/8393?show=full>
- Bernal, A. (2019). *Diseño de un mini aerogenerador de 9 kW*. Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7699>
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2021). *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons.
- Calapuja, E. (2017). *Sistema de calefacción solar térmico controlado para mantener el confort térmico en un ambiente de la FIQ*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_b410f9529b2ba61daa5d8f5759f8476f/Details
- Cespedes, R., & Vásquez, F. (2019). *Diseño de un sistema de energía eólica para el suministro eléctrico de la localidad de Quinuabamba - Pomabamba - Áncash*. Trabajo de investigación, Universidad tecnológica del Perú, Lima. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4857>
- Chumbiray, I. (2021). *Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19292>

- Fechner, U., & Schmehl, R. (2016, September). Downscaling of airborne wind energy systems. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 753, No. 10, p. 102002). IOP Publishing.
- Factorenergía. (23 de Julio de 2018). *Energía eólica. Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas*. Obtenido de Factorenergía: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- FamilySearch (2023). *San Antonio de Putina, Puno, Perú – Genealogía*. Obtenido de https://www.familysearch.org/es/wiki/San_Antonio_de_Putina,_Puno,_Per%C3%BA_-_Genealog%C3%ADa
- García, M. (2016). *Diseño de un sistema de aerogeneradores para abastecer de energía eléctrica al campus de la USP - Nuevo Chimbote, 2016*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro, Chimbote. Obtenido de http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/8292/Tesis_58204.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Google Maps (2023). *Quilcapuncu*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/quilcapuncu/data=!4m2!3m1!1s0x9167ab09d86474fb:0xefbc237b09a21423?sa=X&ved=2ahUKEwjHvfq4nd2BAxVPs5UCHfxLAnUQ8gF6BAgNEAA>
- González, N., & Sánchez, J. (2019). *Diseño de un aerogenerador para la producción de energía eléctrica en la finca "El Alto del Gavilán", Boyacá*. Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7553?locale=es>
- Goudarzi, N., Mohammadi, K., Pé, A. S., Delgado, R., & Zhu, W. (2020). Wind resource assessment and economic viability of conventional and unconventional small wind turbines: A case study of Maryland. *Energies*, *13*(22), 5874. <https://doi.org/10.3390/en13225874>

- Güğü, G., Başbilen, G., & Baker, D. (2023). Techno-Economic Analysis for Wind Energy Projects: A Comparative Study With Three Wind Turbines Based on Real-Site Data. *TEPES*, 3(3), 115-124. DOI: 10.5152/tepes.2023.23019
- Hemmati, R. (2017). Technical and economic analysis of home energy management system incorporating small-scale wind turbine and battery energy storage system. *Journal of Cleaner Production*, 1-42. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.174.
- Hoyos, L. (2021). *Diseño de un sistema de calefacción solar activo de 5,8 kW para viviendas unifamiliares rurales ubicadas en Mazocruz*. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20523>
- Inel. (22 de Enero de 2021). *Inel - Escuela técnica de ingeniería*. Obtenido de https://web.facebook.com/inelinc/photos/a.148288905766544/785497888712306/?type=3&_rdc=1&_rdr
- Jaramillo-Cardona, J., Perafan-Lopez, J., Torres-Madroño, J., Nieto-Londoño, C., & Sierra-Pérez, J. (2022). Techno-economic assessment of small wind turbines under the Guajira-Colombia resource conditions. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 12(1), 45-56. <https://doi.org/10.29047/10.29047/01225383.400>
- Loth, E. (2023). Wind energy value and deep decarbonization design, what's next? *Next Energy*, 1(4), 100059. <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2023.100059>
- Marcel, H., Tobiloba, E., & Serge, Y. (2022). Performance evaluation of wind turbines for sites in Chad. *Heliyon*, 1-7. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e11565
- Ministerio del Ambiente (2015). *De la COP20/CMP10 al mundo: Manual de Cálculo y Neutralización de GEI para las COP/CMP*. REDIAM Repositorio Digital del Ministerio del Ambiente. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/78>

- OSINERGMIN (2023). *Pliego tarifario Puno*. Obtenido de <https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario?Id=210000>
- Peña, Ó. (2018). *Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa*. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625185>
- POWER Data Access Viewer (2023). *Datos de velocidad de viento*. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Puno mágico (2023). *Puno, Departamento del Perú*. Obtenido de <https://www.punomagico.com/turismo%20departamento%20puno.htm>
- Ramos, J. (2018). *Diseño de sistema eólico para suministrar energía eléctrica en la hacienda el triunfo - La Libertad, 2018*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Trujillo. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2946525>
- Rodríguez, J., Rodríguez, E. & Pierdant, A. (2014). *Matemáticas financieras*. Patria.
- Salazar, R., & Yzasiga, A. (2017). *Diseño de un aerogenerador para suministro de energía a un sistema convencional de bombeo de agua para edificaciones residenciales - Pimentel*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Chiclayo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/17275>
- Salinas del Carpio, A. (2019). *Análisis y evaluación del comportamiento del viento para la producción de energía eléctrica mediante el uso de un aerogenerador de 300 w de capacidad en la Universidad Autónoma San Francisco, Tiabaya 2019*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma San Francisco, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.uasf.edu.pe/handle/20.500.14179/284>

- Sánchez-Torres, Y., & Rodríguez-Ramos, P. (2021). Evaluación técnico-económica de pequeñas turbinas eólicas en localidades de poco potencial eólico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(3), 16-26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586267422003>
- Sapaico, J. (2020). *Análisis del sistema de climatización para determinar la carga térmica del piso 15 en la torre central Interbank La Victoria*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6850/T010_71490214_T.pdf?sequence=1
- SENAMHI (2023). *Pronostico del tiempo Quilcapuncu*. SENAMHI.
- Tzen, E., Rossis, K., & Stefanatos, N. (2023, June). *The energy crisis as a challenge of small scale wind energy in urban areas-The case of Greece*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1196, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Vega, L. (2021). *Diseño de una mini-oficina con calefacción automatizada por aire caliente para dotar de confort térmico a los habitantes de las zonas altas de la región Junín-2021*. Tesis de pregrado, Universidad Continental, Huancayo. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10202/1/IV_FIN_113_TE_Vega_Cajahuaringa_2021.pdf
- Vera, J. (2020). *Diseño de un sistema eólico aislado para la electrificación rural en poblaciones dispersas en la provincia de Junín*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6664>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Guion de entrevista

Fecha: ____ / ____ / ____ Lugar: _____

Nombre del entrevistador: _____

Nombre del entrevistado: _____

Condición de entrevistado: _____

OBJETIVO:

Conocer las condiciones climáticas, meteorológicas y de infraestructura (en cuanto a redes eléctricas convencionales) actuales que presenta el distrito de Quilcapuncu, Puno, así como conocer con mayor profundidad la problemática de la comunidad.

PREGUNTAS:

1. ¿Cuántas viviendas existen en esta localidad?

2. ¿Cuál es el mayor problema que afecta a su comunidad y cómo lo enfrentan?

3. ¿Cuál es la principal actividad económica de los pobladores?

4. ¿Cuáles son los meses en el que las temperaturas de frío son extremas?

5. ¿Dónde se ubica la red de energía eléctrica más cercana?

6. ¿Durante qué época del año usted ha observado que el viento posee mayor velocidad?

