



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**



**“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO AISLADO  
DE EJE VERTICAL PARA UNA VIVIENDA EN LA ISLA DE LOS UROS,  
PUNO”**

**Bach. Liceli Rocio Condori Quispe**

**Bach. Sofia Irene Quenta Mamani**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor: Mg. Armando Antonio Salinas Del Carpio**



**JULIACA - PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**



**“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO AISLADO  
DE EJE VERTICAL PARA UNA VIVIENDA EN LA ISLA DE LOS UROS,  
PUNO”**

**Bach. Liceli Rocio Condori Quispe**

**Bach. Sofia Irene Quenta Mamani**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor: Mg. Armando Antonio Salinas Del Carpio**



**JULIACA - PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**



**“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO AISLADO  
DE EJE VERTICAL PARA UNA VIVIENDA EN LA ISLA DE LOS UROS,  
PUNO”**

Bach. Liceli Rocio Condori Quispe

Bach. Sofia Irene Quenta Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS  
RENOVABLES**

**Asesor:**

Mg. Armando Antonio Salinas Del Carpio

**Juliaca, 2025**

## FICHA CATALOGRAFICA

Condori, L. R. y Quenta, S. I.(2025). Estudio e implementación de un sistema eólico aislado de eje vertical para una vivienda en la isla de los uros, puno.  
(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

**AUTOR:** Liceli Rocio Condori Quispe Y Sofia Irene Quenta Mamani

**TITULO:** Estudio e implementación de un sistema eólico aislado de eje vertical para una vivienda en la isla de los uros, Puno.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2025

**DESCRIPCION:** cantidad de páginas (148pp.)

**NOTA:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca

**CODIGO:** 02-000044-02/C76

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** Mg. Armando Antonio Salinas Del Carpio

**PALABRAS CLAVES:** Aerogenerador savonius, factor de planta, recurso eólico, TIR y VAN.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS**  
**RENOVABLES**

**“ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EOLICO AISLADO  
DE EJE VERTICAL PARA UNA VIVIENDA EN LA ISLA DE LOS UROS,  
PUNO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Presentada por:**

**Liceli Rocio Condori Quispe**

**Sofia Irene Quenta Mamani**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Dra. Vilma Sarmiento Mamani

**PRESIDENTE DE JURADO**

  
**PRESIDENTE**

Dr. Washington Miguel Soncco Vilcapaza

**JURADO (secretario)**

  
**2° MIEMBRO**

Dr. Uriel Quispe Mamani

**JURADO (Vocal)**

  
**3° MIEMBRO**

  
**Mg. Armando Antonio Salinas del Carpio**  
**ASESOR DE TESIS**

# Liceli Rocio Condori Quispe Sofia Irene Quenta Ma...

## ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO AISLADO DE EJE VERTICAL PARA UNA VIVIENDA EN LA IS...

 Universidad Nacional de Juliaca

### Detalles del documento

**Identificador de la entrega****trn:oid:::3117:539446799****Fecha de entrega****11 dic 2025, 10:36 a.m. GMT-5****Fecha de descarga****11 dic 2025, 10:59 a.m. GMT-5****Nombre del archivo****BORRADOS DE TESIS\_ESTUDIO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEAMA EOLICO AISLADO UROS SOF....pdf****Tamaño del archivo****2.5 MB****148 páginas****22.832 palabras****133.387 caracteres**




# 10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

  
ARMANDO ANTONIO SALINAS DEL CARPIO  
MECÁNICO ELECTRICISTA  
Registro CIP. 112774

## **DEDICATORIA**

Dedico a mi madre, Gloria, cuya fortaleza, entrega y apoyo incondicional han sido pilares fundamentales en mi formación personal y académica. Su ejemplo, valores y orientación constante han influido significativamente en el logro de esta meta profesional.

Extiendo esta dedicatoria a mis hermanos, René, Yenny, Carina, Milagros y Lucero, por su acompañamiento, estímulo permanente y confianza depositada en mí a lo largo de este proceso.

Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, han aportado a mi formación profesional y al fortalecimiento de mi desarrollo académico, contribuyendo así al logro de los objetivos de este trabajo de investigación.

***Liceli Rocio Condori Quispe***

Dedico esta tesis, en primer lugar a Dios por haberme concedido la sabiduría y perseverancia, a mí por el gran dedicación y esfuerzo constante para poder llegar a acabo a toda mis metas y objetivos de culminar el presente logro.

A mis padres, Valerio Quenta y Juana Mamani, por su dedicación, guía y constante motivación y a mis hermanos, Lidia y Leonardo, por su gran apoyo incondicional y aliento continuo en cada etapa de mi vida académica.

Dedico esta tesis a mis mejores amigas y amigos que siempre estuvieron ahí apoyándome, para seguir adelante con mis estudios y nunca rendirme.

***Sofia Irene Quenta Mamani***

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradecer a Dios quien ha trazado mi camino y me ha guiado por el sendero correcto, quien me acompaña constantemente para aprender de mis fallos.

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ), mi alma mater, por haberme brindado el espacio académico donde pude desarrollarme como un profesional competente. Extiendo este agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables y a todos los docentes que, a lo largo de mi formación, compartieron generosamente sus conocimientos y me alentaron a continuar creciendo en el campo de las energías renovables. También quiero reconocer de manera especial al M.Sc. Armando Antonio Salinas del Carpio, mi asesor, por su constante apoyo, dedicación, orientación y paciencia durante todo el proceso de elaboración de esta investigación, guiándome con claridad y compromiso en cada etapa.

Del mismo modo, reconozco con profundo agradecimiento el constante respaldo de mi familia y amistades, quienes me ofrecieron su aliento, comprensión y compañía en los momentos más difíciles de este camino.

***Liceli Rocio Condori Quispe***

A mis padres Valerio Julio Quenta Mamani y Juana Francisca Mamani Cayllahua, por ser los principales motores de mis estudios en la etapa universitaria por cada día confiar, creer en mí y siempre apoyándome para poder lograr mi objetivo de titulación, por su gran esfuerzo que hicieron en mí que siempre me motivaron para poder cumplir todos mis metas de ser un profesional. A mi Asesor Armando Antonio Salinas del Carpio, por apoyarme en este proceso de culminación de mi proyecto de investigación de tesis, por dedicarme su tiempo para poder culminar y que siempre nos motivó para poder lograr la meta que nos propusimos.

Finalmente agradezco a la Universidad Nacional de Juliaca por permitirme ser parte de la familia, desde el inicio de mis estudios para poder ser un gran profesional, a la carrera profesional de Ingeniería en Energías Renovables.

***Sofia Irene Quenta Mamani***

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADCIMIENTO .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE GENERAL.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>14</b>
<b>ASBTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>16</b>
<b>I. CAPITULO.....</b>	<b>17</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.1. Descripción del problema .....	17
1.1.1. Problema general .....	18
1.1.2. Problemas específicos.....	19
1.2. Objetivos de la investigación.....	19
1.2.1. Objetivo general.....	19
1.2.2. Objetivos específicos .....	19
1.3. Justificación de la investigación .....	20
1.3.1. Justificación Técnica.....	20
1.3.2. Justificación ambiental.....	20
1.3.3. Justificación social .....	21
1.3.4. Justificación económica .....	21
<b>II. CAPITULO.....</b>	<b>22</b>
<b>REVISION DE LA LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes.....	22

2.2.	Bases teóricas de la investigación.....	24
2.2.1.	Historia.....	24
2.3.	Marco conceptual.....	25
2.3.1.	Distribución y potencial del recurso eólico en el Perú .....	26
2.3.2.	Recurso eólico y su evaluación.....	28
2.4.	Aerogeneradores de eje vertical (VAWT).....	32
2.4.1.	Tipos de aerogeneradores de eje vertical .....	33
2.4.2.	Turbina Savonius .....	35
2.5.	Sistemas eólicos aislados .....	36
2.5.1.	Componentes de un sistema eólico aislado.....	37
2.5.2.	Dimensionamiento para sistemas eólicos aislados .....	38
2.5.3.	Viabilidad económica de sistemas eólicos.....	39
2.5.4.	El valor presente neto (VAN) .....	40
2.5.5.	La tasa interna de retorno (TIR).....	41
2.5.6.	Plazo de recuperación (Playback).....	41
<b>III.</b>	<b>CAPITULO.....</b>	<b>42</b>
	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1.	Hipótesis general .....	42
3.2.	Hipótesis específicas.....	42
3.3.	Tipo, nivel y diseño de investigación .....	42
3.3.1.	Tipo de investigación .....	42
3.3.2.	Nivel de investigación.....	42
3.3.3.	Diseño de investigación .....	43
3.4.	Población y muestra.....	43
3.4.1.	Población.....	43
3.4.2.	Muestra .....	43
3.4.3.	Recursos humanos .....	44
3.5.	Localización.....	44
3.5.1.	Ubicación Geográfica: .....	45
3.5.2.	Recursos Materiales y/o Equipos.....	45
3.5.3.	Procedimiento técnico para la implementación del sistema eólico. ....	54

3.5.4.	Descripción funcional del Cerbo GX aplicado al monitoreo del sistema....	59
3.5.5.	Obtención de datos meteorológicos complementarios (SENAMHI).....	66
3.6.	Estimación del potencial energético del recurso eólico disponible en la Isla de los Uros para la resolución del primer objetivo.....	67
3.6.1.	Recolección de datos meteorológicos y eléctricos.....	67
3.6.2.	Cálculo de variables atmosféricas.....	67
3.6.3.	Análisis la velocidad del viento .....	69
3.6.4.	Análisis estadístico del recurso eólico (Weibull – Rosa de vientos) .....	70
3.6.5.	Determinación de la demanda eléctrica a nivel de una vivienda .....	71
3.7.	Determinación del factor de rendimiento de un aerogenerador para la resolución del segundo objetivo .....	74
3.7.1.	Cálculo de la energía generada .....	74
3.8.	Determinación de la viabilidad económica del aerogenerador para la resolución del tercer objetivo .....	78
3.8.1.	Costo de la energía de la isla urus.....	78
3.8.2.	Costo de operación y mantenimiento.....	78
3.8.3.	Cálculo de Energía anual .....	79
3.8.4.	Cálculo de Energía total generada durante la vida útil del sistema .....	79
3.9.	Análisis económico.....	80
3.9.1.	Costo del sistema eólico aislado de eje vertical.....	80
3.9.2.	Presupuesto del proyecto .....	80
3.9.3.	Evaluación económica del proyecto .....	81
3.9.4.	Valor actual neto (VAN).....	81
3.9.5.	Tasa interna del retorno (TIR) .....	82
3.9.6.	Periodo de recuperación de la inversión (PRS) .....	83
3.9.7.	Índice beneficio costo (B/C) .....	83
<b>IV.</b>	<b>CAPITULO.....</b>	<b>85</b>
	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>85</b>
4.1.	Resultado del recurso y potencial eólico en La isla de los Uros – Puno .....	85
4.1.1.	Resultado del cálculo de la temperatura del aire .....	85
4.1.2.	Resultado del cálculo de la presión atmosférica.....	87
4.1.3.	Densidad del aire en la Isla de los Uros – Puno.....	87

4.1.4. Velocidad del viento de Isla de los Uros – Puno .....	88
4.1.5. Variación de dirección del Viento .....	95
4.1.6. Dirección de Weibull del estudio.....	101
4.1.7. Potencial eólico generación de energía a nivel domiciliaria.....	102
4.1.8. Análisis Comparativo entre Generación y Demanda Energética.....	105
4.1.9. 1. Parámetros del sistema eólico.....	105
4.2. 3. Comparación entre generación y demanda.....	105
4.3. Factor de planta.....	106
4.3.1. Para calcular el factor de planta aplicamos la siguiente formula.....	106
4.3.2. Estimación de los gastos operativos y de mantenimiento.....	107
4.3.3. Calculando la energía anual .....	108
4.3.4. Cálculo de la producción energética total durante el periodo de funcionamiento .....	109
4.3.5. Resultado de costo total del sistema .....	109
4.3.6. Calculando la estimulación de carga.....	110
4.3.7. Resultados de ingresos y egresos del sistema eólico .....	112
4.4. Resultados de análisis económico .....	114
4.5. Discusiones .....	116
4.5.1. Discusión primer objetivo.....	116
4.5.2. Discusión del segundo Objetivo .....	116
4.5.3. Discusión de tercer Objetivo.....	117
<b>V. CAPITULO.....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
5.1. Conclusiones.....	118
5.2. Recomendaciones .....	119
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Resumen del potencial eólico por región.....	28
<b>Tabla 2:</b> Comparación del coeficiente de potencia según el tipo de turbina eólica .....	32
<b>Tabla 3:</b> Comparación del factor de planta entre aerogeneradores horizontales y verticales .....	39
<b>Tabla 4:</b> Especificaciones técnicas – Turbina FLTXNY 400W (Eje vertical tipo Savonius).....	46
<b>Tabla 5:</b> Descripción del Controlador MPPT Universal para Aerogenerador. ....	48
<b>Tabla 6:</b> Especificaciones técnicas del Victron Cerbo GX para monitoreo y gestión del sistema. ....	49
<b>Tabla 7:</b> Características técnicas del controlador Victron BlueSolar MPPT 75/15V. ....	50
<b>Tabla 8:</b> Especificaciones técnicas del inversor Victron Phoenix 12V 500VA.....	51
<b>Tabla 9:</b> Características técnicas de la batería Tenste Gel 100Ah 12V. ....	52
<b>Tabla 10:</b> Características del cable de comunicación VE.Direct – Victron. ....	53
<b>Tabla 11:</b> Cuadro de cargas.....	73
<b>Tabla 12:</b> Perdidas del sistema savonius.....	75
<b>Tabla 13:</b> Presupuesto del proyecto adaptación propia.....	81
<b>Tabla 14:</b> Datos promedio anuales.....	85
<b>Tabla 15:</b> Datos de velocidad del viento obtenidos del Cerbo Gx.....	92
<b>Tabla 16:</b> Promedio de los parámetros de C y K .....	101
<b>Tabla 17:</b> Datos de la ficha técnica de generador .....	103
<b>Tabla 18:</b> Comparación entre generación y demanda.....	105
<b>Tabla 19:</b> Datos estimados de los cálculos.....	106
<b>Tabla 20:</b> Estimación del cargo por kWh/año adaptación propia. ....	110
<b>Tabla 21:</b> Variables utilizadas en el cálculo de los indicadores económicos (formulación propia).....	111
<b>Tabla 22:</b> Datos ingresos e incrementos, adaptación propia. ....	111
<b>Tabla 23:</b> Muestra los ingresos y egresos adaptación propia.....	113

**Tabla 24:** Resultados de análisis económica adaptación propia. ....114

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Incendio en la isla Uros-Puno .....	18
<b>Figura 2:</b> Generación del viento por convección atmosférica inducida por la radiación solar ....	25
<b>Figura 3:</b> Mapa del recurso eólico en el Perú a 80 metros de altura. ....	27
<b>Figura 4:</b> Rosa de viento en WRPLOT .....	31
<b>Figura 5:</b> Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica del viento .....	31
<b>Figura 6:</b> Estructura de una turbina eólica VAWT .....	33
<b>Figura 7:</b> Ejemplos de aerogeneradores de eje vertical.....	35
<b>Figura 8:</b> Turbina eólica savonius.....	36
<b>Figura 9:</b> Esquema de sistema eólico aislado .....	37
<b>Figura 10:</b> Ubicación de la isla de los Uros Departamento de Puno. ....	44
<b>Figura 11:</b> Ubicación del proyecto Isla Flotante Los Uros, Puno. ....	45
<b>Figura 12:</b> Turbina eólica de eje vertical Marca (FLTXNY) 400W .....	46
<b>Figura 13:</b> Controlador MPPT Universal con rectificador interno para turbina eólica Savonius.....	47
<b>Figura 14:</b> Cerbo GX Victron Energy.....	49
<b>Figura 15:</b> Controlador MPPT Blue Solar 75V 15V. ....	50
<b>Figura 16:</b> Inversor Victron Phoenix 12V 500VA.....	51
<b>Figura 17:</b> Batería 100AH 12V Gel .....	52
<b>Figura 18:</b> Cable VE. Direct .....	53
<b>Figura 19:</b> Esquema eléctrico del sistema eólico aislado (Smartdraw) .....	54
<b>Figura 20:</b> Importación de la turbina.....	55
<b>Figura 21:</b> Armado del tablero .....	56
<b>Figura 22:</b> Vista del entorno de instalación de la turbina .....	57
<b>Figura 23:</b> Descarga de los equipos en la Isla de los Uros.....	57

<b>Figura 24:</b> Sistema de control eléctrico en funcionamiento.....	58
<b>Figura 25:</b> Funcionamiento de la turbina eólica en campo .....	59
<b>Figura 26:</b> Creación de cuenta en el portal VRM de Victron Energy.....	60
<b>Figura 27:</b> Cerbo GX conectado a internet y verificado vía app .....	60
<b>Figura 28:</b> Registro del Cerbo GX en el portal VRM.....	61
<b>Figura 29:</b> Registro del proyecto y vinculación del Cerbo GX en VRM.....	62
<b>Figura 30 :</b> Monitoreo en tiempo real del sistema en VRM. ....	63
<b>Figura 31:</b> Panel de widgets personalizados para monitoreo de variables del sistema.....	63
<b>Figura 32:</b> Visualización del sistema en tiempo real desde el portal VRM.....	64
<b>Figura 33:</b> Consola remota, historial diario de los datos proporcionados del controlador .....	65
<b>Figura 34:</b> Datos registrados por el Cerbo GX procesados en Excel.....	65
<b>Figura 35:</b> Base de datos SENAMHI 2024.....	66
<b>Figura 36:</b> Actividad de capacitación sobre energías renovables. ....	72
<b>Figura 37:</b> Cuadro de cargas de uso doméstico. ....	73
<b>Figura 38:</b> Potencia máxima alcanzada en el mes de Setiembre.....	76
<b>Figura 39:</b> Potencia máxima alcanzada en el mes de octubre.....	77
<b>Figura 40:</b> Potencia máxima alcanzada en el mes de noviembre.....	77
<b>Figura 41:</b> Promedio mensual de temperatura. ....	86
<b>Figura 42:</b> Distribución mensual de las velocidades diarias del viento. ....	89
<b>Figura 43:</b> Distribución mensual de las velocidades diarias del viento. ....	90
<b>Figura 44:</b> Perfil mensual de velocidad de viento en un año. ....	91
<b>Figura 45:</b> Comportamiento mensual de la velocidad del viento. ....	93
<b>Figura 46:</b> Perfil de velocidad de viento mensual.....	94
<b>Figura 47:</b> Perfil de velocidad de viento mensual calculado. ....	94
<b>Figura 48:</b> Variación de velocidad del viento, registrado Cerbo Gx. ....	95

<b>Figura 49:</b>	Rosa de viento mensual (WRPLOT).....	96
<b>Figura 50:</b>	Rosa de viento mensual (WRPLOT).....	97
<b>Figura 51:</b>	Rosa de viento mensual (WRPLOT).....	97
<b>Figura 52:</b>	Rosa de viento mensual (WRPLOT).....	98
<b>Figura 53:</b>	Rosa de viento mensual (WRPLOT).....	99
<b>Figura 54:</b>	Rosa de viento mensual (WRPLOT).....	100
<b>Figura 55:</b>	Gráfico del diagrama de Weibull. ....	102
<b>Figura 56:</b>	Tiempo de recuperación de inversión. ....	115

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Ficha técnica de las características del aerogenerador savonius.....	127
<b>Anexo 2:</b> Ficha técnica del Controlador Blue Solar Charger MPPT 75/15.....	128
<b>Anexo 3:</b> Ficha técnica del Inversor 500. ....	129
<b>Anexo 4:</b> Ficha técnica de la batería del Gel 12 V 100AH.....	130
<b>Anexo 5:</b> Ficha técnica del Vitron Energy Cerbo GX.....	131
<b>Anexo 6:</b> Consola remota .....	131
<b>Anexo 7:</b> Extensiones del Vitron Energy Cerbo GX .....	132
<b>Anexo 8:</b> Sistema eólico tipo savonius instalado en la Isla Urus Puno .....	133
<b>Anexo 9:</b> Charlas informativas sobre el funcionamiento de sistema eólico .....	134
<b>Anexo 10:</b> Instalación de la turbina eólica en la isla Flotante. ....	134
<b>Anexo 11:</b> Lugar de instalación de turbina savonius, en funcionamiento .....	135
<b>Anexo 12:</b> Rosa de viento en WRPLOT de mes de Septiembre. ....	136
<b>Anexo 13:</b> Rosa de viento en WRPLOT de mes de Agosto. ....	137
<b>Anexo 14:</b> Rosa de viento en WRPLOT de mes de Octubre.....	137
<b>Anexo 15:</b> Operacionalización de variable independiente. ....	138
<b>Anexo 16 :</b> Operacionalización de variable dependiente.....	138
<b>Anexo 17:</b> Tensión eólica Octubre (Vitron Cerbo GX).....	139
<b>Anexo 18:</b> Tensión eólica Septiembre (Vitron Cerbo GX). ....	140
<b>Anexo 19:</b> Tensión eólica Noviembre (Vitron Cerbo GX).....	140
<b>Anexo 20:</b> Potencia máxima Septiembre (Victron Cerbo GX). ....	141
<b>Anexo 21:</b> Potencia máxima Octubre (Victron Cerbo GX).....	141
<b>Anexo 22:</b> Potencia máxima Noviembre (Victron Cerbo GX).....	142

## INDICE DE ACRONIMOS

**B/C:** Beneficio Costo

**IGV:** Impuesto general de venta

**LCOE:** Costo nivelado de la energía

**O&M:** Costos de operación y mantenimientos

**PRS:** Periodo de recuperación simple de la inversión

**TIR:** Tasa de interés de retorno

**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

**VAN:** Valor actual neto

**VRM:** Vitron Remote management

## RESUMEN

En la actualidad, el uso de las energías limpias es una tendencia que a nivel mundial está siendo implementada a través de diferentes tecnologías, principalmente la energía eólica. En la región de Puno existe el recurso eólico el cual es muy beneficioso para poder aprovechar la generación de energía eléctrica. Bajo este contexto surge la presente tesis tiene como objetivo principal realizar el estudio y la implementación de un sistema eólico aislado de eje vertical para la generación de energía eléctrica en una vivienda de la Isla de los Uros, Puno. Para ello se adoptó una metodología de enfoque aplicada, el sistema eólico aislado se instaló en la isla urus Puno está compuesto por una turbina de eje vertical, batería, inversor marca Vitron y regulador. Se realizó un monitoreo de datos de 3 meses empleando para ello el dispositivo Cerbo GX, el cual permitió registrar datos diarios, la velocidad del viento es de 5.02 m/s en condiciones reales a 5 metros de altura, según los datos meteorológicos que se solicitó al SENAMHI es 7.16 m/s. El sistema propuesto cuenta con una potencia instalada de 400 W y una producción eléctrica anual estimada de 525.6 kWh, operando con un factor de planta del 15%. Desde el punto de vista económico, se estimó una inversión inicial de S/. 5,806, obteniéndose indicadores financieros favorables VAN de S/. 1,234.82, TIR del 11% y un período de recuperación de la inversión de 15 años. Además, el Costo Nivelado de la Energía se estimó en S/. 0.88 por kWh, lo cual demuestra la viabilidad económica del proyecto. En conclusión, los resultados evidencian que las condiciones eólicas en la Isla de los Uros son adecuadas para la generación eléctrica mediante sistemas eólicos de eje vertical, constituyendo una alternativa sostenible y viable en comunidades rurales aisladas.

**Palabras clave:** Aerogenerador savonius, factor de planta, recurso eólico, TIR y VAN

## ABSTRACT

Currently, the use of clean energy is a global trend being implemented through different technologies, primarily wind energy. In the Puno region, wind power is a very beneficial resource for generating electricity. This thesis is based on this context. Its main objective is to study and implement a vertical-axis isolated wind system for generating electricity in a home on Uros Island, Puno. To this end, an applied approach methodology was adopted. The isolated wind system was installed on the island of Urus, Puno. It consists of a vertical-axis turbine, a battery, a Vitron inverter, and a regulator. Data monitoring was carried out for 3 months using the Cerbo GX device, which allowed daily data to be recorded. The wind speed is 5.02 m/s in real conditions at 5 meters high. According to the meteorological data requested from SENAMHI, it is 7.16 m/s. The proposed system has an installed capacity of 400 W and an estimated annual electricity production of 525.6 kWh, operating with a plant factor of 15%. From an economic perspective, an initial investment of S/. 5,806 was estimated, yielding favorable financial indicators: an NPV of S/. 1,234.82, an IRR of 11%, and a 15-year payback period. Furthermore, the Levelized Cost of Energy was estimated at S/. 0.88 per kWh, demonstrating the project's economic viability. In conclusion, the results show that wind conditions on Uros Island are suitable for power generation using vertical-axis wind systems, constituting a sustainable and viable alternative in isolated rural communities.

**Keywords:** Savonius wind turbine, plant factor, wind resource, IRR and NPV.

## INTRODUCCION

En la actualidad, el mundo enfrenta un creciente déficit energético, acompañado por una fuerte dependencia de fuentes convencionales como el petróleo y el gas natural, ampliamente utilizadas en los sistemas tradicionales de generación de energía. Esta situación no solo incrementa los costos de producción y distribución energética, sino que también agrava los problemas ambientales debido a las emisiones contaminantes generadas por los combustibles fósiles.

Frente a la problemática, surge la necesidad urgente de promover e implementar fuentes de energía renovables, limpias y sostenibles. La energía eólica se ha consolidado como una de las alternativas más viables dentro del conjunto de energías renovables. Su capacidad para producir electricidad utilizando la fuerza del viento, sin generar emisiones contaminantes, la convierte en una opción especialmente atractiva para zonas rurales o aisladas donde el acceso a la red eléctrica convencional es limitada o económicamente inviable. Los sistemas eólicos aislados representan una solución efectiva, ya que operan de manera autónoma y permiten abastecer de energía eléctrica a comunidades que no tienen al acceso a red eléctrica y que carecerían de este servicio básico. La presente tesis aborda sobre el estudio e implementación de un sistema eólico aislado de eje vertical para una vivienda ubicada en la Isla de los Uros, Puno.

El contenido de esta tesis se estructurará de esta forma:

**Capítulo I:** Se plantea el problema de investigación, general como específico, se establecen los objetivos específicos y se justificara la relevancia del proyecto.

**Capítulo II:** Se desarrolla el marco teórico, incluyendo antecedentes relevantes, fundamentos del recurso eólico, clasificación y funcionamiento de aerogeneradores de eje vertical, así como el potencial de recurso eólico y aspectos técnicos como la rosa de viento (WRPLOT) y el análisis económico.

**Capítulo III:** Se describen los materiales y métodos empleados, el tipo de investigación, los equipos utilizados y la estimación del presupuesto del proyecto.

**Capítulo IV:** Se interpretaran los resultados obtenidos, durante la implementación del sistema eólico.

**Capítulo V:** Se presentaran las conclusiones del estudio y se brindan recomendaciones para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas del sistema propuesto.

## I. CAPITULO

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Descripción del problema

La energía eólica se clasifica como una fuente de energía renovable, al provenir de un recurso natural inagotable como el viento. Una forma de utilizar esta energía es mediante el uso de turbinas eólicas. La demanda de energía en todo el mundo ha incrementado desde hace muchos años, y el desarrollo del país está directamente relacionado con el uso de la electricidad. Así, las energías limpias brindan una alternativa energética que puede satisfacer las necesidades energéticas sin contaminación ni cambio climático.

Según Sanz (2009). En el Perú por su parte debido a su ubicación geográfica dispone diferentes lugares con potencial eólico, estos van desde Ica a Tacna por el sur y de Ancash a tumbes por el norte, el país podría convertirse en una potencia eólica si se impulsa el desarrollo de proyectos en Perú. Sin embargo, para las turbinas de eje vertical se realizó un estudio donde difiere que para que esta turbina pueda alcanzar su máxima potencia no necesariamente tiene que llegar a una alta velocidad del viento.

En la región altiplánica de Puno, a orillas del lago Titicaca, se encuentran las conocidas Islas Flotantes de los Uros, situadas aproximadamente a 5.1 km de la ciudad de Puno. Estas islas, están construidas con totoras, una planta acuática abundante en el lago, albergan cerca de 80 comunidades. Sin embargo, a pesar de su valor turístico y cultural, muchas de estas viviendas carecen al acceso a la energía eléctrica. Un ejemplo de esta problemática ocurrió en el año 2016, cuando un incendio fue provocado por el uso de velas, lo cual evidenció la vulnerabilidad de estas comunidades ante la falta de una fuente segura y sostenible de electricidad.

## Figura 1:

*Incendio en la isla Uros-Puno*



*Nota:* (DiarioCorreo, 2016)

Frente a esta situación, surge la necesidad de implementar soluciones basadas en energías limpias, como la energía solar, eólica, biomasa, mareomotriz, bioenergía, geotérmica o hidrógeno verde. Estas fuentes no solo permiten la generación de energía, sino que también reducen las emisiones de dióxido de carbono, promoviendo un desarrollo ambientalmente sostenible. Aunque la región de Puno cuenta con altos niveles de radiación solar, también dispone de un recurso eólico significativo que puede ser aprovechado tanto de día como de noche. En este contexto, se plantea una solución para la implementación de un sistema eólico aislado basado en un aerogenerador vertical tipo Savonius de 400 W para una vivienda en la Isla de los Uros. Esta propuesta no solo busca cubrir las necesidades básicas de energía eléctrica, sino también para mejorar las condiciones de vida de los habitantes, incrementando el desarrollo económico mediante actividades como el turismo, la pesca artesanal, la producción textil y la conservación de su patrimonio cultural.

### 1.1.1. Problema general

¿Es técnicamente viable implementar un sistema eólico aislado de eje vertical tipo Savonius para abastecer la demanda energética de una vivienda en la Isla de los Uros, Puno?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el recurso eólico disponible en la Isla de los Uros a partir de la velocidad del viento, empleando datos meteorológicos y registros del dispositivo Victron Cerbo GX, como parte del estudio de generación de energía eléctrica en una vivienda?
- ¿Cuál es el factor de rendimiento que alcanza el sistema eólico de eje vertical tipo Savonius de 400 W, operando en condiciones reales en la Isla de los Uros, según los datos eléctricos registrados durante su funcionamiento?
- ¿Será viable económicamente la implementación del sistema eólico aislado para la isla de los Uros, Puno?

## **1.2. Objetivos de la investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar el estudio y la implementación de un sistema eólico aislado de eje vertical tipo Savonius, orientado a la generación de energía eléctrica para una vivienda ubicada en la Isla de los Uros, Puno.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar el recurso eólico disponible en la Isla de los Uros a partir de la velocidad del viento, empleando datos meteorológicos y registros del dispositivo Victron Cerbo GX, como parte del estudio de generación de energía eléctrica en una vivienda.
- Determinar el factor de planta de un sistema eólico de eje vertical tipo Savonius de 400 W, a partir de los datos eléctricos registrados durante su operación en condiciones reales en la Isla de los Uros.
- Desarrollar la viabilidad económica de la implementación del sistema eólico aislado para una vivienda de la isla de los Uros, Puno.

### **1.3. Justificación de la investigación**

La presente investigación se justifica en la necesidad de identificar alternativas energéticas sostenibles que respondan de manera adecuada a las condiciones geográficas y socioeconómicas de comunidades rurales en situación de aislamiento, como la Isla de los Uros, ubicada en el lago Titicaca, región Puno. Esta localidad enfrenta limitaciones en el acceso a la red eléctrica convencional, lo que repercute negativamente en la calidad de vida de sus habitantes.

Además, al proyecto busca promover las energías limpias descentralizadas, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles favoreciendo la sostenibilidad ambiental. También representa una oportunidad para fomentar la autonomía energética de las viviendas en comunidades aisladas, lo cual permite tener el impacto positivo en la educación y salud, y el desarrollo económico local.

#### **1.3.1. Justificación Técnica**

La viabilidad técnica del sistema eólico aislado de eje vertical propuesto para la Isla de los Uros se sustenta en las condiciones favorables del recurso eólico en la zona, donde se registran velocidades de viento suficientes para la generación de energía limpia a pequeña escala. Esta característica permite el aprovechamiento eficiente del recurso natural disponible sin necesidad de conexión a la red eléctrica convencional. El uso de las turbinas de eje vertical tipo Savonius resulta apropiado, ya que operan eficientemente con vientos de baja intensidad y dirección variable, sin necesidad de sistemas de orientación.

#### **1.3.2. Justificación ambiental**

Desde el enfoque ambiental, se impulsa la adopción de fuentes de energía limpia y descentralizada mediante la implementación de un sistema eólico en la Isla de los Uros, con el propósito de reducir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar la sostenibilidad ambiental. Esta alternativa tecnológica no solo representa una solución energéticamente viable para comunidades aisladas, sino que también contribuye a la mitigación del cambio climático, al disminuir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los sistemas convencionales de generación.

### **1.3.3. Justificación social**

El acceso a energía eléctrica mediante un sistema eólico en la Isla de los Uros contribuirá significativamente a mejorar las condiciones de vida de los habitantes, facilitando servicios básicos como iluminación y comunicación. Además, permitirá atender la demanda energética derivada del turismo vivencial, impulsando la economía local. Finalmente, la autonomía energética fortalecerá la permanencia de la comunidad en su entorno tradicional, promoviendo la preservación de su identidad cultural.

### **1.3.4. Justificación económica**

El sistema eólico en la Isla de los Uros representa una alternativa económicamente viable frente al uso de generadores a diésel o kerosene, cuyos costos operativos y logísticos son elevados. Al reducir la dependencia de fuentes externas, se promueve la autonomía energética de la comunidad, generando ahorros sostenibles a largo plazo. Además, el uso de energía limpia refuerza la imagen ecológica de la isla, potenciando el turismo sostenible como fuente de ingresos. Pese a la inversión inicial, la eficiencia operativa y la durabilidad de las turbinas aseguran un retorno económico favorable en el mediano y largo plazo.

## II. CAPITULO

### REVISION DE LA LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

La literatura internacional nos muestra importancia de avances, así como podemos mencionar (Paillcho, 2019) Implementación de un sistema de microgeneración eólica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la universidad técnica del norte, El recurso eólico existente en el campus de la universidad es de 2 m/s a 9 m/s, por lo que se decide instalar un micro generador eólico de eje vertical de 250 Wp, el cual sirve para compensar en una proporción la carga total del edificio, como resultado se obtuvo la potencia máxima que se generó del savonius fue de 91.53 W Por lo que se puede determinar que no existe mucho recurso eólico para cubrir la carga total de la infraestructura de CIELE y solo se puede generar una parte de esta carga.