Anexo 2: Ficha de análisis documental

FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL	
Título de documento	
Autor	
Referencia bibliográfica	
Palabras clave	
Ubicación del documento	
Descripción del aporte del tema a la investigación	
Problema de investigación	
Análisis	
Resultados	
Fuentes	
Observaciones	

Anexo 3: Guía de observación

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Información general

Fecha	
Horario de observación	
Nombre del observador	
Lugar de observación	
Nombre del propietario de lugar	

Registro de observación

Objeto de observación		Observaciones
Condiciones climáticas y meteorológicas	Temperatura ambiente	
	Velocidades de viento	
	Geografía de alrededores	
Condiciones de viviendas e infraestructura	Temperatura al interior de vivienda	
	Existencia de red eléctrica	
	Existencia de energía alternativa (por ejemplo, combustible)	

Notas

Anexo 4: Matriz de consistencia

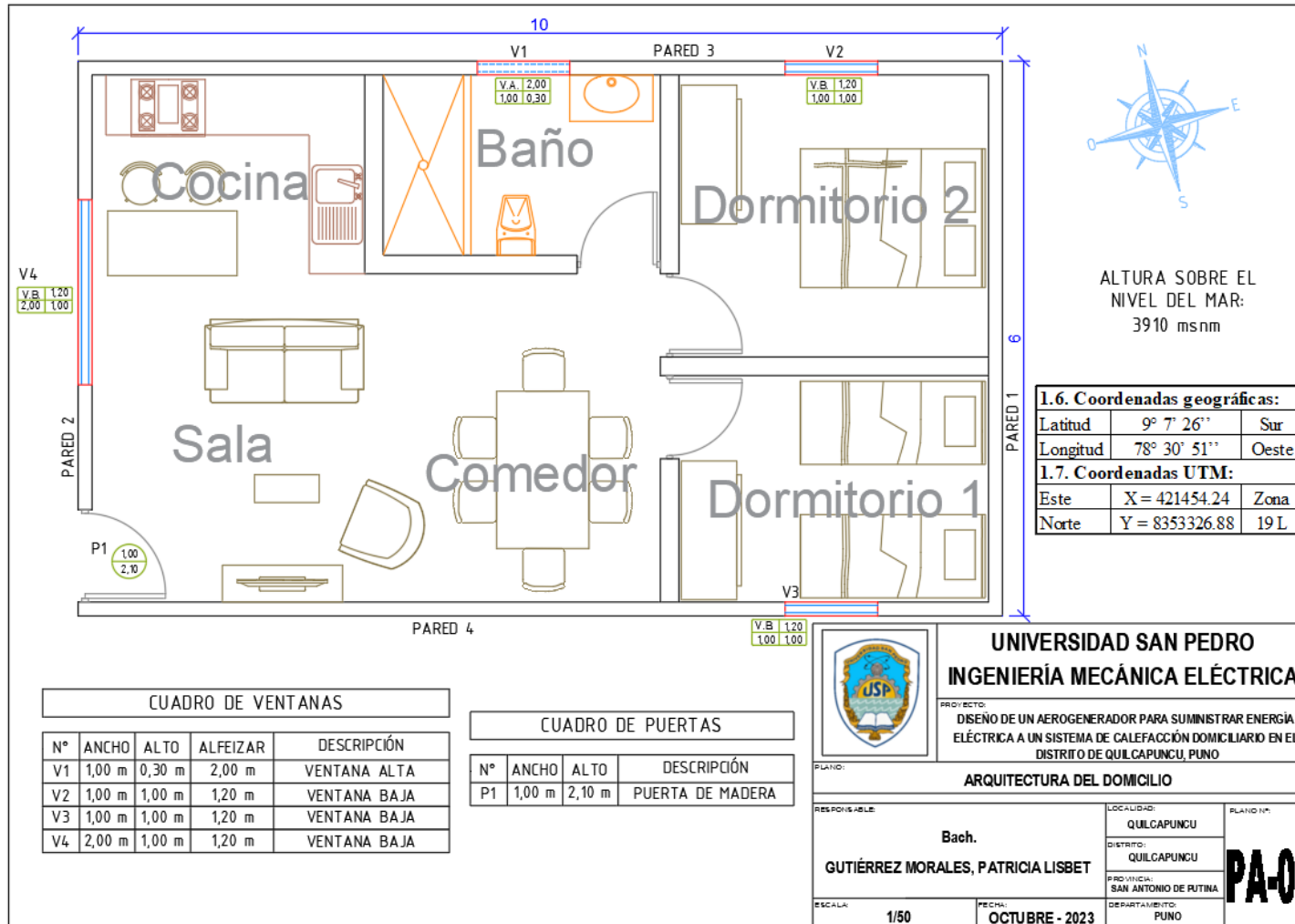
MATRIZ DE CONSISTENCIA		
Título: Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno.		
Autor: Gutiérrez Morales, Patricia Lisbet		
Problemas	Objetivos	Hipótesis
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Cómo suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario, a través de energía eólica para los pobladores del distrito de Quilcapuncu de la provincia San Antonio de Putina del departamento de Puno?	Realizar el diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno.	Con el recurso eólico presente en el distrito de Quilcapuncu de la provincia San Antonio de Putina del departamento de Puno es posible diseñar de manera óptima un aerogenerador con potencia menor a 10 kW, el cual será capaz de dotar de energía a un sistema de calefacción con el que se proporcione una carga térmica adecuada para los habitantes de una vivienda.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
¿Qué potencial eólico expresado en términos de velocidad de viento se presenta en la localidad de Quilcapuncu?	Evaluar el recurso eólico presente en el distrito de Quilcapuncu, Puno realizando mediciones puntuales de velocidad de viento.	El recurso eólico presente en la localidad de Quilcapuncu es adecuado para la implementación de aerogeneradores en virtud de velocidades pico de hasta 40 km/h así como del espacio existente necesario para instalación
¿Qué sistema de calefacción será más eficiente y su rendimiento no se verá afectado con las bajas temperaturas?	Diseñar un sistema de calefacción eficiente, económico y que sea capaz de operar bajo el régimen de la potencia que suministrará el aerogenerador, así como de tener un adecuado nivel de aislamiento para óptimo rendimiento. Además, el sistema debe suministrar la carga térmica adecuada para las personas dentro de un domicilio.	La caldera eléctrica es el tipo de calefacción que tiene un buen rendimiento, lo más probable es que se tenga que aumentar la potencia contratada, una de sus ventajas es que se trata de energía limpia, no se corren riesgos de pérdidas de gas ni de otras sustancias tóxicas, y como otra utilidad se tendrá también la producción de agua caliente sanitaria.
¿Cómo se podrá suministrar energía eléctrica a todas las viviendas de Quilcapuncu?	Diseñar aerogenerador para suministro de energía eléctrica aprovechando el recurso eólico, para luego proseguir con la distribución mediante estaciones en todas las viviendas de Quilcapuncu.	Partiendo del cálculo de la carga térmica y carga eléctrica de la estación se determina el requerimiento de energía eléctrica necesario para garantizar la calefacción y el consumo de electricidad por toda la estación.