A Nivel Internacional según los autores Alarcon & Jacome (2017). Se implementó un sistema de captación eólico a través de un aerogenerador de tipo vertical, para generar energía eléctrica. Lo realizaron con la recopilación de datos de las mediciones obtenidas del potencial eólico en un periodo de 1 año y 6 meses se realizó el análisis para determinar la eficiencia eólica y convertirla a energía eléctrica, el voltaje obtenido es de 110v el mismo que va a ser sometido a una carga eléctrica generada por focos y sobredimensionada para electrodomésticos. Finamente esto permite satisfacer la demanda requerida de 577 W en la vivienda, en donde se tiene una velocidad de viento promedio de 8.97 m/s a una altura de 5m.

Según (Orjuela & Perdomo, 2018) realizaron la implementación de un generador eólico tipo savonius helicoidal en la empresa Cygni Ingeniería sas, se desarrolló un proyecto orientado al diseño e implementación de un sistema de generación eléctrica basado en energía eólica, utilizando un rotor tipo Savonius de geometría helicoidal, fabricado mediante procesos de termoformado manual. El estudio tuvo como propósito aprovechar el potencial eólico local para abastecer parte del consumo energético de la empresa CYGNI Ingeniería S.A.S. La investigación incluyó el modelamiento geométrico en SolidWorks, la selección de componentes mecánicos y eléctricos, el montaje y la puesta en marcha del sistema, además de un análisis de viabilidad económica. Los resultados permitieron evaluar la factibilidad técnica y económica del uso de este tipo de aerogeneradores en contextos urbanos de baja velocidad de viento.

Según (Espinosa, 2021) se desarrolló un estudio enfocado en la optimización del diseño de una turbina eólica de eje vertical tipo Savonius (SVAWT), El trabajo consideró las condiciones meteorológicas de Bogotá, con velocidades promedio del viento cercanas a 1.47 m/s y densidad del aire correspondiente a esa altitud y su coeficiente de potencia ( $C_p$ ) máximo de 0.182. La simulación confirmó que esta configuración lograba una alta eficiencia aerodinámica en condiciones de baja velocidad del viento, concluyéndose que la metodología propuesta permite mejorar el rendimiento de turbinas Savonius aplicables en entornos urbanos o rurales de bajo potencial eólico.

En el ámbito nacional también se encuentra gran variedad de estudios con respecto a sistema eólico savonius, entre los cuales podemos mencionar a (Sanchez & Palacios, 2025) Implementación de prototipo de aerogenerador de eje vertical para aprovechar bajas velocidades de viento para producir energía eléctrica en el caserío Cruz Grande distrito de Jaén. La investigación, de tipo aplicada y con diseño experimental, consideró una velocidad promedio del viento de 2.72 m/s, densidad del aire de 1.09 kg/m<sup>3</sup> y un coeficiente de potencia ( $c_p$ ) de 0.35. Con estos parámetros se diseñó un rotor de 3.91 m<sup>2</sup> compuesto por cinco aspas semicilíndricas de 0.50 m de diámetro, estimándose una generación teórica de 12.15 W. En la evaluación del prototipo se obtuvo una potencia real de 1.12 W a una velocidad de 14 RPM. El análisis económico reportó un VAN de -\$/ 5021.50, una TIR de -31 % y una relación beneficio-costos de 0.069, concluyéndose que el sistema no resulta económicamente viable sin mejoras en la eficiencia o en las condiciones del recurso eólico local.

Según el autor (Medina, 2021) realizó un estudio en el distrito de Ahuac (Junín) con el propósito de diseñar y construir un aerogenerador de eje vertical tipo Savonius modificado capaz de generar energía eléctrica para una vivienda. El trabajo se basó en condiciones de viento promedio de 4 m/s, propias de la zona, y evaluó cómo el diseño del aerogenerador influía en la cantidad de energía producida. La investigación fue aplicada y no experimental, con recolección de datos meteorológicos del SENAMHI correspondientes al año 2021. Se utilizaron herramientas como Excel para el análisis de datos y SolidWorks para el diseño y simulación del rotor. Los resultados mostraron que el aerogenerador modificado logró producir energía eléctrica estable durante casi todo el año, con una ligera disminución en junio por la menor velocidad del viento. En conclusión, el estudio demostró que este tipo de sistema es viable para viviendas rurales o semiurbanas, ya que

combina bajo costo, facilidad de construcción y funcionamiento adecuado en zonas con vientos moderados.

En el ámbito nacional de la región Puno (Huanca, Choquecota, Olguiso, & Quiñonez, 2019) se realizó un estudio para evaluar el potencial del recurso eólico con el propósito de determinar su capacidad de aprovechamiento para la generación de energía eléctrica. Se analizaron datos de velocidad y dirección del viento registrados por el SENAMHI durante los años 2013 y 2014, los cuales fueron comparados con la base de datos de la NASA (Surface Meteorology and Solar Energy, 2012). El análisis mostró que las velocidades promedio del viento superan los 3 m/s durante los meses de primavera y verano, con direcciones predominantes del este y oeste. Mediante la distribución de Weibull, se estimó una densidad de potencia media anual de 15,91 W/m<sup>2</sup> a 25 metros de altura, valor que aumenta al duplicar la altura a 50 metros. Los resultados indicaron que, si bien el recurso eólico en Juliaca no es abundante, permite la implementación de aerogeneradores de pequeña potencia, especialmente los de eje vertical, que pueden operar con vientos moderados y cambiantes. Además, se comprobó que los datos de la NASA y del SENAMHI son consistentes y confiables para caracterizar el recurso eólico en la zona.

## **2.2. Bases teóricas de la investigación**

### **2.2.1. Historia**

La energía eólica ha sido aprovechada por el ser humano desde hace más de 2,000 años. Civilizaciones antiguas como la persa y la china utilizaron molinos de viento para poder bombear agua y moler granos. En Europa, durante la Edad Media, los molinos de eje horizontal fueron comunes en países como Holanda y España. Sin embargo, fue recién en el siglo XX que la energía eólica comenzó a utilizarse para generar energía eléctrica, marcando un hito en el desarrollo de fuentes limpias.

Actualmente, la energía eólica constituye una de las principales alternativas limpias utilizadas para combatir el cambio climático. Como señalan (Ackermann & Söder, 2002). El uso de la energía eólica ha pasado de una tecnología marginal a una opción energética madura y competitiva en muchas partes del mundo.

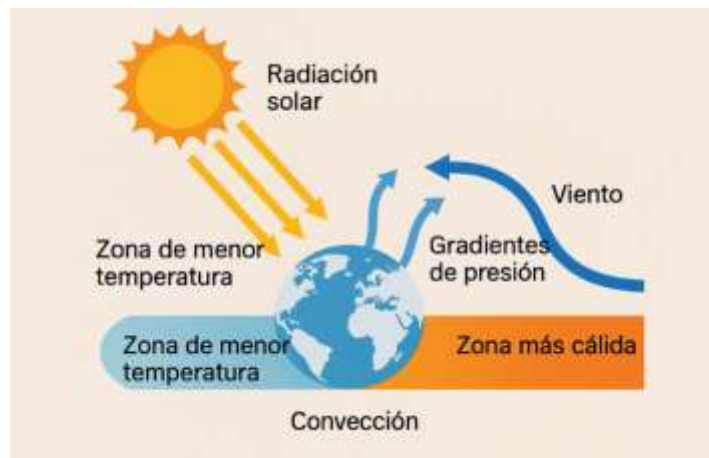
### 2.3. Marco conceptual

La energía eólica constituye una fuente renovable que aprovecha la fuerza del viento para la generación de electricidad de manera limpia y sostenible. Su aplicación ha aumentado en los últimos años debido a su bajo impacto ambiental y su potencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles (Twidell & Weir, 2015). Es una de las alternativas más viables para el suministro de energía eléctrica en áreas rurales, debido a la simplicidad de los sistemas y la disponibilidad del recurso en diversos entornos.

La energía eólica se considera una forma indirecta de energía solar. Aproximadamente entre el 1 % y 2 % de la radiación solar incidente se transforma en movimiento del aire debido al calentamiento desigual de la superficie terrestre, generado por la inclinación del eje terrestre y la forma esférica del planeta. Estas diferencias térmicas provocan gradientes de presión que impulsan el flujo de masas de aire por convección desde zonas de menor temperatura hacia zonas más cálidas, originando el viento. (Carta y Calero, 2009).

#### Figura 2:

*Generación del viento por convección atmosférica inducida por la radiación solar*



*Nota:* El viento es consecuencia de la desigual distribución de la radiación solar y de las variaciones de temperatura y presión en la atmósfera, (Elaboración propia).

La imagen ilustra cómo la energía eólica se origina a partir de la radiación solar. El Sol calienta de manera desigual la superficie terrestre debido a la inclinación del eje terrestre y a su forma esférica,

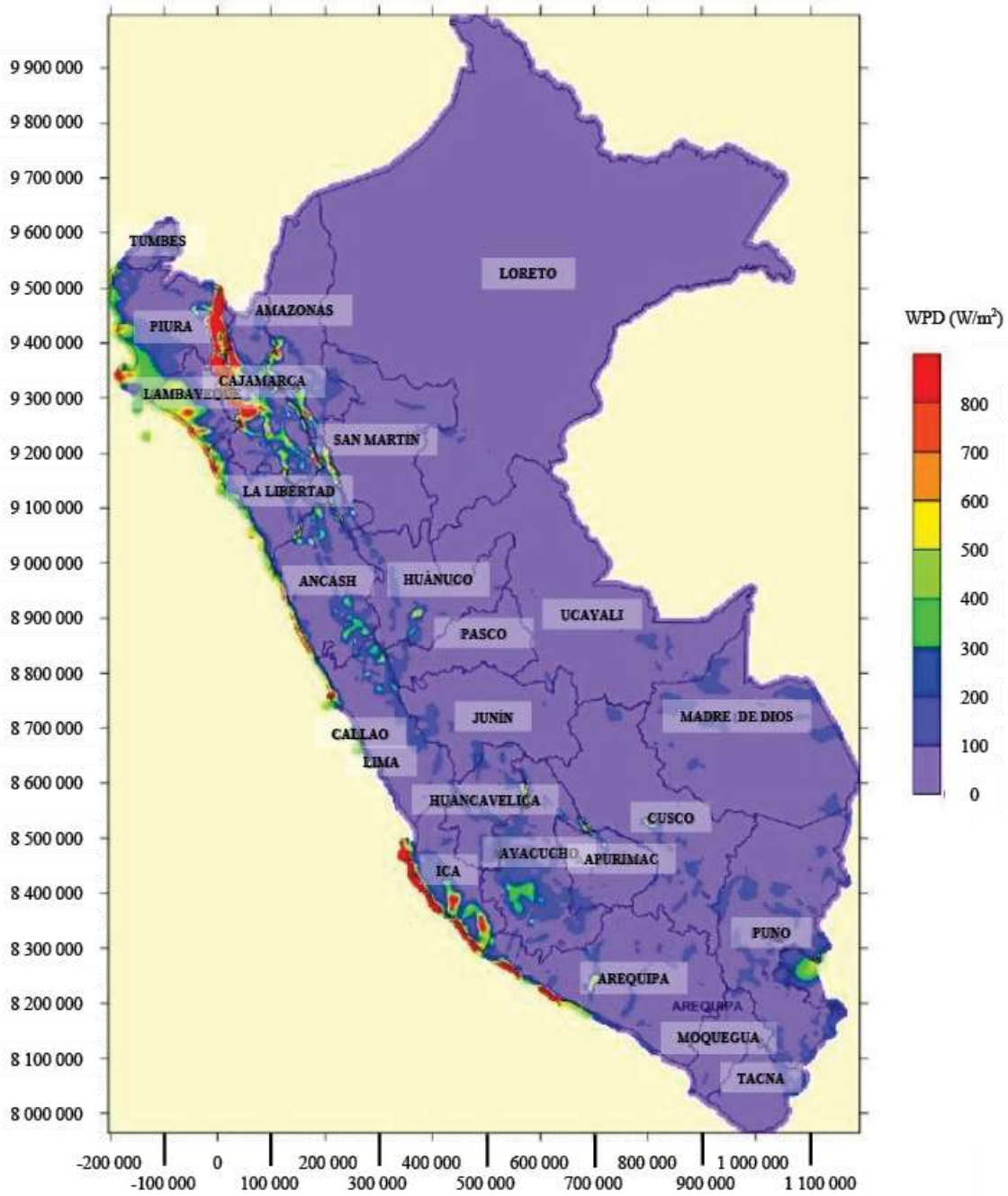
lo que genera diferencias de temperatura entre distintas regiones. Este calentamiento desigual provoca gradientes de presión atmosférica, haciendo que el aire caliente ascienda por su menor densidad, mientras que el aire frío desciende. Como resultado, se produce un flujo del aire desde zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión, generando el movimiento de aire que conocemos como viento. Este proceso, impulsado por la convección térmica, constituye la base física del aprovechamiento de la energía eólica.

### **2.3.1. Distribución y potencial del recurso eólico en el Perú**

La energía eólica en el Perú presenta un alto potencial, principalmente en zonas costeras, debido a la presencia de vientos constantes y de alta velocidad. Según (MINEM), se han identificado regiones con velocidades promedio anuales del viento superior a los 6 m/s a una altura de 80 metros, consideradas ideales para el desarrollo de proyectos eólicos. A continuación, se presenta el mapa del recurso eólico nacional y una tabla con el resumen de las regiones más representativas. (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2016).

**Figura 3:**

*Mapa del recurso eólico en el Perú a 80 metros de altura.*



*Nota:* Ministerio de Energía y Minas – Atlas Eólico del Perú (2016), elaborado por el consorcio Barlovento-Vortex.

**Tabla 1:***Resumen del potencial eólico por región.*

<b>Región</b>	<b>Velocidad media anual (~80 m)</b>	<b>Nivel de potencial</b>
<b>Piura, La Libertad, Ica</b>	7–9.5 m/s	Alto / Excelente
<b>Lima, Arequipa, Ancash</b>	5–7/s	Moderado
<b>Puno, Cajamarca, Huancavelica</b>	4–6,5 m/s	Medio
<b>Amazonas, Cusco, Junín</b>	3–4,5 m/s	Bajo

*Nota:* Elaboración propia con base en el Atlas Eólico del Perú (MINEM, 2016).

El análisis combinado del mapa y la tabla revela que las regiones costeras, en particular Piura, La Libertad e Ica, presentan un alto potencial eólico, evidenciado por velocidades promedio de 6 a 8 m/s a 80 m de altura, lo que las posiciona como áreas idóneas para la instalación de parques eólicos. En contraste, regiones del interior, como Puno, Cajamarca, Huancavelica, muestran velocidades de 4 m/s hasta 6.5 m/s, presentan vientos de intensidad media, pero con alta constancia direccional, lo que permite el uso sistema eólico para la generación eólica. Estos resultados justifican la focalización de estudios y proyectos en las zonas con mejores condiciones de viento, contribuyendo a una planificación estratégica de la energía renovable a nivel nacional.

### **2.3.2. Recurso eólico y su evaluación**

#### **a) Densidad del aire y su importancia**

La densidad del aire ( $\rho$ ) es uno de los parámetros más relevantes en la evaluación del recurso, dado que incide directamente en la cantidad de energía cinética disponible en el flujo de viento. A mayor densidad, mayor cantidad de masa de aire en movimiento y por ende, mayor potencial para generar electricidad (Duffie & Beckman, 2013).

La densidad varía principalmente en función de la temperatura, presión atmosférica y la altitud. En zonas elevadas, como la Isla de los Uros (ubicada a 3812 msnm), la presión atmosférica disminuye, lo que reduce significativamente la densidad del aire respecto al nivel del mar (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009).

Para estimarla se emplea la ecuación del gas ideal:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (1)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

P: Presión atmosférica (Pa)

R: Constante del gas del aire seco = 287 J/kg·K

T: Temperatura absoluta (K)

#### **b) Velocidad del viento y potencia disponible**

Otro parámetro esencial es la evaluación del recurso eólico, debido a que la energía cinética contenida en el viento es directamente proporcional al cubo de dicha velocidad. Esto significa que pequeñas variaciones en la velocidad tienen un gran impacto en la potencia generada (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009)

La potencia teórica del viento incidente sobre un área se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

P: potencia del viento (W)

$\rho$ : densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

A: área barrida por el rotor ( $m^2$ )

V: velocidad del viento (m/s)

Esta fórmula permite determinar la potencia máxima disponible. Sin embargo, una turbina real solo puede captar una parte de esta potencia, debido a pérdidas mecánicas, aerodinámicas y el límite de Betz establece que el máximo teórico de energía que pueda aprovechar es 59.3% de la energía del viento.

### **c) Distribución de Weibull**

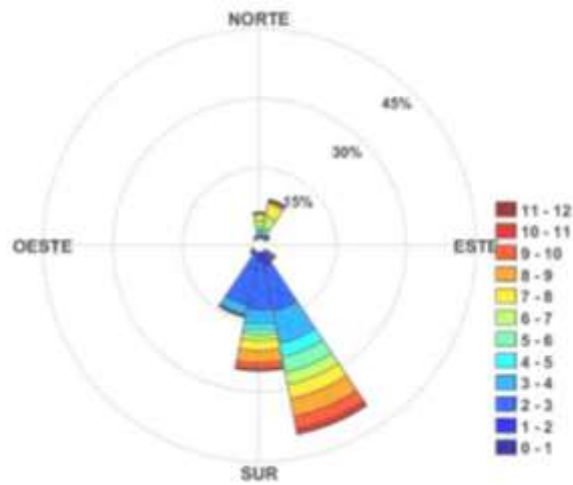
Dado que las velocidades del viento presentan variaciones constantes a lo largo del tiempo, es necesario representarlas mediante un análisis estadístico que permita comprender su comportamiento. Entre las funciones comúnmente utilizadas para describir la distribución de velocidades del viento destacan las distribuciones de Weibull y Rayleigh. Son dos parámetros de escala (C) y de forma (k), lo que le proporciona mayor flexibilidad y precisión para ajustarse a diferentes patrones de comportamiento del viento. En contraste, la distribución de Rayleigh es un caso particular de Weibull y se caracteriza por tener un solo parámetro, lo que limita su aplicabilidad. Por esta razón, el Weibull es la más utilizada en estudios técnicos para la formulación de modelos matemáticos que describan el recurso eólico con mayor exactitud.

### **d) Rosa de viento**

Para elaborar la rosa de los vientos se utilizó el software WRPLOT View TM, para esto se necesitan las variables de velocidades y dirección de viento como también conocer el punto exacto donde se encuentra la estación a representar, este es un programa de libre distribución para Windows (Gimenes, 2018).

**Figura 4:**

*Rosa de viento en WRPLOT*



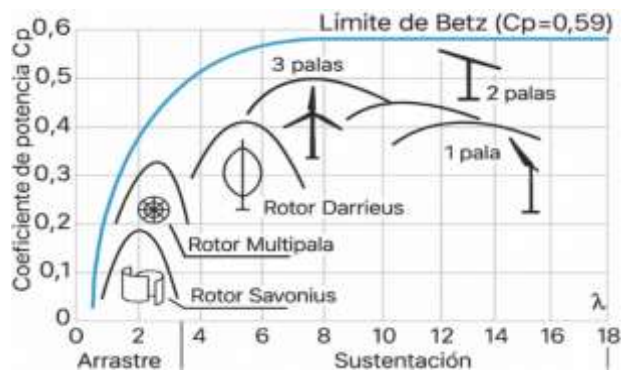
*Nota:* elaboración propia

### e) Coeficiente de potencia y tipos de turbina

A continuación, se presenta un gráfico donde se comparan los coeficientes de potencia ( $C_p$ ) típicos de diversos tipos de rotores eólicos, en relación con la razón de velocidad de giro ( $\lambda$ ):

**Figura 5:**

*Coefficiente de potencia en función de la velocidad específica del viento*



*Nota:* El gráfico muestra cómo el tipo y número de palas influyen en la eficiencia del aprovechamiento del viento (Carlos, 2019).

**Tabla 2:**

*Comparación del coeficiente de potencia según el tipo de turbina eólica*

<b>Tipo de turbina</b>	<b>Rango típico de Cp</b>	<b>Observaciones principales</b>
<b>Savonius (eje vertical por arrastre)</b>	0.20 – 0.35	Bajo rendimiento, ideal para vientos bajos, fácil construcción y arranque autónomo.
<b>Darrieus (eje vertical por sustentación)</b>	0.30 – 0.45	Mayor eficiencia que Savonius, pero requiere sistema de arranque y control más complejo.
<b>Eje horizontal (HAWT)</b>	0.35 – 0.50 (hasta 0.55)	Alta eficiencia, requiere orientación al viento, ideal para grandes parques eólicos.
<b>Límite de Betz</b>	0.593 (59.3 %)	Máximo teórico absoluto que ninguna turbina puede superar.

*Nota:* Manwell et al. (2009); Islam et al. (2008)

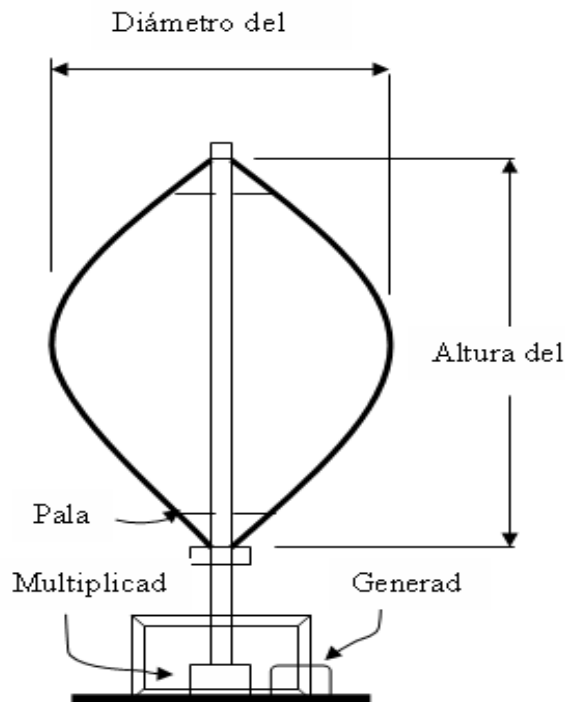
#### **2.4. Aerogeneradores de eje vertical (VAWT)**

Los aerogeneradores de eje vertical (Vertical Axis Wind Turbines, VAWT) se caracterizan por tener el eje de rotación perpendicular al suelo, lo que les permite capturar energía del viento sin importar su dirección predominante. Esta característica los hace especialmente adecuados para zonas urbanas, espacios confinados o lugares con flujos de viento irregulares o turbulentos, como ocurre en áreas montañosas o cercanas a cuerpos de agua (Paraschivoiu, 2002).

En contraposición a los aerogeneradores de eje horizontal (HAWT), los VAWT no requieren mecanismos de orientación para alinearse con el viento, lo cual simplifica su diseño mecánico, disminuye el mantenimiento y facilita su instalación a nivel del suelo o sobre estructuras bajas. Esta configuración también permite que los componentes principales, como el generador y la caja de engranajes, estén ubicados cerca del suelo, lo cual mejora la accesibilidad para inspección y reparación (Dobrev & Massouh, 2011).

**Figura 6:**

*Estructura de una turbina eólica VAWT*



### **2.4.1. Tipos de aerogeneradores de eje vertical**

Los aerogeneradores de eje verticales (por sus siglas en inglés, *Vertical Axis Wind Turbines*) se clasifican principalmente en tres tipos: Savonius, Darrieus y H- Rotor, cada uno con características estructurales y operativas particulares que los hacen adecuados para distintas aplicaciones.

#### **A) Turbina tipo Savonius**

Esta turbina fue desarrollada por Sigurd Savonius en 1922. Se caracteriza por tener palas curvas semicilíndricas, similares a un rotor de tambor cortado por la mitad, que giran debido a la diferencia de presión que genera el viento al impactarlas. Es una turbina drag-based (impulsada por arrastre), lo que significa que su eficiencia aerodinámica es limitada, pero tiene ventajas como:

- Arranque automático a bajas velocidades de viento
- Funcionamiento silencioso
- Construcción simple y de bajo costo

Por estas razones, es ideal para aplicaciones de pequeña escala o en zonas urbanas y rurales con velocidades de viento moderadas o turbulentas (Dobrev & Massouh, 2011).

### **B) Turbina tipo Darrieus**

Desarrollada por Georges Darrieus en 1931, esta turbina presenta palas curvas en forma de “C” (o helicoidales), unidas en un eje central. Es una turbina lift-based (impulsada por sustentación), lo que le otorga mayor eficiencia aerodinámica en comparación con la Savonius. Sin embargo, requiere:

- Un sistema de arranque auxiliar, ya que no arranca por sí sola
- Condiciones de viento más estables
- Estructura más robusta

Su diseño permite operar a mayores velocidades y es más eficiente en generación eléctrica continua (Paraschivoiu, 2002).

### **C) Turbina tipo H- Rotor**

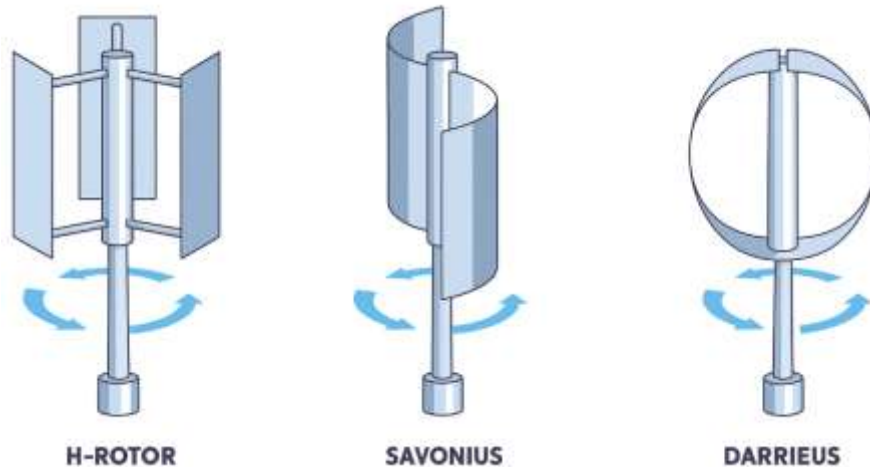
La turbina H- Rotor es una variante del tipo Darrieus, Aunque en vez, de emplear palas curvadas, emplea palas rectas verticales unidas a un eje central mediante brazos. Este diseño facilita su construcción y mejora la captación de viento en espacios reducidos. Algunas de sus ventajas son:

- Menor complejidad estructural en comparación con Darrieus
- Mayor facilidad para el mantenimiento
- Buena adaptación a entornos urbanos o con espacio limitado

Sin embargo, su eficiencia depende de un correcto diseño aerodinámico y de la relación de aspecto de sus palas.

## Figura 7:

*Ejemplos de aerogeneradores de eje vertical*



*Nota:* El rotor Savonius es simple y robusto, pero menos eficiente, el Darrieus es más eficiente pero complejo, y el H-Rotor combina ventajas de ambos con buen rendimiento y estabilidad. (González, 2001)

### 2.4.2. Turbina Savonius

La turbina Savonius es un tipo de aerogenerador de eje vertical que se caracteriza por su diseño simple y compacto. Fue desarrollada por Sigurd Savonius en 1922, y funciona mediante el principio de arrastre del viento, es decir, el viento empuja las palas curvas, generando un movimiento rotacional en torno a un eje vertical. Este tipo de turbina suele estar compuesta por dos o más palas semicilíndricas dispuestas en forma de "S". Gracias a esta configuración, le permite atraer el viento desde cualquier rumbo, lo que la hace adecuada para zonas con vientos variables o turbulentos.

Las turbinas Savonius destacan por:

- Su arranque a bajas velocidades de viento
- Facilidad de construcción y bajo costo
- Mantenimiento sencillo y silencioso funcionamiento

## **Figura 8:**

*Turbina eólica savonius*



*Nota:* El aerogenerador de eje vertical permite aprovechar el recurso eólico desde cualquier dirección, (EcoInventos, 2022)

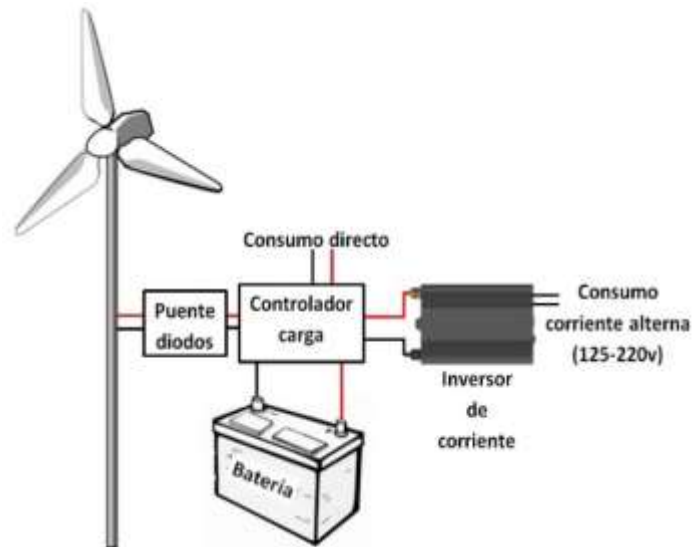
### **2.5. Sistemas eólicos aislados**

Los sistemas eólicos aislados, también conocidos como sistemas autónomos, son instalaciones que funcionan independientemente de la red eléctrica. Su objetivo es abastecer de energía a una vivienda, comunidad o instalación remota a partir del viento, siendo ideales para zonas rurales o de difícil acceso.

Estos sistemas convierten la energía cinética del viento en electricidad utilizable mediante aerogeneradores, los cuales están conectados a bancos de baterías y sistemas de control para asegurar un suministro estable (Ackermann & Söder, 2002).

## Figura 9:

Esquema de sistema eólico aislado



Nota: (shop4.onlinestoresoutlet.ru, 2021)

### 2.5.1. Componentes de un sistema eólico aislado

1. **Generador y turbina:** Componente principal encargado de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica mediante rotación en torno a un eje vertical.
2. **Controlador:** Regula el suministro de energía hacia las baterías, evitando sobrecargas y optimizando su rendimiento.
3. **Baterías:** Almacena la energía generada para su uso durante periodos sin viento.
4. **Inversor (si se requiere AC):** convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), si es necesario.
5. **Sistema de anclaje y torre:** Sujeta y eleva la turbina para captar mejor el viento.

Los sistemas aislados dependen de una adecuada gestión de la energía almacenada para garantizar el abastecimiento eléctrico continuo (Eriksson, Bernhoff, & Leijon, 2008)

## 2.5.2. Dimensionamiento para sistemas eólicos aislados

El dimensionamiento de un sistema aislado se basa en:

- Demanda energética diaria (kWh/día)
- Velocidad promedio del viento
- Autonomía requerida (días sin viento)
- Capacidad de almacenamiento (Ah o Wh)

Ejemplo básico de fórmula para energía diaria generada:

$$E_{\text{diaria}} = P_{\text{turbina}} * h_{\text{dia}} \quad (3)$$

**Donde:**

- $E_{\text{diaria}}$ : Energía generada por día (Wh/día)
- $P_{\text{turbina}}$ : Potencia útil de la turbina (W)
- H: Número de horas efectivas de viento útil por día (h)

O también, si se parte del recurso eólico:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p \quad (4)$$

**Donde:**

- $\rho$ : Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)
- A: Área barrida por la turbina (m<sup>2</sup>)
- V: Velocidad media del viento (m/s)
- $C_p$ : Coeficiente de potencia de la turbina (típico para Savonius: 0.25 - 0.35)

## 2.6.- Factor de planta

El factor de planta (FP) constituye un parámetro técnico fundamental para evaluar el desempeño real del sistema de generación eléctrica en relación con su capacidad nominal. Se define como la

relación entre la energía realmente generada durante un periodo de tiempo determinado y la energía que se habría generado si el sistema funcionara a su máxima potencia durante todo ese periodo (Ackermann & Söder, 2002).

$$FP = \frac{E_{Real}}{P_{nom} * T} \quad (5)$$

**Donde:**

**$E_{real}$ :** Energía generada en el periodo (kWh)

**$P_{nom}$ :** Potencia nominal (kW)

**T:** Tiempo del periodo considerado (horas)

Un valor elevado del FP indica un uso eficiente del sistema, mientras que un valor bajo puede atribuirse a la intermitencia del viento, mantenimiento deficiente, pérdidas eléctricas o una mala elección del sitio de instalación

**Tabla 3:**

*Comparación del factor de planta entre aerogeneradores horizontales y verticales*

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Rango típico de FP</b>
<b>Turbina eólica grande</b>	30–45 %
<b>Turbina de eje vertical</b>	10–25 %
<b>Prototipo Savonius rural</b>	1–5 %

**Nota:** (Ackermann & Söder, 2002)

### 2.5.3. Viabilidad económica de sistemas eólicos

Para evaluar la viabilidad económica de un sistema eólico en contextos rurales o aislados, es necesario considerar diversos factores que influyen directamente en el rendimiento económico del

proyecto a largo plazo (Lunardi, Dalmon, De Oliveira, & De Souza, 2020). Dentro de los aspectos más relevantes, se pueden identificar los siguientes elementos:

- Costo de inversión inicial: Incluye el precio del aerogenerador, torre de soporte, sistema de almacenamiento (baterías), controlador de carga e instalación.
- Costos operativos y de mantenimiento: Comprende gastos periódicos por inspección técnica, lubricación, limpieza y reemplazo de componentes.
- Costo nivelado de energía (LCOE): Indicador que relaciona el costo total de un sistema de generación con la cantidad total de energía acumulada.
- Vida útil del sistema: En general, Los aerogeneradores de pequeña escala presentan, en promedio, la vida útil del sistema entre 15 a 25 años.
- Comparación con tecnologías alternativas: Como paneles solares fotovoltaicos o generadores a diésel, considerando tanto el costo por kWh como la sostenibilidad ambiental.

La integración de estos factores permite determinar la rentabilidad del sistema y tomar decisiones técnicas-económicas adecuadas para el entorno donde se instalará la tecnología renovable.

$$LCOE = \frac{\text{Inversión inicial} + \Sigma \text{Costos anuales de operación y mantenimiento (O\&M)}}{\Sigma \text{Energía generada anual (kWh)}} \quad (6)$$

#### **2.5.4. El valor presente neto (VAN)**

El valor presente neto es una medida financiera para establecer la magnitud actual de la economía. Un proyecto es factible si se obtiene algún tipo de beneficio, tras calcular los flujos futuros de ingresos y costos y descontar la inversión (Bellido, 2022)

El VAN es un indicador o una herramienta financiera para evaluar la rentabilidad de una inversión de proyecto si  $VAN > 0$  La inversión es rentable, ya que genera más dinero del necesario para cubrir el costo de la inversión y la tasa de descuento,  $VAN = 0$  La inversión genera justo el retorno esperado, sin ganancias ni pérdidas y si  $VAN < 0$  La inversión no es rentable, ya que no cubre la inversión inicial a la tasa de descuento deseada.