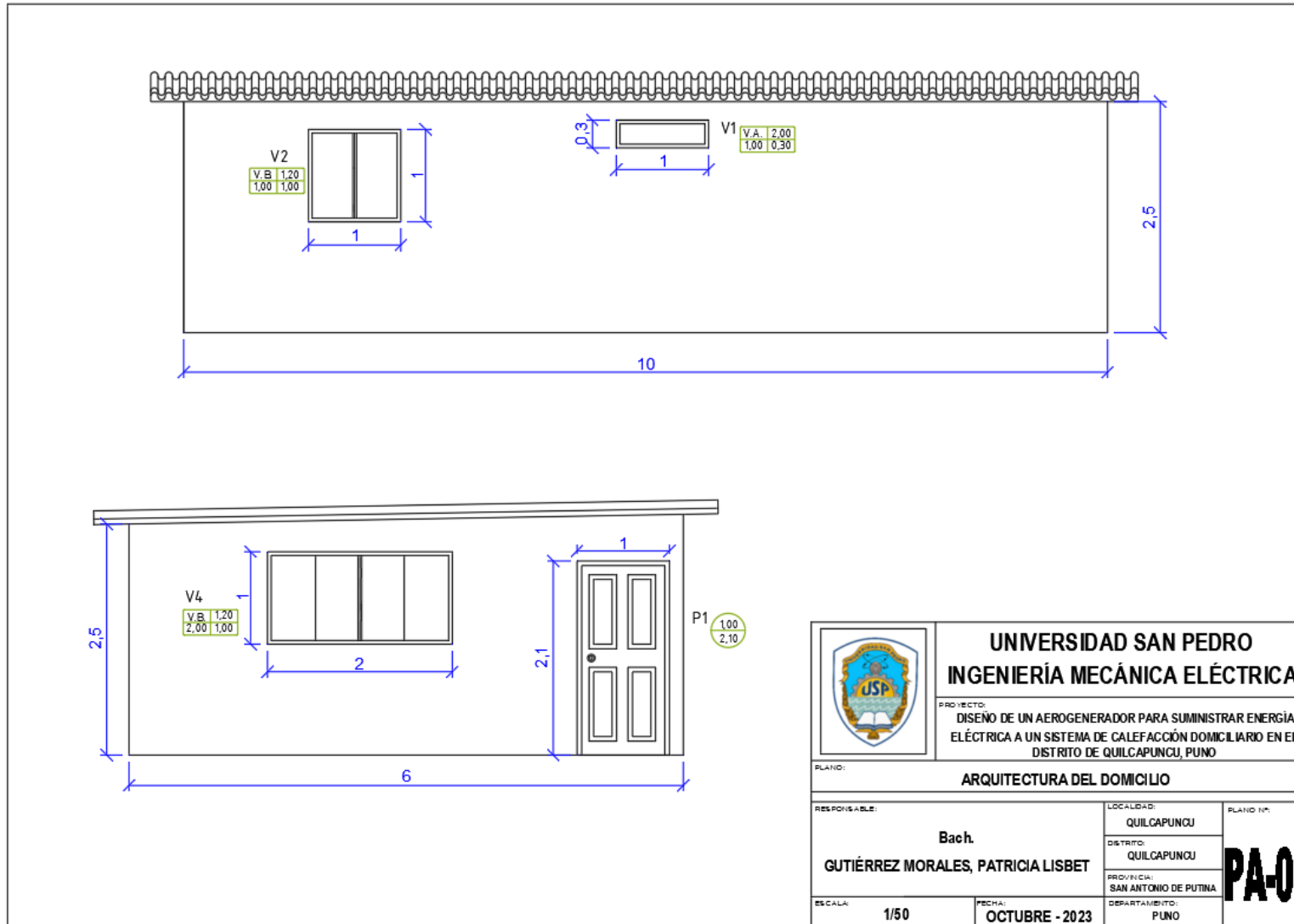
Anexo 5: Instrumento de medición usado



Anemómetro digital para emplear en mediciones
Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Plano de vivienda





Anexo 7: Cálculo valores de U para cerramientos

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LOS CERRAMIENTOS DEL RECINTO

Nombre de la tesis: Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliar en el distrito de Quilcapuncu, Puno.

Autor: Bachiller Gutiérrez Morales, Patricia Lisbet

Asesor: Dr. Alva Julca, Ruber Gregorio

Los coeficientes globales de transferencia de calor U ($W/m^2\text{°C}$) de cada cerramiento:

PAREDES 1 Y 2	CAPA	DESCRIPCION	Espesor de capa e (m)	Conductividad térmica k ($W/m^{\circ}C$)	Densidad ρ (kg/m^3)	Calor Específico Cp ($kJ/kg^{\circ}C$)	Resistencia térmica R ($m^2\text{°C}/W$)
	1	Resistencia superficial externa					0,0400
	2	Mortero Cemento - arena	0,01	0,40	2000,00	1,00	0,0250
	3	Ladrillo King Kong 18 huecos	0,13	0,47	1000,00	1,00	0,2766
	4	Mortero Cemento - arena	0,01	0,40	2000,00	1,00	0,0250
	5	Resistencia superficial interna					0,1300
RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{°C}/W$)							0,4966
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{°C}$)							2,01

PAREDES 3 Y 4	CAPA	DESCRIPCION	Espesor de capa e (m)	Conductividad térmica k ($W/m^{\circ}C$)	Densidad ρ (kg/m^3)	Calor Específico Cp ($kJ/kg^{\circ}C$)	Resistencia térmica R ($m^2\text{°C}/W$)
	1	Resistencia superficial externa					0,0400
	2	Mortero Cemento - arena	0,01	0,40	2000,00	1,00	0,0250
	3	Ladrillo King Kong 18 huecos	0,13	0,47	1000,00	1,00	0,2766
	4	Mortero Cemento - arena	0,01	0,40	2000,00	1,00	0,0250
	5	Resistencia superficial interna					0,1300
RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{°C}/W$)							0,4966
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{°C}$)							2,01

TECHO	CAPA	DESCRIPCION	Espesor de capa e (m)	Conductividad térmica k ($W/m^{\circ}C$)	Densidad ρ (kg/m^3)	Calor Específico Cp ($kJ/kg^{\circ}C$)	Resistencia térmica R ($m^2\text{°C}/W$)
	1	Resistencia superficial externa					0,0400
	2	Calamina metálica	0,001	115,00	1200,00	1,00	0,0000
	3	Plancha de fibrocemento	0,004	0,18	1135,00	1,512	0,0222
	4	Paja	0,02	0,09	1,60	1,00	0,2222
	5	Aire estanco					0,1800
	6	Soporte estructural	0,15	1,63			0,0920
	7	Plastico polietileno	0,002	0,33	930	1,9	0,0061
	8	Resistencia superficial interna					0,1000
RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{°C}/W$)							0,6625
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{°C}$)							1,51

PISO

Coficiente de pérdida de calor por metro de perímetro

Fp ($W/m^{\circ}C$)	0,85
---------------------------------------	-------------

Anexo 8: Cálculo valores de U para fenestraciones

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LAS FENESTRACIONES (PUERTAS, VENTANAS)

Nombre de la tesis: Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno.

Autor: Bachiller Gutiérrez Morales, Patricia Lisbet

Asesor: Dr. Alva Julca, Ruber Gregorio

Los coeficientes globales de transferencia de calor U ($W/m^2\text{°C}$) de cada fenestración, se presentan en las siguientes tablas:

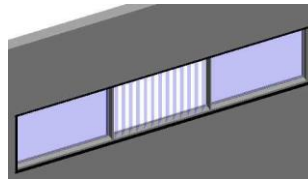
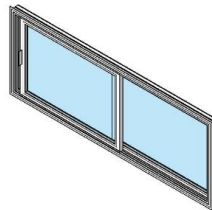
PUERTAS

Nº de puerta	DESCRIPCIÓN DE LA PUERTA	Número de puertas	U ($W/m^2\text{°C}$)
P1	Puerta batiente de madera con marco de madera (hoja maciza de madera, cualquier espesor).	1	3,50



VENTANAS

Nº de ventana	DESCRIPCIÓN DE LA VENTANA	Número de ventanas	U ($W/m^2\text{°C}$)
V1	Ventana alta con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor	1	3,12
V2	Ventana baja con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor	1	3,12
V3	Ventana baja con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor	1	3,12
V4	Ventana baja con vidrio doble y contraventana de madera de 2,5 cm de espesor	1	3,12



Anexo 9: Cálculo aporte por infiltración

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

CAUDAL DE RENOVACION DE AIRE O INFILTRACION DE AIRE EN EL RECINTO

Nombre de la tesis: Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliar en el distrito de Quilcapuncu, Puno.