### **2.5.5. La tasa interna de retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero clave que determina la tasa de descuento que iguala a cero el Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto. Este parámetro permite estimar la rentabilidad esperada de una inversión, permitiendo evaluar su viabilidad económica al compararla con la tasa mínima aceptable de retorno.

El criterio fundamental para aceptar o rechazar la viabilidad del proyecto, es la tasa interna de retorno, es decir, si el TIR es mayor a la tasa de descuento el proyecto de inversión, es aceptable y si es menor a la tasa de descuento será inviable el proyecto (Márquez, 2015)

### **2.5.6. Plazo de recuperación (Playback)**

Es una herramienta de evaluación financiera que permite estimar el tiempo requerido para recuperar el capital invertido en un proyecto, facilitando a las empresas la toma de decisiones sobre la viabilidad económica de sus inversiones. Una inversión sostiene se mas lucrativa que una inversión, otra con la única justificación de que facilita la recuperación anticipada de inversión de recursos (Bellido, 2022).

Entre las principales ventajas de determinar del (Playback) se destacan:

- Es un método de análisis financiero de fácil comprensión y aplicación, ya que únicamente requiere conocer el monto de la inversión.
- contribuye a la estimación rápida del tiempo necesario para recuperar dicha inversión del proyecto.
- En escenarios de crisis, este método permite priorizar proyectos de rápida recuperación, fortaleciendo la confianza de los inversionistas.

Da prioridad a proyectos que generan retornos en el menor tiempo posible, lo cual es de suma importante para las empresas grandes o personas con restricciones de flujo de caja.

### **III. CAPITULO**

#### **MATERIALES Y METODOS**

##### **3.1. Hipótesis general**

Es posible determinar el potencial energético eólico en la Isla de los Uros mediante la implementación y análisis del rendimiento de un aerogenerador vertical tipo Savonius de 400W.

##### **3.2. Hipótesis específicas**

- Existe el recurso eólico disponible en la Isla de los Uros a partir de la velocidad del viento, empleando datos meteorológicos y registros del dispositivo Victron Cerbo GX, como parte del estudio de generación de energía eléctrica en una vivienda.
- El aerogenerador eólico tipo Savonius de 400 W instalado en la Isla de los Uros alcanza un factor de rendimiento aceptable dentro de los rangos operativos previstos, permitiendo validar su desempeño en condiciones reales.
- La implementación de un sistema eólico aislado en una vivienda de la Isla de los Uros es económicamente viable, considerando los costos del sistema.

##### **3.3. Tipo, nivel y diseño de investigación**

###### **3.3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema práctico mediante el uso de tecnología renovable, proponiendo una alternativa sostenible para el abastecimiento energético en zonas rurales aisladas como la Isla de los Uros. se enfoca en evaluar la factibilidad técnica y económica de un sistema eólico de eje vertical instalado en condiciones reales.

###### **3.3.2. Nivel de investigación**

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque de investigación cuantitativa y corresponde al tipo descriptivo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos con el propósito de evaluar el desempeño técnico y la viabilidad del sistema eólico de eje vertical implementado en la isla Uros.

### **3.3.3. Diseño de investigación**

El diseño de investigación adoptado es de tipo no experimental, con enfoque cuantitativo. En este caso, la investigación se desarrolló mediante la instalación y puesta en marcha de un sistema eólico de eje vertical, lo que permitió registrar y analizar datos reales de velocidad del viento, potencia generada. La investigación se desarrolló en condiciones reales, lo que permitió observar el comportamiento del sistema en un contexto específico (la Isla de los Uros) y evaluar su desempeño energético.

### **3.4. Población y muestra.**

#### **3.4.1. Población**

La población del estudio actual está compuesta por una vivienda ubicada en la Isla de los Uros, región Puno, la cual representa un caso típico dentro de las condiciones de aislamiento energético de la comunidad. Dicha vivienda fue seleccionada por presentar condiciones adecuadas para la instalación del sistema eólico y por estar expuesta a condiciones de viento representativas de la zona.

#### **3.4.2. Muestra**

La selección de la muestra es no probabilística por conveniencia, definida en función del criterio del investigador. Esta incluye la instalación y monitoreo de un sistema eólico de eje vertical de 400 W tipo Savonius. En una vivienda representativa ubicada en la Isla de los Uros, Puno.

Para la caracterización del recurso eólico de la zona, se utilizaron datos históricos de velocidad y dirección del viento proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Además, se emplearon los datos generados por el sistema de monitoreo Victron Cerbo GX, los cuales permitieron registrar variables eléctricas como voltaje, corriente y potencia durante un periodo de tres meses, lo que facilitó el análisis del desempeño real del sistema eólico instalado.

### 3.4.3. Recursos humanos

- Tesistas
- Personal para el montaje e instalar
- Pobladores de la Isla Uros
- Personal para el mantenimiento del sistema eólico

### 3.5. Localización

El presente estudio energético renovable se realizó en la Isla de los Uros, este es una comunidad indígena de los Urus se localiza en la bahía, del departamento de Puno, la mayoría de su población se ha asentado durante siglos en enormes balsas de totora denominados "Islas Flotantes" los cuales se encuentran las aguas del lago Titicaca.

#### Figura 10:

*Ubicación de la isla de los Uros Departamento de Puno.*

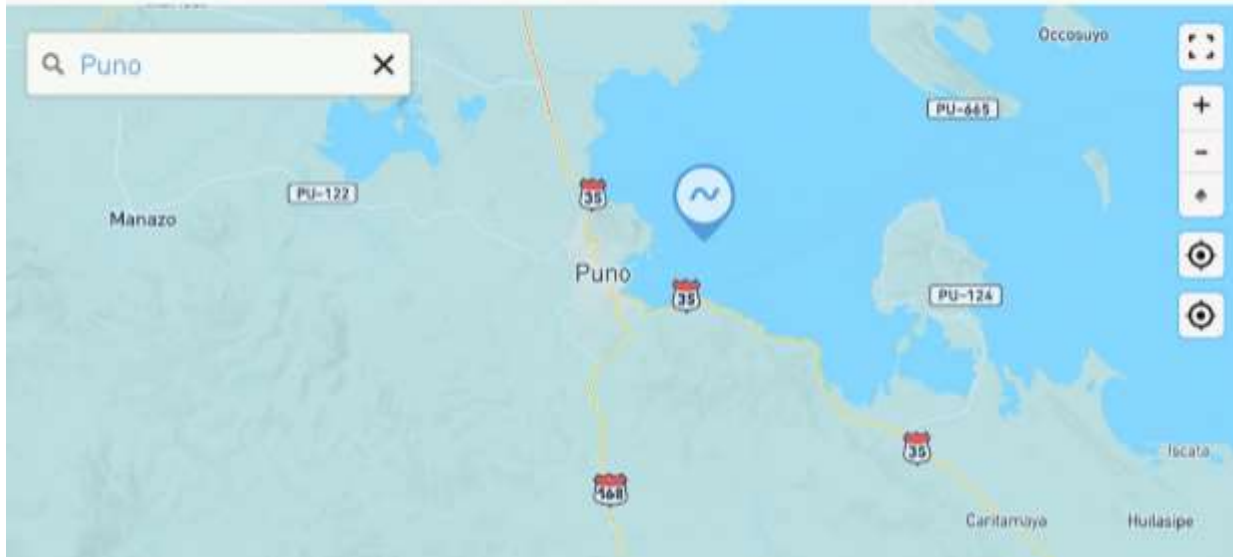


*Nota:* (Google Maps)

## Figura 11:

*Ubicación del proyecto Isla Flotante Los Uros, Puno.*

### Establecer ubicación para PROYECTO DE TESIS GENERADOR EOLICO (SAVONIUS) - UROS - PUNO



#### 3.5.1. Ubicación Geográfica:

Latitud: 15°49'14.1'' (Sur)

Longitud: 69°58'08.1'' (Oeste)

Altitud: 3812 m.s.n.m

#### 3.5.2. Recursos Materiales y/o Equipos

##### A) Turbina eólica de eje vertical (Savonius 400 W)

Este generador versátil y eficiente es perfecto tanto para uso doméstico como para entornos corporativos. Con un diseño de hélice vertical, nuestro generador de turbina eólica es capaz de generar energía sostenible incluso en condiciones de poco viento

**Figura 12:**

*Turbina eólica de eje vertical Marca (FLTXNY) 400W*



**Tabla 4:**

*Especificaciones técnicas – Turbina FLTXNY 400W (Eje vertical tipo Savonius).*

<b>Característica</b>	<b>Valor / Descripción</b>
<b>Marca / Modelo</b>	FLTXNY / FR-400
<b>Tipo de turbina</b>	Eje vertical (tipo Savonius, arrastre)
<b>Potencia nominal</b>	400 W
<b>Tensión de salida</b>	12 V / 24 V / 48 V (según modelo)
<b>Velocidad inicial aproximada</b>	≈ 2 m/s
<b>Velocidad media</b>	11–12 m/s
<b>Velocidad máxima segura</b>	Hasta 40–45 m/s
<b>Generador</b>	Trifásico de imanes permanentes.

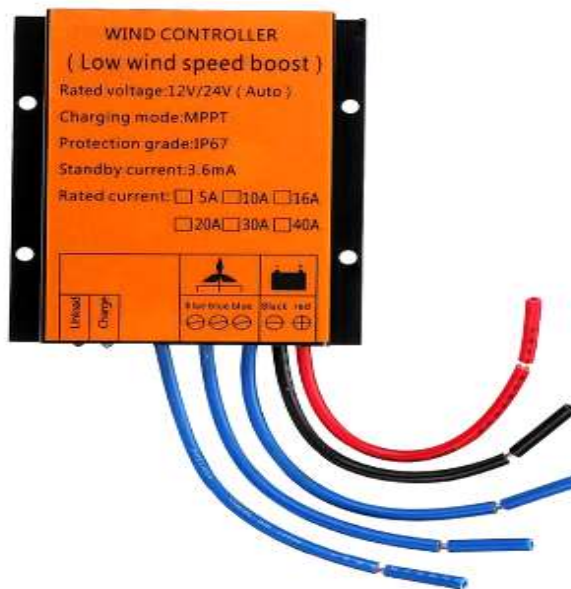
## B) Controlador MPPT Universal para turbina aerogenerador

El controlador MPPT (Maximum Power Point Tracking) utilizado en este proyecto cumple la función de optimizar la captación de energía generada por la turbina eólica de eje vertical. Este dispositivo cuenta con un rectificador interno, lo que le permite recibir corriente alterna (AC) directamente desde el generador de la turbina Savonius y convertirla en corriente continua (DC), adecuada para la carga de baterías.

Además de realizar la conversión, el controlador regula el voltaje y la corriente para mantener una carga eficiente y segura, adaptándose a las condiciones variables del viento. Gracias a su tecnología MPPT, el dispositivo asegura que la turbina opera en su máximo punto de potencia, aumentando su eficiencia general del sistema

### Figura 13:

*Controlador MPPT Universal con rectificador interno para turbina eólica Savonius*



*Nota:* El controlador de carga eólica regula la energía generada por la turbina antes de su almacenamiento, protegiendo el sistema y optimizando la captación mediante tecnología MPPT, incluso a bajas velocidades del viento, (FLTXNY, 2024).

**Tabla 5:**

*Descripción del Controlador MPPT Universal para Aerogenerador.*

<b>Característica</b>	<b>Detalle</b>
<b>Nombre del componente</b>	Controlador MPPT Universal para Aerogenerador
<b>Función principal</b>	Optimizar la captación y regulación de energía desde la turbina
<b>Entrada</b>	Corriente alterna (AC) desde el generador eólico
<b>Rectificador interno</b>	Sí. Convierte AC a DC internamente
<b>Salida</b>	Corriente continua (DC) hacia el banco de baterías
<b>Tecnología MPPT</b>	Sí. Maximiza la absorción de energía operando en su máximo punto de potencia
<b>Aplicación del sistema</b>	Regula la carga de las baterías, mejora la eficiencia del sistema eólico Savonius en condiciones de viento variable

### **C) Victron Cerbo GX**

El **Victron Cerbo GX** es una unidad de control y monitoreo central que facilita visualizar y analizar en tiempo real todos los componentes de un sistema, como turbinas eólicas, paneles solares, baterías e inversores.

En el contexto del sistema eólico Savonius aislado, este dispositivo permite:

- Supervisar parámetros eléctricos como voltajes, corrientes y potencias generadas.
- Visualizar el estado de carga de las baterías.
- Registrar el historial de datos para análisis técnico.
- Facilitar la conexión a una pantalla táctil (GX Touch) o monitoreo remoto vía internet.

Gracias a su integración, el Cerbo GX optimiza el control del sistema híbrido y permite detectar fallos o pérdidas de eficiencia, mejorando el rendimiento general del sistema eólico instalado en zona de la Isla de los Uros.

**Figura 14:**

*Cerbo GX Victron Energy*



*Nota:* El dispositivo mostrado es un Victron Cerbo GX, un equipo de monitoreo y control que centraliza la información del sistema en tiempo real (Victron Energy, 2020)

**Tabla 6:**

*Especificaciones técnicas del Victron Cerbo GX para monitoreo y gestión del sistema.*

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación</b>
<b>Fabricante</b>	Victron Energy
<b>Modelo</b>	Cerbo GX
<b>Voltaje de alimentación</b>	8 a 70 V DC
<b>Puertos de comunicación</b>	VE.Direct, VE.Can, VE.Bus, USB, Ethernet, Wi-Fi
<b>Interfaces de entrada/salida</b>	4 entradas , 2 salidas , 2 salidas relé
<b>Pantalla opcional</b>	GX Touch 50 / GX Touch 70 (conexión HDMI y USB)
<b>Monitoreo remoto</b>	Compatible con Victron VRM Portal (acceso web)
<b>Conectividad</b>	Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, USB
<b>Temperatura de operación</b>	-20 °C a +50 °C
<b>Montaje</b>	Sobre riel DIN o superficie
<b>Consumo de energía</b>	< 2W

#### D) Controlador MPPT Blue Solar 75V 15V

El Victron BlueSolar MPPT 75/15 es un controlador de carga que optimiza la conversión de energía solar o eólica en sistemas aislados. En tu proyecto, recibe energía DC proveniente del controlador del aerogenerador Savonius, y regula la carga hacia las baterías mediante seguimiento el punto de mayor potencia (MPPT), maximizando la eficiencia del sistema. Este dispositivo ajusta automáticamente su funcionamiento a sistemas de 12 o 24 V, protege contra sobrecargas, polaridad inversa y altas temperaturas, y se comunica con el Victron Cerbo GX mediante puerto VE.Direct.

#### Figura 15:

*Controlador MPPT Blue Solar 75V 15V.*



*Nota: (Victron Energy, 2020)*

#### Tabla 7:

*Características técnicas del controlador Victron BlueSolar MPPT 75/15V.*

Parámetro	Valor
Modelo	Victron BlueSolar MPPT 75/15
Tensión de entrada máxima (PV)	75 V DC
Corriente de carga máxima	15 A
Voltaje del sistema	12 / 24 V DC (autoajustable)
Tipo de carga	MPPT (seguimiento punto máximo)
Rendimiento	Hasta 98 %
Comunicación	VE.Direct (conexión a Cerbo GX)
Protección	Cortocircuito, polaridad inversa, sobrecalentamiento
Dimension	100 x 113 x 40 mm
Peso	0.5 kg

### E) Inversor Victron Phoenix 12V 500VA

El Victron Phoenix 12V 500VA es un inversor de onda sinusoidal pura diseñado para convertir la energía en corriente continua (DC) almacenada en baterías de 12V, en corriente alterna (AC) de 230V, adecuada para alimentar dispositivos eléctricos convencionales en viviendas rurales. En el sistema propuesto, este inversor suministra energía alterna desde la batería cargada por el aerogenerador vertical Savonius y sus controladores. Destaca por su alta eficiencia, capacidad para picos de arranque, protección contra sobrecargas y una calidad de onda adecuada para equipos sensibles.

**Figura 16:**

*Inversor Victron Phoenix 12V 500VA.*



*Nota: (Victron Energy, 2020)*

**Tabla 8:**

*Especificaciones técnicas del inversor Victron Phoenix 12V 500VA.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Modelo</b>	Victron Phoenix 12/500
<b>Potencia nominal de salida</b>	500 VA / 400 W
<b>Voltaje de entrada (DC)</b>	12 V
<b>Voltaje de salida (AC)</b>	230 V $\pm$ 2 %, 50 Hz
<b>Tipo de salida</b>	Onda sinusoidal pura
<b>Pico de potencia</b>	900 W
<b>Eficiencia máxima</b>	90 %
<b>Protección</b>	Sobrecarga, cortocircuito, temperatura
<b>Comunicación opcional</b>	VE.Direct

## F) Batería 100AH 12V Gel

La batería Tenste Gel 100Ah 12V es una batería de ciclo profundo que emplea tecnología de electrolito en gel, lo cual proporciona una mayor seguridad, durabilidad y resistencia a descargas profundas. Es ideal para sistemas solares y eólicos debido a su baja tasa de autodescarga, libre mantenimiento y larga vida útil. En el contexto de tu proyecto, La batería cumple la función de almacenar la energía generada por el sistema eólico tipo Savonius, permitiendo el suministro eléctrico durante periodos sin viento.

### Figura 17:

*Batería 100AH 12V Gel*



*Nota: (Tenste, 2024)*

### Tabla 9:

*Características técnicas de la batería Tenste Gel 100Ah 12V.*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Marca</b>	Tenste
<b>Tipo</b>	Gel
<b>Capacidad teórica o nominal</b>	100 Ah
<b>Voltaje de entrada nominal</b>	12 V
<b>Tecnología</b>	Electrolito en Gel
<b>Ciclos de vida (al 50% DOD)</b>	≈ 1000 ciclos
<b>Libre de mantenimiento</b>	Sí

<b>Uso recomendado</b>	Energía solar/eólica, respaldo
<b>Dimensiones (aprox.)</b>	330 × 173 × 215 mm
<b>Peso</b>	~29 kg

### G) Cable VE. Direct VICTRON

El cable VE.Direct de Victron Energy es un componente de comunicación que permite la interconexión entre dispositivos Victron compatibles, como controladores MPPT, inversores y monitores Cerbo GX. Su función principal es transmitir datos para la supervisión, configuración y monitoreo del sistema mediante plataformas como VictronConnect o pantallas GX. Su diseño robusto asegura una conexión estable en entornos de energía renovable.

#### Figura 18:

*Cable VE. Direct*



*Nota:* (Victron Energy, 2020)

#### Tabla 10:

*Características del cable de comunicación VE.Direct – Victron.*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Marca</b>	Victron Energy
<b>Modelo</b>	VE.Direct Cable
<b>Tipo de conector</b>	VE.Direct (protocolo propietario)
<b>Compatibilidad</b>	Controladores MPPT, inversores, Cerbo GX, entre otros de Victron

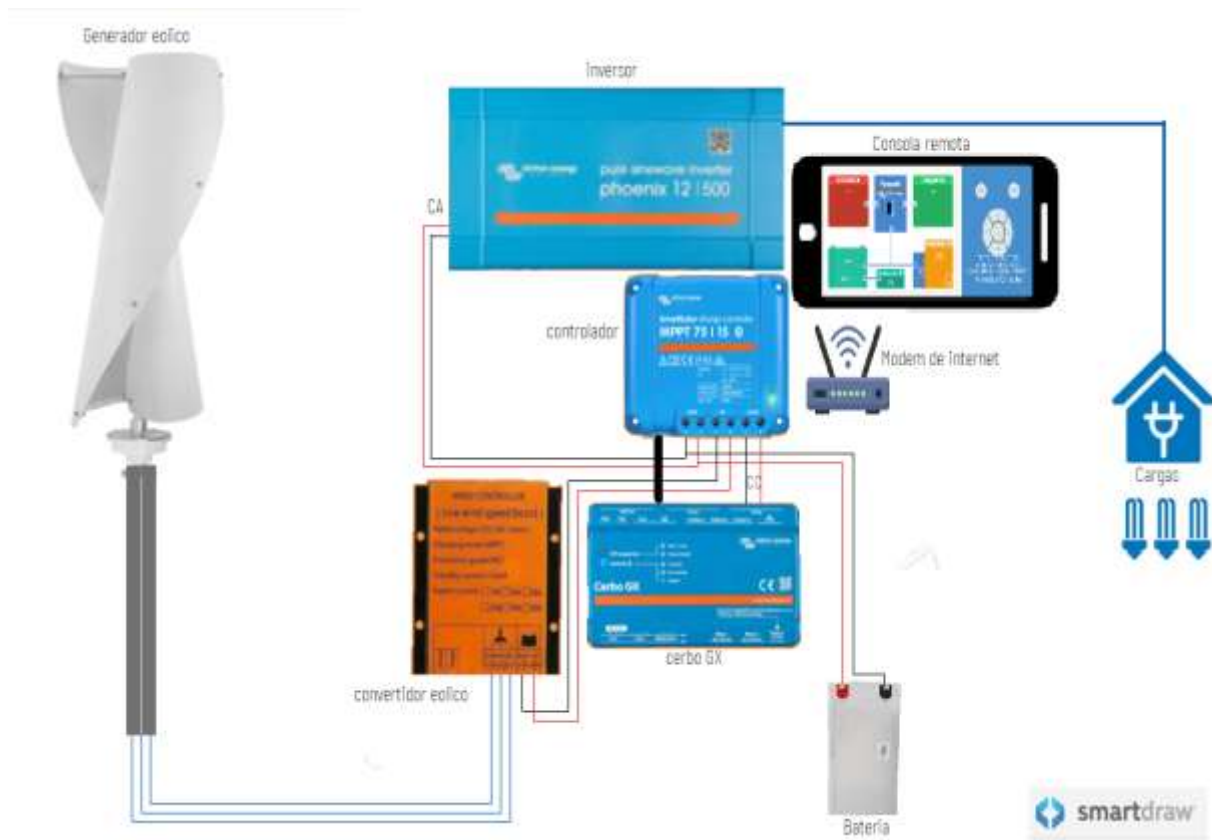
<b>Función principal</b>	Comunicación de datos
<b>Uso</b>	Supervisión, configuración y monitoreo de sistemas Victron
<b>Color</b>	Negro

### 3.5.3. Procedimiento técnico para la implementación del sistema eólico.

#### a). esquema eléctrico del sistema eólico

**Figura 19:**

*Esquema eléctrico del sistema eólico aislado (Smartdraw)*



#### i. Importación de la turbina eólica

Inicialmente, para dar inicio a la ejecución del proyecto, se procedió con la adquisición de un sistema eólica de eje vertical tipo Savonius con una potencia nominal de 400 W, la cual fue importada desde China a través de la plataforma comercial AliExpress. Esta turbina fue seleccionada de este modelo a su capacidad de funcionamiento eficiente en condiciones de baja velocidad de viento, características propias del entorno donde se desarrolló la implementación.

**Figura 20:**

*Importación de la turbina*



*Nota: (FLTXNY, 2024)*

**ii. Ensamblaje del tablero de control**

Una vez adquiridos todos los componentes del sistema eólico aislado, como la batería, el controlador de carga, el inversor y el cableado correspondiente, se procedió al armado del tablero eléctrico. Posteriormente, se realizó la configuración de cada uno de los equipos, a fin de asegurar su adecuado funcionamiento e integración dentro del sistema. En las siguientes imágenes se muestra el armado del tablero.

## Figura 21:

*Armado del tablero*



### iii. Verificación del sitio e instalación del sistema eólico

Con el tablero eléctrico completamente armado y los equipos, como el Cerbo GX, debidamente calibrados, se procedió a verificar el lugar designado para la instalación del sistema. Esta evaluación incluyó la revisión de las condiciones del terreno, asegurando que fuese adecuado para un anclaje firme y seguro de la estructura eólica. Una vez validado el sitio, se realizó la implementación y ensamblaje del sistema de forma ordenada y técnica, con el objetivo de garantizar el óptimo funcionamiento del sistema y permitir la recolección precisa de todos los datos eléctricos necesarios para el análisis técnico posterior. Podemos observar en las siguientes imágenes el traslado de equipos, al lugar de instalación.

**Figura 22:**

*Vista del entorno de instalación de la turbina*



**Figura 23:**

*Descarga de los equipos en la Isla de los Uros*



#### iv. Instalación y disposición final del sistema eléctrico

Una vez seleccionado y validado el lugar de instalación, se procedió con la implementación del sistema eólico y el tendido del cableado correspondiente. El tablero eléctrico fue instalado en una ubicación adecuada, garantizando tanto la seguridad como el correcto funcionamiento del sistema. Las imágenes que se presentan a continuación permiten visualizar detalladamente el procedimiento de instalación y la disposición final de los equipos.

#### Figura 24:

*Sistema de control eléctrico en funcionamiento*



## Figura 25:

*Funcionamiento de la turbina eólica en campo*



### 3.5.4. Descripción funcional del Cerbo GX aplicado al monitoreo del sistema

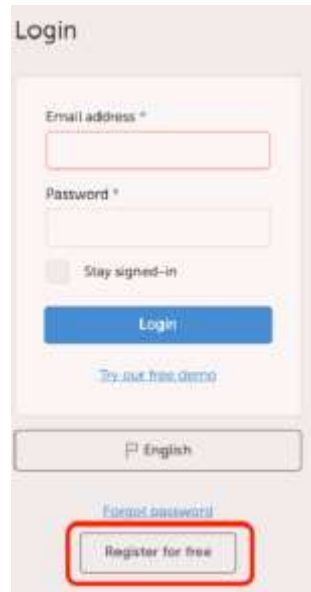
A continuación, se detalla el proceso de configuración y calibración del dispositivo Cerbo GX para el monitoreo del sistema eólico en la Isla de los Uros:

#### **Paso 1. Creación de cuenta en el portal VRM**

Desde una laptop y un dispositivo móvil (celular), ambos con acceso a internet mediante un módem portátil, se ingresó al portal oficial de monitoreo de Victron Energy: <https://vrm.victronenergy.com>. En dicha plataforma se procedió a crear una cuenta de usuario, registrando un correo electrónico válido y estableciendo una contraseña segura. Esta cuenta fue necesaria para vincular el Cerbo GX con el portal VRM y habilitar la supervisión remota de todos los parámetros eléctricos del sistema.

**Figura 26:**

*Creación de cuenta en el portal VRM de Victron Energy.*



*Nota:* creación de cuenta en el portal de Victron Energy permite acceder al sistema de monitoreo en línea para visualizar y controlar.

**Paso 2. Conexión del Cerbo GX a la red**

El Cerbo GX fue conectado al módem mediante Wi-Fi, lo que permitió que el equipo pudiera comunicarse con el portal VRM. También se verificó la conexión desde un teléfono móvil, mediante la App VictronConnect, para comprobar la disponibilidad del equipo.

**Figura 27:**

*Cerbo GX conectado a internet y verificado vía app*

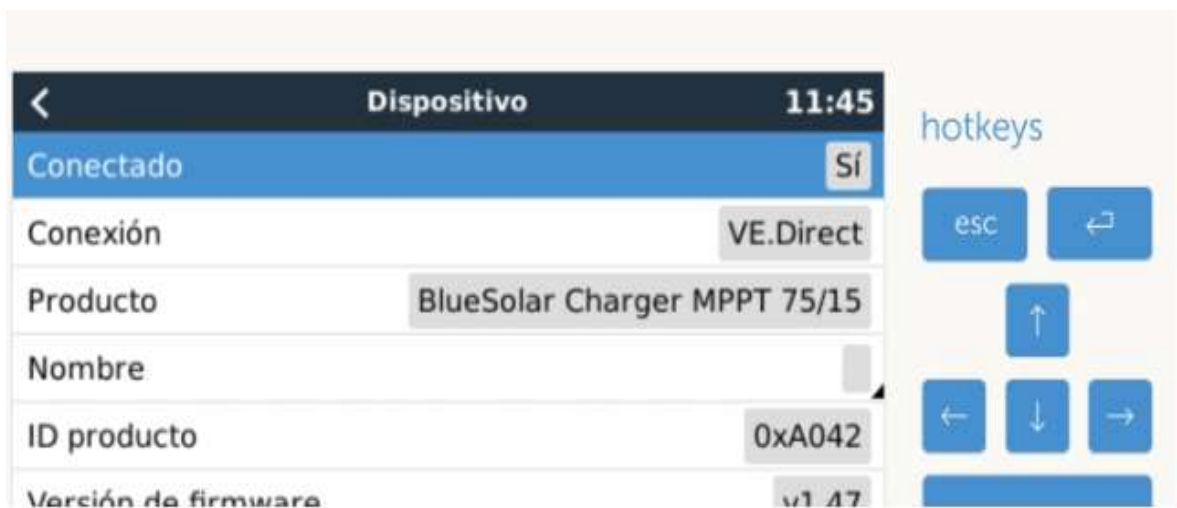


### Paso 3: Registro del dispositivo Cerbo GX

Una vez conectado a internet, se ingresó el número de identificación del Cerbo GX en el portal VRM. El equipo fue reconocido, y el sistema mostró los dispositivos conectados, como el MPPT, el inversor y el sensor de batería.

**Figura 28:**

*Registro del Cerbo GX en el portal VRM*

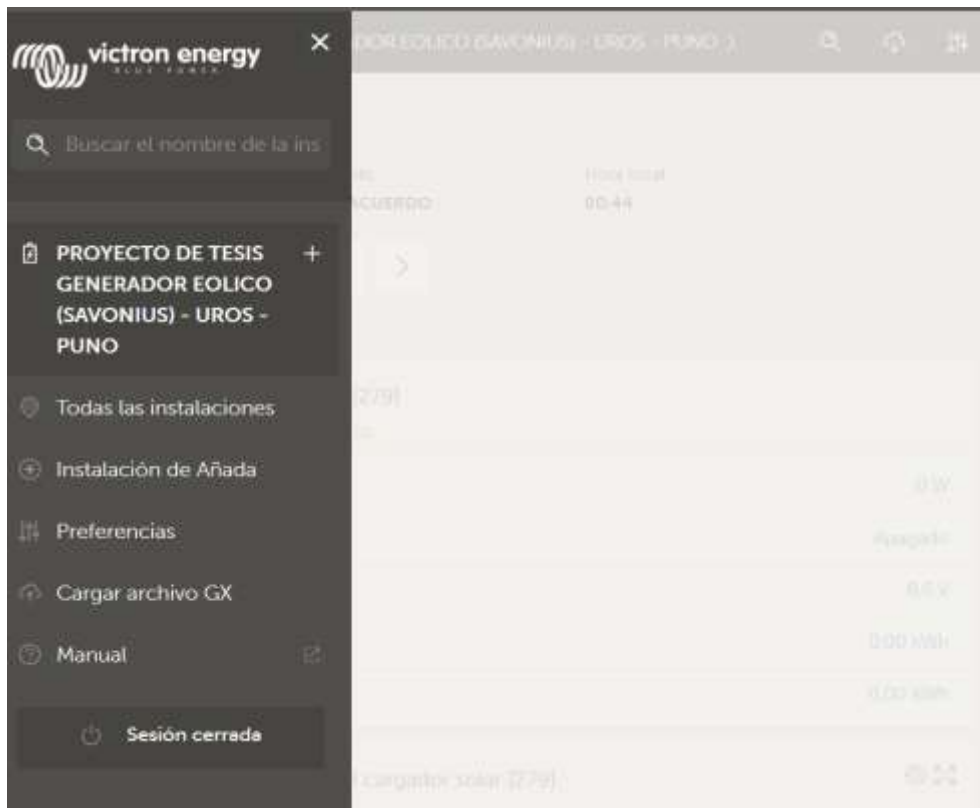


*Nota:* registro de datos en el dispositivo en tiempo real.0.

Desde la laptop, se ingresó al portal VRM y se añadió el VRM Portal ID del Cerbo GX. El sistema reconoció el equipo y solicitó crear un nuevo sitio, donde se asignó nombre, ubicación geográfica y tipo de instalación. Automáticamente, se vincularon los dispositivos conectados (MPPT, inversor, batería), habilitando la supervisión remota del sistema.

**Figura 29:**

*Registro del proyecto y vinculación del Cerbo GX en VRM.*



### **Paso 5. Visualización de los datos mediante widgets**

En el portal VRM se configuraron widgets que permiten la visualización gráfica y en tiempo real de los datos eléctricos del sistema, con registros a intervalos de un minuto. Entre las variables monitoreadas se incluyen:

- Voltaje de batería (V)
- Corriente de carga (A)
- Potencia generada instantáneamente (W)
- Estado operativo del controlador MPPT y del inversor.

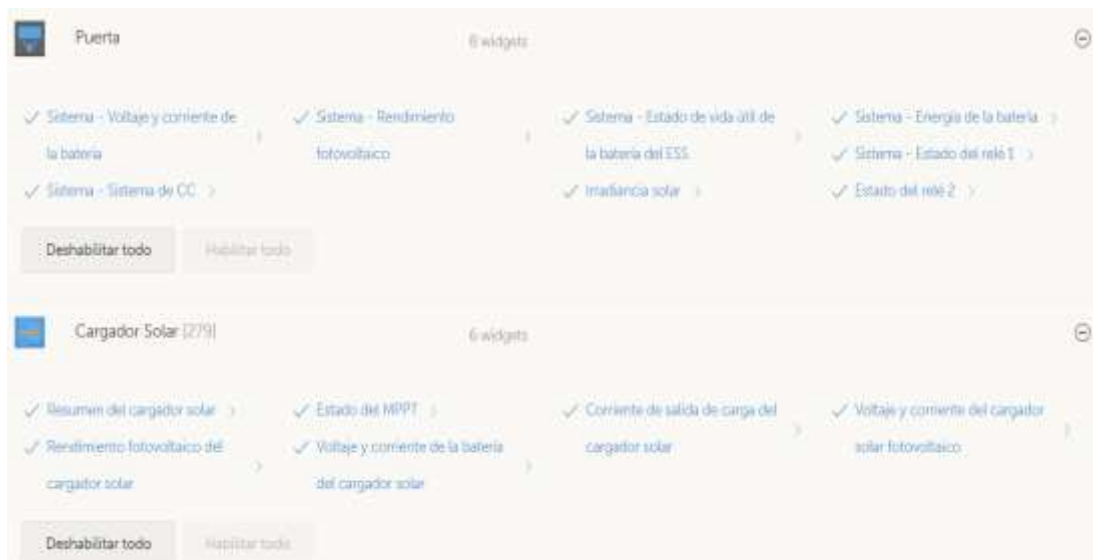
**Figura 30 :**

*Monitoreo en tiempo real del sistema en VRM.*



**Figura 31:**

*Panel de widgets personalizados para monitoreo de variables del sistema*



Nota: El panel de widgets personalizados permite visualizar y monitorear en tiempo real las principales variables del sistema energético, como voltaje, corriente, potencia y estado de carga.