Autor: Bachiller Gutiérrez Morales, Patricia Lisbet

Asesor: Dr. Alva Julca, Ruber Gregorio

El cauda de ventilación o infiltración se presentan en las siguientes tablas:

ÁREA EXPUESTA AL EXTERIOR

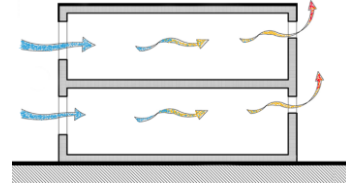
ÁREAS		
Pared 1	15,00	m ²
Pared 2	15,00	m ²
Pared 3	25,00	m ²
Pared 4	25,00	m ²
Techo	60,00	m ²
ÁREA (Aes)	140,00	m²

ÁREA UNITARIA DE INFILTRACIÓN

Aul	2,8	cm ² /m ²
-----	-----	---------------------------------

FUERZA DE INFILTRACIÓN IDF

MESES	T _{min} (°C)	IDF	V
Enero	3,78	0,06560	0,02572
Febrero	4,44	0,06500	0,02548
Marzo	3,75	0,06560	0,02572
Abril	1,03	0,06807	0,02668
Mayo	-1,29	0,07003	0,02745
Junio	-5,36	0,07329	0,02873
Julio	-5,77	0,07362	0,02886
Agosto	-4,27	0,07242	0,02839
Setiembre	-0,83	0,06966	0,02731
Octubre	0,56	0,06849	0,02685
Noviembre	1,44	0,06770	0,02654
Diciembre	3,19	0,06613	0,02592



Densidad del aire (kg/m ³)	0,772
--	-------

Calor específico (J/kgK)	1006
--------------------------	------

Anexo 10: Datos de velocidad de viento

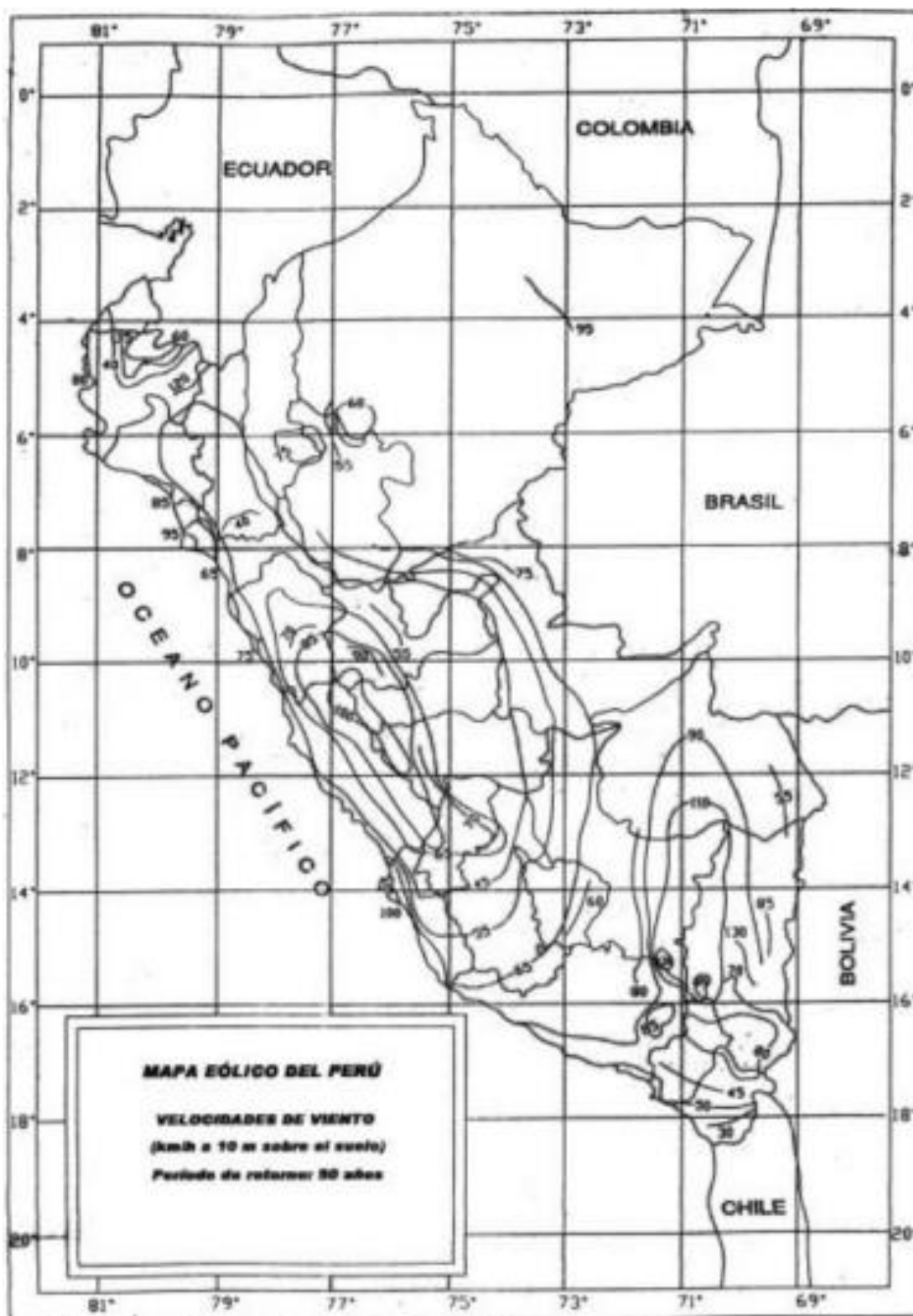
VARIACION DEL VIENTO HORARIA PARA CADA MES h=10 m

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0,00	3,55	3,64	3,63	3,46	3,39	3,79	3,90	3,94	3,82	3,59	3,45	3,46
1,00	3,41	3,46	3,50	3,33	3,34	3,74	3,89	3,85	3,70	3,52	3,28	3,32
2,00	3,27	3,27	3,32	3,20	3,28	3,65	3,86	3,76	3,57	3,38	3,14	3,19
3,00	3,12	3,12	3,15	3,12	3,21	3,55	3,80	3,67	3,45	3,18	2,98	3,08
4,00	2,98	2,99	3,02	3,05	3,11	3,47	3,76	3,61	3,37	3,01	2,85	2,95
5,00	2,86	2,86	2,94	3,01	3,08	3,48	3,74	3,61	3,35	2,93	2,77	2,82
6,00	2,67	2,66	2,69	2,87	3,06	3,47	3,67	3,54	3,17	2,72	2,51	2,63
7,00	2,72	2,68	2,51	2,41	2,51	2,89	3,13	2,99	2,87	2,62	2,49	2,68
8,00	2,86	2,80	2,60	2,44	2,46	2,69	3,05	2,96	2,85	2,77	2,62	2,82
9,00	3,00	2,91	2,71	2,55	2,72	2,95	3,32	3,12	2,94	2,91	2,77	2,98
10,00	3,11	3,02	2,83	2,65	2,95	3,16	3,56	3,30	3,10	3,05	3,00	3,17
11,00	3,26	3,19	3,01	2,76	3,17	3,35	3,76	3,51	3,31	3,26	3,26	3,41
12,00	3,48	3,41	3,25	2,92	3,36	3,54	3,95	3,74	3,54	3,51	3,58	3,71
13,00	3,75	3,69	3,54	3,12	3,51	3,72	4,12	3,97	3,76	3,78	3,96	4,01
14,00	4,04	4,02	3,85	3,36	3,59	3,86	4,23	4,15	3,96	4,06	4,37	4,26
15,00	4,31	4,36	4,17	3,66	3,63	3,91	4,25	4,27	4,15	4,35	4,75	4,47
16,00	4,51	4,63	4,46	4,05	3,76	4,05	4,26	4,44	4,47	4,67	5,09	4,64
17,00	4,59	4,70	4,65	4,61	4,41	4,77	4,85	5,10	5,00	5,00	5,31	4,70
18,00	4,49	4,56	4,67	4,78	4,61	5,10	5,21	5,48	5,20	5,01	5,12	4,55
19,00	4,25	4,30	4,48	4,47	4,27	4,89	5,05	5,20	4,79	4,51	4,50	4,24
20,00	4,04	4,08	4,26	4,07	3,80	4,48	4,66	4,76	4,38	4,05	4,02	4,00
21,00	3,89	3,95	4,06	3,78	3,53	4,12	4,29	4,41	4,13	3,80	3,80	3,81
22,00	3,78	3,86	3,91	3,64	3,43	3,91	4,05	4,20	3,99	3,66	3,67	3,68
23,00	3,68	3,76	3,78	3,56	3,40	3,84	3,94	4,07	3,88	3,63	3,58	3,58
PROMEDIO	3,57	3,58	3,54	3,37	3,40	3,77	4,01	3,99	3,78	3,62	3,62	3,59


VARIACION DEL VIENTO HORARIA PARA CADA MES h=18 m

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0,00	3,99	4,09	4,09	3,89	3,81	4,26	4,39	4,44	4,29	4,03	3,87	3,89
1,00	3,83	3,90	3,93	3,75	3,76	4,21	4,38	4,33	4,16	3,96	3,69	3,73
2,00	3,67	3,68	3,73	3,60	3,69	4,11	4,34	4,23	4,01	3,80	3,53	3,59
3,00	3,51	3,51	3,54	3,51	3,61	3,99	4,28	4,13	3,88	3,58	3,35	3,47
4,00	3,35	3,37	3,40	3,43	3,50	3,91	4,22	4,06	3,79	3,39	3,21	3,32
5,00	3,21	3,21	3,30	3,39	3,47	3,91	4,20	4,07	3,77	3,30	3,11	3,17
6,00	3,00	2,99	3,03	3,23	3,45	3,90	4,13	3,99	3,57	3,05	2,83	2,96
7,00	3,06	3,01	2,82	2,71	2,82	3,25	3,53	3,36	3,23	2,95	2,80	3,02
8,00	3,22	3,15	2,92	2,74	2,77	3,02	3,44	3,33	3,20	3,12	2,94	3,17
9,00	3,37	3,27	3,04	2,86	3,06	3,32	3,73	3,51	3,30	3,27	3,11	3,35
10,00	3,50	3,40	3,19	2,98	3,32	3,55	4,00	3,71	3,48	3,44	3,37	3,57
11,00	3,67	3,59	3,38	3,11	3,57	3,77	4,23	3,94	3,72	3,67	3,67	3,83
12,00	3,92	3,84	3,65	3,28	3,78	3,98	4,44	4,21	3,98	3,94	4,03	4,17
13,00	4,22	4,15	3,98	3,51	3,95	4,19	4,64	4,47	4,23	4,25	4,46	4,51
14,00	4,54	4,52	4,33	3,78	4,04	4,34	4,76	4,67	4,45	4,56	4,91	4,79
15,00	4,84	4,90	4,69	4,11	4,08	4,40	4,78	4,80	4,67	4,89	5,34	5,03
16,00	5,07	5,21	5,02	4,55	4,23	4,55	4,80	5,00	5,02	5,26	5,72	5,22
17,00	5,16	5,28	5,23	5,18	4,96	5,37	5,45	5,73	5,63	5,63	5,97	5,28
18,00	5,06	5,13	5,26	5,37	5,18	5,74	5,86	6,16	5,85	5,63	5,76	5,11
19,00	4,78	4,83	5,04	5,03	4,80	5,50	5,68	5,85	5,39	5,07	5,06	4,77
20,00	4,54	4,59	4,79	4,58	4,28	5,04	5,25	5,36	4,93	4,56	4,52	4,49
21,00	4,37	4,44	4,57	4,25	3,96	4,64	4,82	4,96	4,64	4,27	4,28	4,29
22,00	4,25	4,35	4,40	4,10	3,86	4,40	4,55	4,72	4,49	4,12	4,12	4,14
23,00	4,14	4,22	4,25	4,00	3,83	4,31	4,43	4,58	4,37	4,09	4,03	4,03
PROMEDIO	4,01	4,03	3,98	3,79	3,82	4,23	4,51	4,48	4,25	4,08	4,07	4,04

Anexo 11: Mapa de isotacas del Perú



Anexo 12: Ficha técnica aerogenerador ENAIR E200L



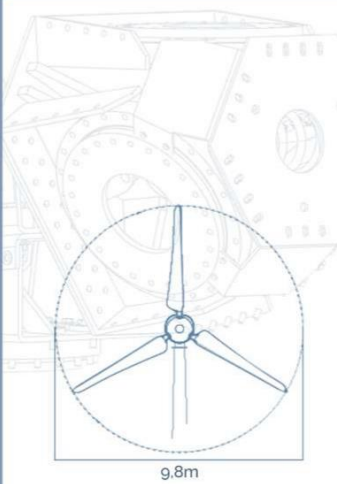
E200L

FICHA TÉCNICA

Nuestra tecnología patentada es una inteligente adaptación de los principales sistemas que tiene la gran eólica adaptada a potencias de 10 a 60kW. Alta seguridad, máximo control y eficiencia

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

GENERADOR	Potencia	20kW
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Potencia nominal	10kW - IEC 61400, limitada por software
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
ROTOR	Orientación	Orientación aerodinámica
	Diámetro	9.8m
	Área de barrido	75.4m ²
	Longitud de pala	4.5m
	Material de pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Tipo de control	Paso variable activo, regul. electrónica y freno
	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno electromecánico de seguridad
CONTROL DE LA TURBINA	Control electrónico de:	- Velocidad de viento - Temperatura (opc.) - Voltaje - Fallos en la red - Fallo de sensores
	Sistema electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
INVERSORES	Software	Software personalizado. Pantalla datos (opc.)
	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V



9,8m



1000kg 120rpm



4,5m
2,3m



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es



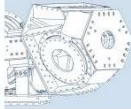
E200L Wind Turbine FICHA TÉCNICA

LA TECNOLOGÍA DE LA GRAN EÓLICA ADAPTADA EN LA PEQUEÑA EÓLICA

Vida útil de 25 años!!

CLASS I WIND TURBINE IEC 61400-2/NVI-A

CONTROL DE PASO VARIABLE ACTIVO



Tecnología patentada

Características:

- Robusto
- Alta resistencia
- Control de paso variable de ángulo completo
- Muelle pasivo de seguridad ante cualquier fallo en el sistema
- Accionamiento hidráulico

Tecnología escalable de 5 a 100kW de potencia, puntos clave:

- Simple
- Muy Seguro y con control total

CONTROL ELECTRÓNICO



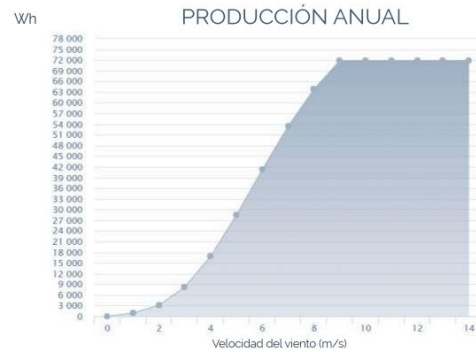
Funciones multiprograma:

Control total de:

- rpm - Nm
- Hz - V AC/DC
- m/s

Control sobre los parámetros de la turbina, lo que le permite decidir las mejores acciones para optimizar la producción y su seguridad.

El software permite implementar diferentes configuraciones en función de las condiciones de viento para así aumentar su eficiencia.