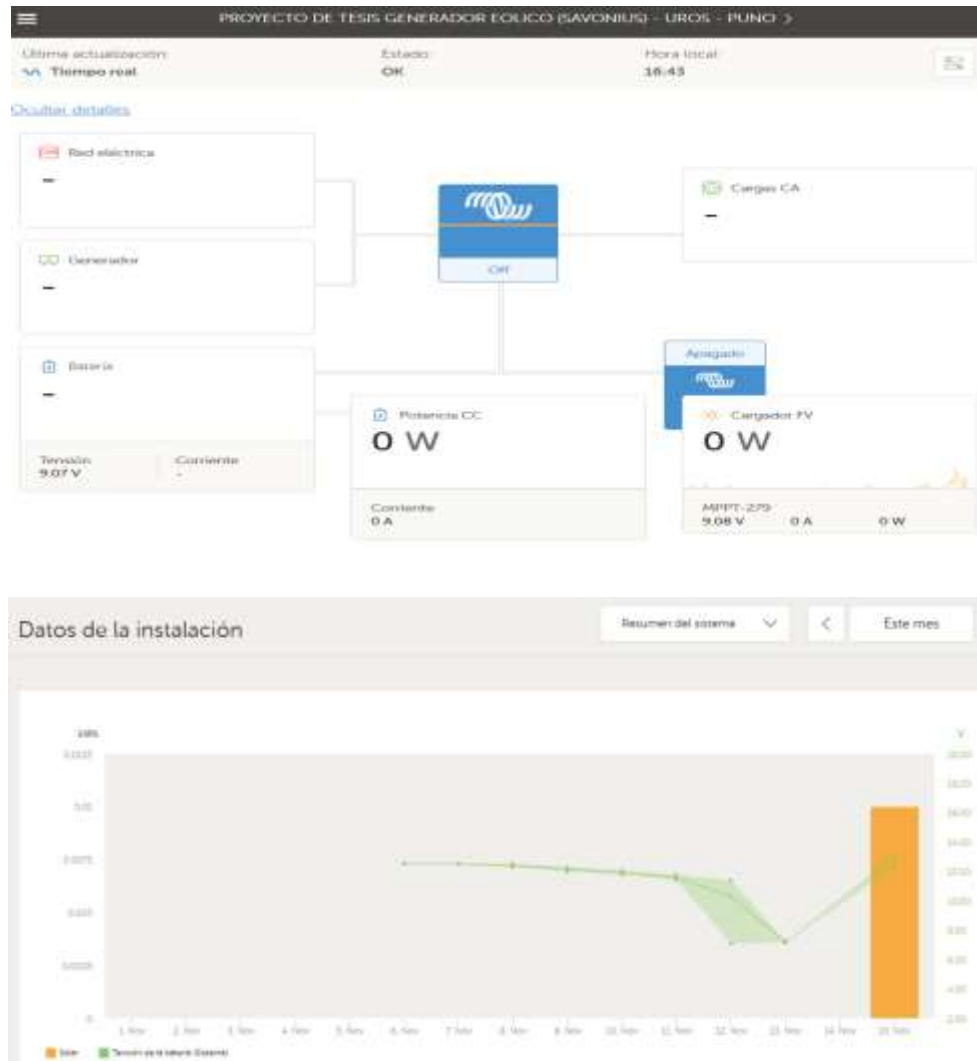
## **Paso 6. Visualización del sistema en tiempo real desde el portal VRM**

Una vez completadas las configuraciones previas, se accedió a la pantalla principal del portal VRM, donde se visualizó el sistema operando en tiempo real. En esta interfaz se mostraron los dispositivos

conectados (Cerbo GX, MPPT, inversor, sensor de batería), así como valores actualizados de voltaje, corriente y potencia. Esta vista permitió validar el funcionamiento continuo del sistema eólico y su comportamiento energético.

**Figura 32:**

*Visualización del sistema en tiempo real desde el portal VRM*



*Nota:* visualización de datos en tiempo real (Fuente propia).

En esta extensión de la consola remota del Cerbo GX observamos los datos de resúmenes diarios de la tensión del generador, potencia del generador, voltaje mínimo y máximo de la batería, corriente de la batería, y otros parámetros, como podemos observar en la figura.

**Figura 33:**

Consola remota, historial diario de los datos proporcionados del controlador



Se recopilaron los registros de potencia, tensión y voltaje del sistema mediante el monitoreo del Cerbo GX durante los 3 meses de septiembre, octubre y noviembre. Estos datos fueron exportados y procesados en Microsoft Excel para estimar la velocidad promedio del viento y evaluar el desempeño del sistema eólico instalado.

**Figura 34:**

Datos registrados por el Cerbo GX procesados en Excel

Time	Gateway [0]	Solar Charger [278]										System overview [0]		
Punto/Uros	VEM Log time offset	CCGX Relay 2 state	Voltage	Current	Battery watts	Charger in/off	Charge state	Turbine voltage	Turbine power	Maximum charge power today	Maximum charge power yesterday	User yield		
s			V	A	W			V	W	W	kWh			
10/11/2024 00:00	472530	Open	9.14	0	0.0	Off		12.46	2	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:01	472470	Open	9.14	0.2	3.0	Off		12.21	2	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:03	472410	Open	9.13	0.1	3.0	Off		9.02	1	8	12	0.3	9.13	No alarm
10/11/2024 00:03	472350	Open	9.13	1	5.0	Off		8.35	1	8	12	0.3	9.13	No alarm
10/11/2024 00:04	472290	Open	9.15	0.4	3.0	Off		13.05	3	8	12	0.3	9.15	No alarm
10/11/2024 00:05	472230	Open	9.11	0	3.0	Bulk		9.44	0	8	12	0.3	9.11	No alarm
10/11/2024 00:06	472170	Open	9.14	0	3.0	Off		12.57	2	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:07	472110	Open	9.14	0.1	3.0	Off		14.85	3	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:08	472050	Open	9.14	0.1	3.0	Bulk		13.13	3	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:09	471990	Open	9.11	0.1	3.0	Bulk		9.59	0	8	12	0.3	9.11	No alarm
10/11/2024 00:10	471930	Open	9.14	0.1	3.0	Off		11.25	1	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:11	471870	Open	9.14	0.1	3.0	Off		14.42	5	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:12	471810	Open	9.14	0.1	3.0	Off		11.08	2	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:13	471750	Open	9.11	0.1	3.0	Off		7.21	0	8	12	0.3	9.11	No alarm
10/11/2024 00:14	471690	Open	9.11	0.1	3.0	Off		14.44	6	8	12	0.3	9.11	No alarm
10/11/2024 00:15	471630	Open	9.15	0	3.0	Off		12.58	4	8	12	0.3	9.15	No alarm
10/11/2024 00:16	471570	Open	9.12	0	3.0	Off		12.50	3	8	12	0.3	9.12	No alarm
10/11/2024 00:17	471510	Open	9.11	0	0.0	Off		14.85	2	8	12	0.3	9.11	No alarm
10/11/2024 00:18	471450	Open	9.14	0.3	3.0	Bulk		12.28	2	8	12	0.3	9.14	No alarm
10/11/2024 00:19	471390	Open	9.14	0	0.0	Off		14.3	2	8	12	0.3	9.14	No alarm

### 3.5.5. Obtención de datos meteorológicos complementarios (SENAMHI)

Para complementar los datos registrados por el sistema Cerbo GX, se solicitó información climatológica al SENAMHI – Oficina Regional Puno. Mediante una solicitud formal, se obtuvieron registros de temperatura promedio, humedad relativa y velocidad del viento correspondiente al año 2024, proveniente de la estación más cercana a la Isla de los Uros.

Los datos recopilados fueron organizados y sistematizados en hojas de cálculo elaborado en Microsoft Excel, para su procesamiento y se utilizaron en la estimación de la densidad del aire, así como para validar los valores registrados por el sistema de monitoreo.

**Figura 35:**

*Base de datos SENAMHI 2024*

	A	B	C	D	E
1	<b>ESTACION METEOROLOGICA AUTOMATICA PUNO</b>				
2	<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>VELOCIDAD DE VIENTO (m/s)</b>	<b>DIRECCION DE VIENTO</b>
3	10/01/2023	0:00:00	10.2	1.5	290
4	10/01/2023	1:00:00	9.3	1.3	333
5	10/01/2023	2:00:00	9.6	1.2	288
6	10/01/2023	3:00:00	10.1	1.6	331
7	10/01/2023	4:00:00	9.1	0.4	269
8	10/01/2023	5:00:00	8.5	2.8	99
9	10/01/2023	6:00:00	7.6	1.8	46
10	10/01/2023	7:00:00	7.4	1.6	281
11	10/01/2023	8:00:00	9.5	2	97
12	10/01/2023	9:00:00	11.2	2.5	137
13	10/01/2023	10:00:00	13.3	2.6	133
14	10/01/2023	11:00:00	15	3.9	127
15	10/01/2023	12:00:00	16.7	3.7	93
16	10/01/2023	13:00:00	18.3	3.5	71
17	10/01/2023	14:00:00	19.2	6.3	106
18	10/01/2023	15:00:00	18.3	5.7	87
19	10/01/2023	16:00:00	16.8	4	57
20	10/01/2023	17:00:00	16.6	6.3	62
21	10/01/2023	18:00:00	14.4	6.9	81
22	10/01/2023	19:00:00	12.7	4.6	105
23	10/01/2023	20:00:00	13.1	2.5	223
24	10/01/2023	21:00:00	13	2.5	245
25	10/01/2023	22:00:00	12.2	2.1	274
26	10/01/2023	23:00:00	10.8	2.2	312

*Nota:* datos del recurso eólico de la estación meteorológica en la Isla de los Uros.

### **3.6. Estimación del potencial energético del recurso eólico disponible en la Isla de los Uros para la resolución del primer objetivo**

#### **3.6.1. Recolección de datos meteorológicos y eléctricos**

En este estudio, los datos utilizados para la evaluación del recurso eólico fueron obtenidos en la Isla de los Uros, donde se encuentra instalada una estación meteorológica administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Esta estación realiza mediciones constantes de múltiples variables atmosféricas; para el presente trabajo se consideraron específicamente los datos de velocidad y dirección del viento de la base de datos, comprende mediciones diarias durante 12 meses, desde diciembre de 2023 hasta noviembre de 2024, lo que permitió una caracterización anual del recurso eólico en la zona.

Además, como parte de la implementación del sistema eólico aislado, se utilizaron registros obtenidos mediante el dispositivo Victron Cerbo GX, que proporciona información detallada sobre el comportamiento eléctrico del sistema. Para este análisis, se recopilieron datos de potencia, voltaje y corriente generados por la turbina Savonius, instalada también a 5 metros de altura sobre el lago. Estos datos fueron recolectados de forma continua durante un periodo de tres meses, correspondientes a septiembre, octubre y noviembre de 2024, con una resolución horaria, permitiendo un monitoreo preciso del desempeño real del sistema.

Los parámetros mencionados resultan fundamentales para la elaboración del estudio del potencial eólico local, así como para la validación del rendimiento del sistema implementado en condiciones reales de operación.

#### **3.6.2. Cálculo de variables atmosféricas**

##### **a). Análisis de la temperatura**

Para el cálculo de la temperatura promedio del lugar de estudio se consideró la siguiente ecuación matemática:

$$T_{promedio} = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_{promedio}}{12} \quad (7)$$

a) Presión atmosférica

La presión atmosférica corresponde la fuerza que ejercida la masa de aire sobre una superficie. En este estudio, se utilizó como variable clave para calcular la densidad del aire, a través de la ecuación de estado de los gases ideales, fundamental para la estimación del potencial energético eólico

$$P = P_0 * e^1 \left( -\frac{M * g * h}{R * T} \right) \quad (8)$$

Donde

$P_0$ : 101325, Pa (presión a nivel del mar)

$g$ : 9.81,  $m/s^2$  Gravedad

$M$ : 0.029, Kg/mol (masa molar de aire)

$R$ : 8.314, J/mol\*K (Constante universal de los gases)

$h$ : 3812 m.s.n.m.

b) Densidad del aire

La densidad del aire ( $\rho$ ) es una propiedad física que representa la masa de aire por unidad de volumen y es fundamental para el estudio de sistemas eólicos, ya que afecta la cantidad de energía que puede ser extraída del viento.

Formula de la densidad del aire ( $\rho$ ).

$$\rho = \frac{P}{R \times T} \quad (9)$$

**Donde**

$P$ : Presión atmosférica (Pa)

$R$ : Constante específica de los gases (287.05 J/ (kg. K))

### 3.6.3. Análisis la velocidad del viento

Para la caracterización del recurso eólico en la Isla de los Uros, se realizó un análisis combinado utilizando datos eléctricos registrados por el sistema Cerbo GX y datos meteorológicos históricos obtenidos del SENAMHI (estación Puno).

#### a) Cálculo de la velocidad media del viento

La velocidad del viento fue estimada por dos vías complementarias:

- **Vía indirecta (Cerbo GX):** A partir de los valores promedio de potencia generada (en W), se aplicó la ecuación de potencia eólica inversa para estimar la velocidad del viento, considerando la densidad del aire previamente calculada.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * C_p \quad (10)$$

$$v = \left( \frac{2 * P}{\rho * A * C_p} \right)^{1/3} \quad (11)$$

**Donde:**

- V: Velocidad del viento (m/s) - variable que se desea estimar.
- P: Potencia eléctrica generada (W) - obtenida a partir del registro del dispositivo Cerbo GX, a través del producto de voltaje y corriente suministrados por el aerogenerador.
- $\rho$ : Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>) - calculada considerando la altitud de la zona (3812 msnm), la presión atmosférica estimada, y la temperatura promedio

#### b) Área barrida del rotor (m<sup>2</sup>)

Calculada como:

$$A = D * H \quad (12)$$

**Donde:**

- D: Diámetro del rotor (m)
- H: Altura del rotor (m)

**Vía directa (SENAMHI):** Se utilizaron registros mensuales de velocidad del viento para el año 2024, procesados en Excel. Se halló la media aritmética mensual y anual, sirviendo como base comparativa para validar las estimaciones obtenidas desde el sistema Cerbo GX.

### 3.6.4. Análisis estadístico del recurso eólico (Weibull – Rosa de vientos)

#### a) Distribución de Weibull método empírico

La distribución de Weibull es una herramienta estadística ampliamente utilizada para modelar el comportamiento de la velocidad del viento en estudios de evaluación del recurso eólico. Esta permite estimar de forma más precisa la disponibilidad energética del viento, a través de dos parámetros fundamentales: el parámetro de forma K y el parámetro de escala C, los cuales determinan la forma y amplitud de la curva de distribución, respectivamente.

Los datos que vamos trabajar en parámetros k y c de Weibull son con los datos almacenados en tiempo real con un sistema eólico de eje vertical savonius y con los datos de SENAMHI.

#### Para calcular el parámetro de forma (K)

Se trata de un parámetro adimensional asociado a la función de distribución de Weibull, cuya magnitud depende directamente de la velocidad media del viento ( $V_m$ ) y de la desviación estándar del conjunto de datos, permitiendo caracterizar la variabilidad del recurso eólico en un determinado emplazamiento.

Tenemos esta fórmula para poder calcular la forma:

$$K = \left( \frac{\sigma}{v_m} \right)^{-1.086} \quad (13)$$

Donde:

$V_m$ = Velocidad media del viento

$\sigma$ = Desviación estándar

#### Para calcular el parámetro de escala (C)

Tenemos la siguiente fórmula para poder calcular la escala (C):

$$C = \frac{v_m}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{K}\right)} \quad (14)$$

Donde:

$V_m$ = velocidad media del viento

$\Gamma$ = vendría a ser la función gamma

$K$ = parámetro de forma (K)

## b) Rosa de vientos

La rosa de vientos constituye una representación gráfica que permite visualizar la frecuencia de ocurrencia de las diferentes direcciones del viento durante un periodo de tiempo determinado. Su análisis permite identificar la dirección predominante del viento, lo cual resulta esencial para la adecuada orientación del aerogenerador, incluso en configuraciones de eje vertical como la Savonius.

### 3.6.5. Determinación de la demanda eléctrica a nivel de una vivienda

Con el propósito de dimensionar adecuadamente el sistema eólico propuesto, se procedió a la caracterización de la demanda energética a través de una encuesta estructurada, aplicada a pobladores de la Isla de los Uros. El proceso de recolección de datos se llevó a cabo en una institución educativa de la zona, en coordinación con los docentes y líderes comunales, facilitando la participación representativa de las familias.

La encuesta estuvo orientada a identificar el número, tipo y frecuencia de uso de los principales artefactos eléctricos presentes en las viviendas, permitiendo establecer un perfil de consumo típico domiciliario. Esta información fue sistematizada y organizada en Microsoft Excel para su análisis cuantitativo.

Adicionalmente, se desarrolló una charla técnica-informativa sobre el aprovechamiento de energías renovables, enfocada en sus ventajas, funcionamiento y potencial en zonas rurales que no cuentan con conexión a la red eléctrica convencional. Esta actividad complementó el enfoque socioeducativo del proyecto, fomentando el involucramiento de la comunidad en la transición energética sostenible.