PASO VARIABLE ACTIVO Y PROTECCIÓN PASIVA

El sistema de paso variable activo permite que la posición de la pala varíe para cada velocidad del viento adaptándose al mismo para ganar eficiencia de producción. Las ventajas de la simplicidad mecánica y electrónica avanzada se combinan para hacer una unión perfecta y maximizar la producción de energía, siempre con un alto nivel de seguridad

LOS DISEÑOS AERODINÁMICOS Y CFD

Se ha hecho un estudio aerodinámico completo del aerogenerador, utilizando las últimas técnicas de dinámica de fluidos computacional. Contando con los mejores expertos en la tecnología CFD y el uso de grandes centros de procesamientos de cálculo para analizar las complejas condiciones que puede sufrir una turbina eólica

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

El completo sistema de control, permite monitorizar y gestionar más de 600 parámetros del aerogenerador, de forma que podemos personalizar el funcionamiento del aerogenerador a cada lugar en función de las condiciones de viento del mismo, para maximizar su producción de energía

** Este sistema es opcional y personalizable en varios niveles

*Las especificaciones técnicas descritas en este documento están sujetas a modificaciones/cambios sin previo aviso por parte del fabricante. **Las imágenes que aparecen en este documento no son contractuales

- Mínimo ruido**
El perfil aerodinámico de las palas está basado en la serie de perles FX, y su diseño es para maximizar la producción y minimizar el ruido.
- Máxima eficiencia**
El sistema de control permite extraer la potencia máxima disponible desde el inicio de la rotación y pueda adaptarse a cualquier entorno
- Anticorrosivo**
3 sistemas de seguridad, activos y pasivos: freno electromecánico activo, aerodinámico y muelle pasivo, que actúan en cualquier condición.
- Hermético**
Los materiales utilizados están fabricados con un tratamiento de tropicalización para instalar en islas, desiertos o ambientes agresivos.
- Robusto**
De acuerdo con la norma IEC 61400-2 el diseño del Aerogenerador está clasificado como Clase 1, con factores de seguridad en los componentes críticos de un Fs=9.



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es

Anexo 13: Ficha técnica inversor

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000 -3KTL-M0	SUN2000 -4KTL-M0	SUN2000 -5KTL-M0	SUN2000 -6KTL-M0	SUN2000 -8KTL-M0	SUN2000 -10KTL-M0
Eficiencia						
Eficiencia Máxima	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
Eficiencia europea	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
Entrada						
Entrada CC máxima recomendada	6,000 Wp	8,000 Wp	10,000 Wp	12,000 Wp	14,880 Wp	14,880 Wp
Máx. tensión de entrada ¹	1,100 V					
Rango de tensión de operación de MPPT ²	140 V ~ 980 V					
Tensión de entrada mínima	200 V					
Rango de tensión de potencia máxima de MPPT	140 V ~ 850 V	190 V ~ 850 V	240 V ~ 850 V	285 V ~ 850 V	380 V ~ 850 V	470 V ~ 850 V
Tensión nominal de entrada	600 V					
Máx. intensidad por MPPT	11 A					
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT	15 A					
Cantidad de MPPTs	2					
Máx. número de entradas por MPPT	1					
Salida						
Conexión a la red eléctrica	Trifásico					
Potencia nominal activa de CA	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Máx. potencia aparente de CA	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA ³
Tensión nominal de Salida	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz					
Máx. intensidad de salida	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo					
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %					
Características y protecciones						
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí					
Protección anti-isla	Sí					
Protección contra polaridad inversa CC	Sí					
Monitorización de aislamiento	Sí					
Protección contra descargas atmosféricas CC	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11					
Protección contra descargas atmosféricas CA	Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11					
Monitorización de la corriente residual	Sí					
Protección contra sobreintensidad de CA	Sí					
Protección contra cortocircuito de CA	Sí					
Protección contra sobretensión de CA	Sí					
Protección ante arco eléctrico	Sí					
Control de receptor ripple	Sí					
MBUS CC al optimizador	No					
Datos generales						
Rango de temperatura de operación	-25 ~ + 60 °C					
Humedad de operación relativa	0 %RH ~ 100 %RH					
Altitud de operación	0 - 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 3,000 m)					
Ventilación	Convección natural					
Pantalla	Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar					
Comunicación	RS485; WLAN / Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)					
Peso (incluido soporte de montaje)	17 kg					
Dimensiones (incluido soporte de montaje)	525 x 470 x 166 mm					
Grado de protección	IP65					
Consumo de energía durante la noche	< 5.5 W					
Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)						
Seguridad	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2					
Estándares de conexión a red eléctrica	G98, G99, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116, DEW					

¹ La tensión de entrada máxima es el límite superior de tensión en CC. Cualquier tensión de CC a la entrada más alto probablemente dañaría el inversor.
² Cualquier voltaje de entrada de CC más allá del rango de voltaje de funcionamiento puede provocar un funcionamiento incorrecto del inversor.
³ C10 / 11: 10,000 VA

Version No.:03-(20200622)

SOLAR.HUAWEI.COM/ES/

Anexo 14: Ficha técnica caldera eléctrica

Datos técnicos	MAS-15
Peso Kg	32
Medidas mm	265x760x350
Resistencias blindadas en acero inoxidable INCOLOY800	✓
Vaso de expansión calefacción 6l	✓
Regulación electrónica modulable de la calefacción	✓
Display digital	✓
Hidrómetro 0-4 bar	✓
Bomba aceleradora	✓
Purgador automático	✓
Conmutadores de potencia silenciosos TRIACS	✓
Kit suelo Radiante	opcional



Conexión 3x400V+N	✓
Intensidad nominal máxima 18Kw	-
Intensidad nominal máxima 15Kw	21,7
Intensidad nominal máxima 13Kw	21,7
Intensidad nominal máxima 12Kw	21,7
Intensidad nominal máxima 11Kw	21,7
Intensidad nominal máxima 10Kw	21,7
Intensidad nomina máxima 9Kw	13
Intensidad nominal máxima 8Kw	13
Intensidad nominal máxima 8Kw	13
Intensidad nominal máxima 7Kw	13
Intensidad nominal máxima 6Kw	8,7
Intensidad nominal máxima 5Kw	13
Intensidad nominal máxima 4Kw	8,7
Intensidad nominal máxima 3Kw	13

Anexo 15: Ficha técnica radiador



		Tres columnas			
		45-3	60-3	75-3	90-3
Presión máx. de trabajo	bar	5	5	5	5
Temperatura máx. trabajo	°C	110	110	110	110
Cotas	Alto (A)	mm 450	600	750	900
	Entrecentros (B)	mm 350	500	650	800
	Ancho (C)	mm 50	50	50	50
Peso	kg	1,5	2	2,5	2,9
Capacidad de agua	l	1,04	1,26	1,47	1,69
Potencia por elemento (1)	$\Delta T = 40^\circ$	W 42,9	55,3	68,2	81,7
	$\Delta T = 50^\circ$	W 57,1	74	91,4	109,9
Exponente "n" curva característica (1)		1,28	1,3	1,31	1,33
Suministro baterías		2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20			

Anexo 16: Presupuesto detallado del sistema

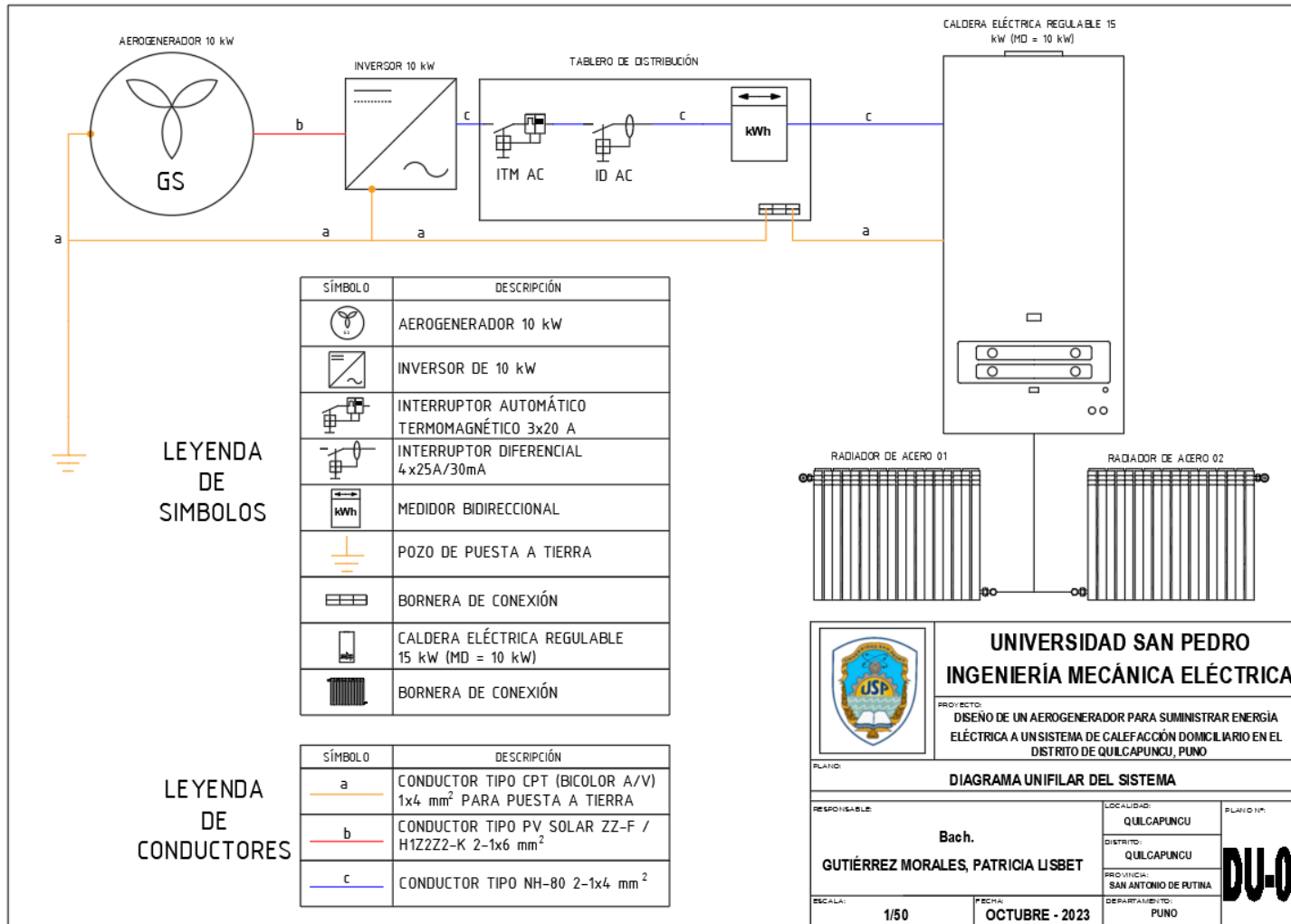
I. SUMINISTRO DE MATERIALES

	Unidad	Cantidad	P. Unitario	S/ Subtotal
01.00.00 SISTEMA DE CALEFACCIÓN				
01.01.00 CALDERA ELÉCTRICA SOLO CALEFACCIÓN REGULABLE 15 kW	Und.	1,00	4528,43	4528,43
01.02.00 ELEMENTO RADIAADOR DE PLANCHA DE ACERO	Und.	2,00	366,00	732,00
02.00.00 SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICO				
02.01.00 AEROGENERADOR ENAIR E200L 10 kW	Und.	1,00	49531,20	49531,20
02.02.00 INVERSOR DE CONEXIÓN A RED DE 10 kW HUAWEI SUN2000-10KTL-M0	Und.	1,00	14069,23	14069,23
03.00.00 EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA				
03.05.00 INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 3 POLOS 20 A/ 440 VAC/ 10 kA	Und.	1,00	234,25	234,25
03.06.00 INTERRUPTOR DIFERENCIAL 4x25A 30mA 230/400V AC	Und.	1,00	205,04	205,04
03.07.00 VATÍMETRO SMART HUA WEI DDSU666-H	Und.	1,00	787,44	787,44
04.00.00 ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y ACCESORIOS				
04.01.00 TORRE DE CELOSIA 18 m ADAPATADA PARA AEROGENERADOR	Und.	1,00	29376,00	29376,00
05.00.00 CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE				
05.01.00 CABLE UNIFILAR PV SOLAR ZZ-F / H1ZZZ2-K 6 mm2 Ø DE 1,5KV ROJO	m	10,00	9,89	98,90
05.02.00 CABLE UNIFILAR PV SOLAR ZZ-F / H1ZZZ2-K 6 mm2 Ø DE 1,5KV NEGRO	m	10,00	9,89	98,90
05.03.00 CABLE UNIFILAR NH-80 4 mm2 Ø 450 / 750 V COLOR NEGRO INDECO O SIMILAR	m	8,00	2,94	23,52
05.04.00 CABLE UNIFILAR NH-80 4 mm2 Ø 450 / 750 V COLOR BLANCO INDECO O SIMILAR	m	8,00	2,94	23,52
06.00.00 TABLERO DE DISTRIBUCIÓN				
06.01.00 TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	Und.	1,00	600,00	600,00
07.00.00 CONEXIÓN Y ACCESORIOS				
07.01.00 MATERIALES PARA CONEXIONES Y ACCESORIOS	Glob.	1,00	1000,00	1000,00
08.00.00 POZO DE PUESTA A TIERRA				
08.01.00 MATERIALES PARA POZO DE PUESTA A TIERRA	Glob.	1,00	1000,00	1000,00
TOTAL S/				102308,43

II. MONTAJE ELECTROMECHANICO

	Unidad	Cantidad	P. Unitario	S/ Subtotal
01.00.00 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN				
01.01.00 INSTALACIÓN DE CALDERA ELÉCTRICA SOLO CALEFACCIÓN REGULABLE 15 kW	Glob.	1,00	400,00	400,00
01.02.00 INSTALACIÓN DE ELEMENTOS RADIAADORES DE PLANCHA DE ACERO	Glob.	2,00	50,00	100,00
02.00.00 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y AEROGENERADOR				
02.01.00 HACER EL AGUJERO DE LA CIMENTACIÓN	Glob.	1,00	8825,04	8825,04
02.02.00 COLOCAR EL PRIMER TRAMO DE TORRE				
02.03.00 DEJAR FRAGUAR LA CIMENTACIÓN				
02.04.00 MONTAR LA TORRE SOBRE EL TRAMO UNO				
02.05.00 MONTAR LAS PALAS SOBRE SU ESTRUCTURA DE EMBALAJE				
02.06.00 ELEVAR EL AEROGENERADOR Y ATORNILLAR A LA TORRE				
02.07.00 INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
03.00.00 INSTALACIÓN DE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN CON EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA				
03.01.00 MONTAJE DEL TABLERO INCLUYE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA	Glob.	1,00	500,00	500,00
04.00.00 CABLEADO Y CONEXIONADO				
04.01.00 HABILITACIÓN DE NUEVO CIRCUITO DE CONEXIÓN DESDE AEROGENERADOR HASTA HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN Y CARGA	Glob.	1,00	500,00	500,00
05.00.00 CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PUESTA A TIERRA				
05.01.00 CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PUESTA A TIERRA QUE INCLUYE MEDICIÓN DE RESISTENCIA Y ELABORACIÓN DE PROTOCOLO DE MEDICION	Glob.	1,00	1500,00	1500,00
06.00.00 PRUEBAS ELÉCTRICAS				
06.01.00 PRUEBA DE PUESTA EN SERVICIO	Glob.	1,00	400,00	400,00
TOTAL S/				12225,04

Anexo 17: Diagrama unifilar del sistema



FORMATO DE PUBLICACION EN REPOSITORIO



REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Información del Autor			
GUTIERREZ MORALES PATRICIA LISBET	71420653	patricia-gutierrez-21@uhsopk.com	
Apellidos y Nombres		DNI	Correo Electrónico
2. Tipo de Documento de Investigación			
<input checked="" type="checkbox"/> Tesis	<input type="checkbox"/> Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/> Trabajo Académico	<input type="checkbox"/> Trabajo de Investigación
3. Grado Académico o Título Profesional			
<input type="checkbox"/> Bachiller	<input checked="" type="checkbox"/> Título Profesional	<input type="checkbox"/> Título Segunda Especialidad	<input type="checkbox"/> Maestría <input type="checkbox"/> Doctorado
4. Título del Documento de Investigación			
"DISEÑO DE UN AEROGENERADOR PARA SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN DOMICILIARIO EN EL DISTRITO DE QUILCAPUNCU, PUNO"			
5. Programa Académico			
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
6. Tipo de Acceso al Documento			
<input type="checkbox"/> Acceso a Público * (info@repositorio.usp.edu.pe/acceso)		<input checked="" type="checkbox"/> Acceso restringido * (info@repositorio.usp.edu.pe/acceso/?)	
(*) En caso de restringido sustente motivo			
PORQUE NO DESEARA QUE MI TESIS SEA PLAGIADA y/o IMITADA			

A. Originalidad del Archivo Digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador y forme parte del proceso que conduce a obtener el grado académico o título profesional.

B. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS¹

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, el cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.²

Huella Digital





Firma

Localidad	Día	Mes	Año
Chimbote	04	05	24

Reporte:

1. Según Resolución de Consejo Ejecutivo N°200-003-14-0001-00, Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, Art. 2.º inciso a) y Ley N° 28800 que crea el Repositorio Institucional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y D.S. 005-2015-PCM.

2. El autor otorga el tipo de acceso abierto o público o restringido a la Universidad San Pedro una licencia no exclusiva, para que se pueda tener acceso de forma libre y gratuita en el Repositorio Institucional Digital. Asimismo otorga los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 8227.

3. En caso de que el autor otorga la autorización únicamente en su condición de autor y autoriza de la obra de acuerdo a la Ley N° 28800, CONCYTEC, ODS, Normativa 22 y 67 que rige el funcionamiento del Repositorio Institucional Digital.

4. Las licencias Creative Commons (CC) es una organización sin fines de lucro que promueve la creación de licencias de acceso abierto y de herramientas tecnológicas que facilitan la difusión de información, recursos educativos, obras artísticas y científicas, entre otros. Estas licencias están garantizadas que el autor otorga el acceso por su obra.

5. Según el inciso 6.º del artículo 9º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales (RNTI) las universidades, instituciones y unidades de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los relacionados en sus repositorios institucionales, y en caso de no tener acceso abierto o restringido, los cuales se podrán consultar en el Repositorio Digital (RDI) a través del Repositorio Institucional.

Nota: En caso de haberse emitido este documento se procederá de acuerdo a Ley 28800, art. 42, inciso 3º 2.º

UNIVERSIDAD SAN PEDRO | Repositorio Institucional Digital

REPORTE DE SIMILITUD

Diseño de un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a un sistema de calefacción domiciliario en el distrito de Quilcapuncu, Puno

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	fastercapital.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
7	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%

9	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	1 %
11	www.redalyc.org Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1 %
14	Submitted to Centro Europeo de Postgrado - CEUPE Trabajo del estudiante	<1 %
15	rinfi.fi.mdp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	m.repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to UTEC Universidad de Ingenieria & Tecnologia Trabajo del estudiante	<1 %

20	Submitted to Universidad de Valladolid Trabajo del estudiante	<1 %
21	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
23	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
25	www.segurosyfinanzashoy.com Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
27	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
28	ddd.uab.cat Fuente de Internet	<1 %
29	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid - EUR Trabajo del estudiante	<1 %

31	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
32	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to ULACIT Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to Ana G. Méndez University Trabajo del estudiante	<1 %
35	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
36	journal.secyt.unpa.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
37	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
38	termica.uc3m.es Fuente de Internet	<1 %
39	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Trabajo del estudiante	<1 %
41	Submitted to Universidad Tecnológica Indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %

42	anes.org.mx Fuente de Internet	<1 %
43	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
44	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
45	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
46	amexen.org Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	www.homoeopathie-heilpraktik.ch Fuente de Internet	<1 %
49	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
50	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	www.upv.es Fuente de Internet	<1 %
52	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %

53	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
54	biblos.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1 %
55	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
57	Submitted to Universidad Senor de Sipan Trabajo del estudiante	<1 %
58	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
59	www.ifpri.org Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
61	Submitted to indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %
62	jalayo.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
63	Submitted to upb Trabajo del estudiante	<1 %
64	www.slideshare.net	

Fuente de Internet

<1 %

65 de.slideshare.net
Fuente de Internet

<1 %

66 lists.its.uni-kassel.de
Fuente de Internet

<1 %

67 moam.info
Fuente de Internet

<1 %

68 repositorio.unac.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

69 repositorio.unica.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

70 repositorio.utc.edu.ec
Fuente de Internet

<1 %

71 Submitted to Universidad Católica de Santa
María
Trabajo del estudiante

<1 %

72 buleria.unileon.es
Fuente de Internet

<1 %

73 docplayer.com.br
Fuente de Internet

<1 %

74 dspace.esPOCH.edu.ec
Fuente de Internet

<1 %

75 eprints.bice.rm.cnr.it
Fuente de Internet

		<1 %
76	es.fttechnologies.com Fuente de Internet	<1 %
77	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
78	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
79	repositori.uji.es Fuente de Internet	<1 %
80	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
81	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
82	www.elchenque.com.ar Fuente de Internet	<1 %
83	www.eudel.eus Fuente de Internet	<1 %
84	www.mysciencework.com Fuente de Internet	<1 %
85	www.siamazonia.org.pe Fuente de Internet	<1 %
86	arthur.robbyworld.com Fuente de Internet	<1 %

87	cloudflare-ipfs.com Fuente de Internet	<1 %
88	cne.presidencia.gov.co Fuente de Internet	<1 %
89	cybertesis.uach.cl Fuente de Internet	<1 %
90	informe2018.gruponutresa.com Fuente de Internet	<1 %
91	projects.ciemat.es Fuente de Internet	<1 %
92	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
93	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
94	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
95	reunir.unir.net Fuente de Internet	<1 %
96	riull.ull.es Fuente de Internet	<1 %
97	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
98	www.citrautalca.cl Fuente de Internet	<1 %

99	www.icstax.com Fuente de Internet	<1 %
100	www.ifla.org Fuente de Internet	<1 %
101	www.panabolsa.com Fuente de Internet	<1 %
102	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
103	www.senacyt.gob.pa Fuente de Internet	<1 %
104	convencion.uclv.cu Fuente de Internet	<1 %
105	datospdf.com Fuente de Internet	<1 %
106	dentsply-detrey.com Fuente de Internet	<1 %
107	eduteka.org Fuente de Internet	<1 %
108	es.unionpedia.org Fuente de Internet	<1 %
109	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
110	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

111	repositorio.ulima.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
112	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
113	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
114	repository.eafit.edu.co Fuente de Internet	<1 %
115	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
116	sourceforge.net Fuente de Internet	<1 %
117	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %
118	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %
119	www.manutencionyalmacenaje.com Fuente de Internet	<1 %
120	zagan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
121	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
122	ideas.repec.org Fuente de Internet	<1 %

123 publicaciones.usanpedro.edu.pe
Fuente de Internet

<1%

124 repository.its.ac.id
Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 6 words

Excluir bibliografía

Activo