**Figura 36:**

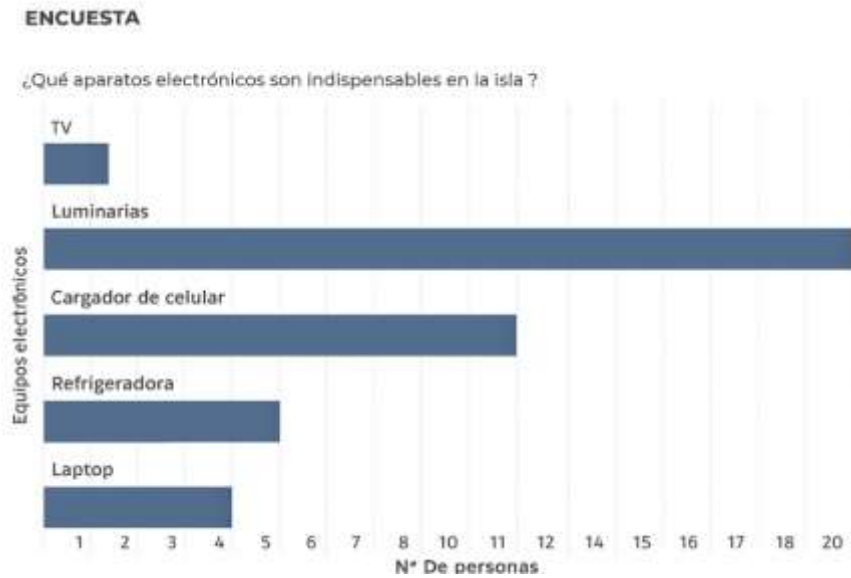
*Actividad de capacitación sobre energías renovables.*



*Nota: dirigida a estudiantes y pobladores de la Isla de los Uros.*

**Figura 37:**

*Cuadro de cargas de uso doméstico.*



*Nota:* cargas energéticas domiciliarias identificadas mediante encuestas comunitarias.

**Tabla 11:**

*Cuadro de cargas*

	<b>cargas eléctricas</b>	<b>Pot Nominal (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Pot Total (W)</b>	<b>Horas/oper (h)</b>	<b>Energía (Wh)</b>
<b>1</b>	Luminaria 1	7	1	7	4	28
<b>2</b>	Luminaria 2	7	1	7	2	14
<b>3</b>	radio	10	2	20	2	40
<b>4</b>	cargador	7.5	2	15	3	45
			<b>Total</b>	<b>49</b>		<b>127</b>

- Potencia máxima demanda es 49 W
- Energía máxima demanda por día 127 Wh/día

### 3.7. Determinación del factor de rendimiento de un aerogenerador para la resolución del segundo objetivo

#### 3.7.1. Cálculo de la energía generada

##### a) Cálculo de energía bruta generada

A partir de la potencia eléctrica medida se aplicará la siguiente fórmula para obtener la energía generada durante un intervalo de tiempo.

$$E_{bruta} = \sum_{i=1}^n P_i * \Delta t \quad (15)$$

Donde:

- $P_i$  = Potencia instantánea medida [W]
- $\Delta t$  = Intervalo de tiempo [h]
- $n$  = Número total de muestras

##### b) Consideración de pérdidas técnicas del sistema

Las siguientes eficiencias han sido consideradas para estimar las pérdidas del sistema eólico Savonius. Se consideraron las pérdidas por fricción mecánica (95 %), eficiencia del generador de imanes permanentes a baja velocidad (75 %), rectificación de corriente (95 %) y controlador/cableado (97 %), siguiendo valores de referencia comunes en la literatura (Hau, 2013). Cada eficiencia incluye su respectiva fuente para sustentar su uso en el modelo de estimación energética.

En esta tabla 12 podemos ver cuanta pérdida hay en el sistema savonius

**Tabla 12:**

*Perdidas del sistema savonius.*

<b>Etapas</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Potencia restante</b>
<b>Fricción de eje (95%)</b>	5% de pérdidas	100.1*0.95=95.1 W
<b>Generador (75%)</b>	25% de pérdidas	95.1*0.75= 71.3W
<b>Rectificador (95%)</b>	5% de pérdidas	71.3*0.95=67.7W
<b>Controlador/ cableado (97%)</b>	3% de pérdidas	67.7*0.97=65.7 W

**c) Cálculo de energía útil neta**

$$E_{neta} = E_{bruta} * \eta_{total} \quad (16)$$

Esto representa la energía útil real disponible para consumo, después de todas las pérdidas.

**d) Factor de planta**

Es un parámetro técnico que indica la eficiencia real de operación de un sistema de generación eléctrica respecto a su capacidad nominal. se define como la relación entre la energía eléctrica efectivamente generada por el sistema durante un período establecido y la cantidad energía que podría haberse producido, si dicho sistema hubiese operado ininterrumpidamente a su potencia durante todo ese intervalo. Un indicador técnico relevante para analizar el desempeño rendimiento del sistema y su aprovechamiento real del recurso energético disponible.

Matemáticamente se expresa como:

$$Factor\ de\ planta\ (\%)F_p = \frac{E_{neta}}{P_{nom} * t} * 100 \quad (17)$$

Donde:

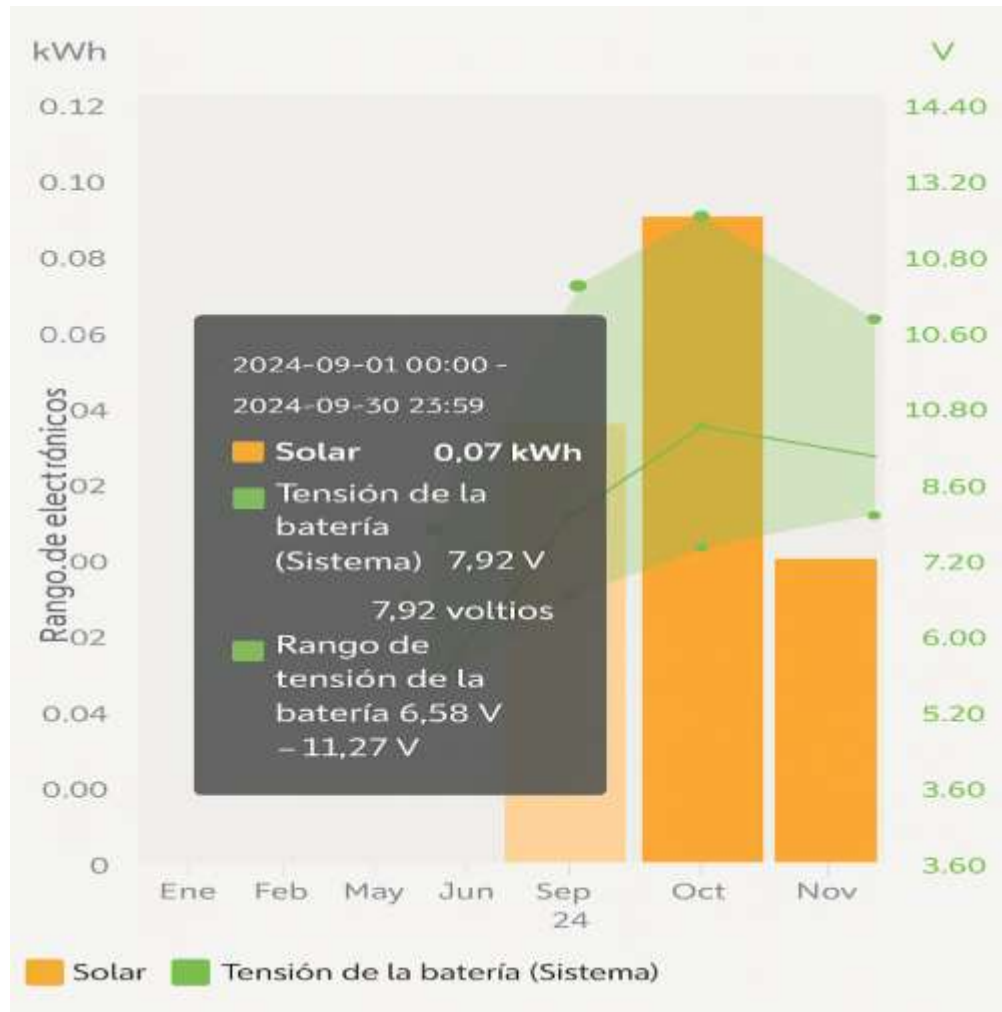
- $E_{neta}$ = Energía real útil generada [Wh]
- $P_{nom}$  = 400 W considerando las pérdidas

- $t$  = Número total de horas en el periodo

Se calculo el factor de plata a partir de los datos de potencia que nos proporcionó nuestro sistema el cual fue monitoreado durante 3 meses, como se aprecia en las figuras.

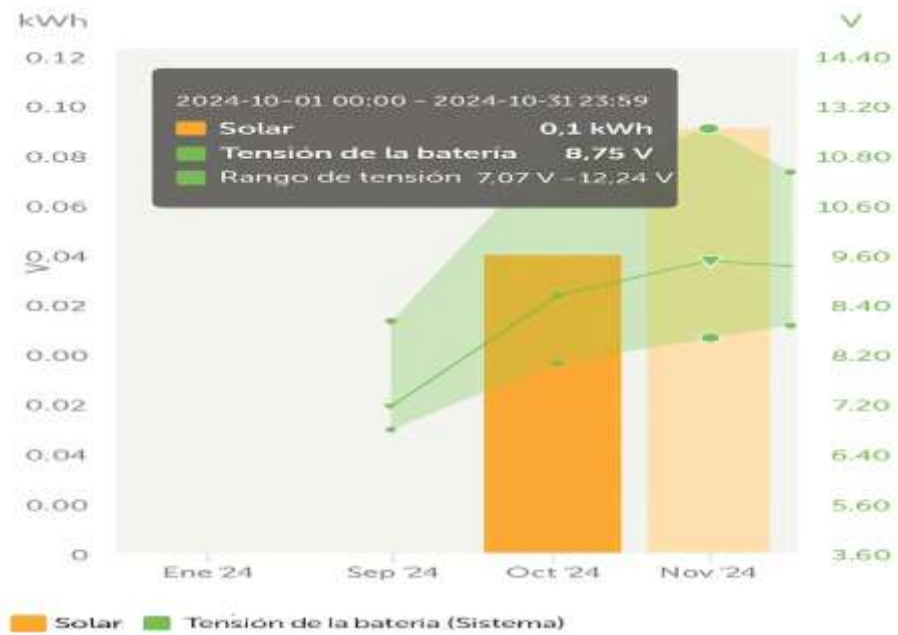
**Figura 38:**

*Potencia máxima alcanzada en el mes de Setiembre.*



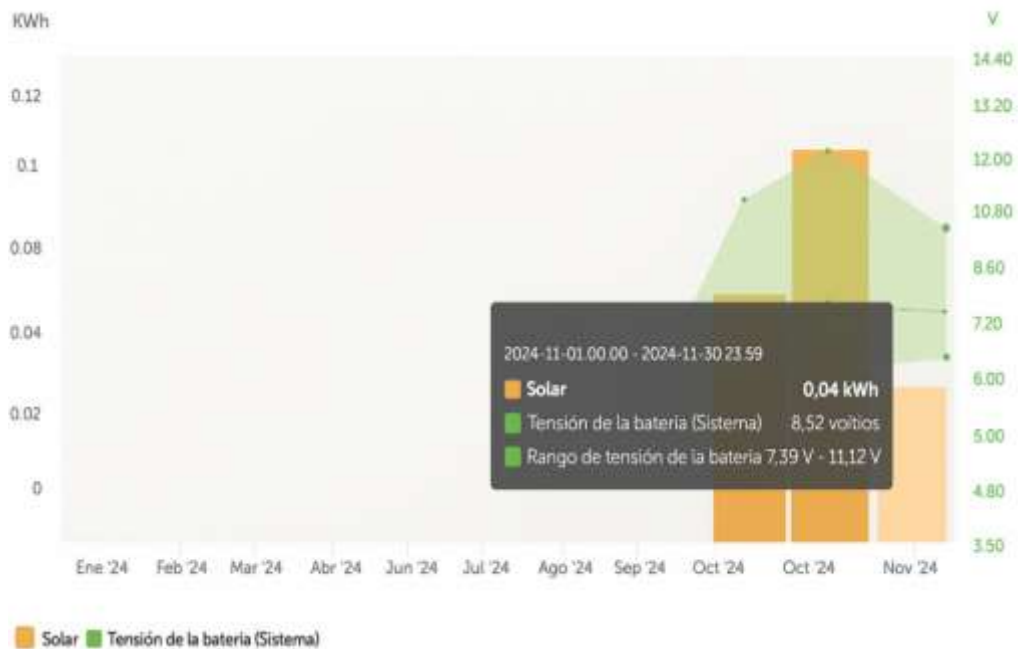
**Figura 39:**

*Potencia máxima alcanzada en el mes de octubre.*



**Figura 40:**

*Potencia máxima alcanzada en el mes de noviembre.*



### 3.8. Determinación de la viabilidad económica del aerogenerador para la resolución del tercer objetivo

#### 3.8.1. Costo de la energía de la isla urus

Con la finalidad de estimar el costo unitario de generación eléctrica del sistema eólico de eje vertical tipo Savonius, se aplicó la fórmula del Costo Nivelado de la Energía (LCOE), esta herramienta analítica que nos permite calcular el costo promedio por cada (kWh) generado durante la vida útil de la turbina savonius.

$$LCOE = \frac{C_{inversion} + \sum_{t=1}^n C_{operacion\ y\ mantenimiento}}{\sum_{t=1}^n E_{generada}} \quad (17)$$

Donde:

- LCOE: costo nivelado de la energía (S/. por kWh)
- $C_{inversion}$  : costo de inversión inicial del sistema savonius (S/.)
- Costos anuales de operación y mantenimiento en el año t (S/.)
- $E_{generada}$ : energía generada en el año t (S/.)
- n: Vida útil del sistema (en años)

#### 3.8.2. Costo de operación y mantenimiento

En el presente estudio, se consideró de importancia fundamental la evaluación de los costos de operación y mantenimiento del sistema (O&M) del sistema eólico Savonius instalado en una vivienda ubicada en la Isla Uros, ya que estos costos influyen directamente en la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto.

Calculando con la siguiente fórmula los costos anuales de operación y mantenimiento de la isla urus, teniendo la inversión inicial del proyecto, el porcentaje de mantenimiento se va considerar el 3% estos incrementos son de acuerdo a la investigación realizada por Creus (2014).

$$O\&M = I_{inicial} * \% \quad (18)$$

Donde:

- O&M: costos de operación y mantenimiento
- $I_{inicial}$ : Inversión inicial
- %: porcentaje de incremento por operación y mantenimiento

### 3.8.3. Cálculo de Energía anual

Esta fórmula permite calcular la energía eléctrica que el sistema puede producir bajo condiciones operativas determinadas en condiciones reales de operación durante un año completo. La potencia nominal representa la capacidad máxima teórica del generador bajo condiciones óptimas. Sin embargo, debido a las variaciones de la velocidad del viento, interrupciones por mantenimiento y pérdidas del sistema, el equipo no opera constantemente a esa potencia máxima.

$$E_{anual} = P_{nominal} * f_p * 8760 \quad (19)$$

Donde:

- $E_{anual}$ : Energía generada al año (kWh).
- $P_{nominal}$ : La potencia del sistema eólico savonius (kW)

### 3.8.4. Cálculo de Energía total generada durante la vida útil del sistema

Una vez estimada la energía eléctrica generada anualmente por el sistema eólico, es posible calcular la energía total generada durante toda su vida útil. Este valor permite tener una visión global del aporte energético del sistema a lo largo del tiempo y es fundamental para el análisis de costos nivelados de energía y la rentabilidad del proyecto tenemos la siguiente ecuación para poder calcular.

$$E_{total} = E_{anual} * vida\ util \quad (20)$$

Datos:

- $E_{anual}$ : Energía total
- $E_{anual}$  : Energía anual generada
- Vida útil: estimada del sistema eólico savonius

### **3.9. Análisis económico**

El análisis económico del sistema eólico aislado nos permite saber si el sistema será viable con el tiempo y tomar una decisión con el proyecto. Para lo cual calculamos el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y finalmente el periodo de recuperación simple de la inversión (PRS). Estos parámetros se calcularon de acuerdo a la inversión inicial de sistema.

#### **3.9.1. Costo del sistema eólico aislado de eje vertical**

Para poder determinar todos los parámetros económicos ya mencionados de un proyecto de investigación, en la **tabla 13** vamos a observar el presupuesto de sistema eólica aislado, donde especifica los equipos. Los costos estimados de cada elemento ya incorporan el impuesto general de venta (IGV).

#### **3.9.2. Presupuesto del proyecto**

El costo total del sistema eólico asciende a **S/ 5,806.00**, e incluye la adquisición del sistema eólica de eje vertical de 400W, batería, inversor, controlador MPPT, tablero de mando, estructura metálica, cableado, y servicios complementarios como transporte, mano de obra e instalación. También se consideraron los gastos generales de ingeniería. Este monto representa la inversión inicial del proyecto y servirá como base para la evaluación económica.

**Tabla 13:***Presupuesto del proyecto adaptación propia.*

Ítems	Descripción de equipos	Unidad	Cantidad	costo unit. (s/)	costo total (s/)
<b>1</b>	<b>Sistema eólico</b>				
1.1	Turbina eólica de eje vertical 400W	Und.	1	2138.81	2136
2.1	Controlador MPPT	Und.	1	140	140
3.1	Batería 100AH 12V Gel	Und.	1	657.6	657.6
4.1	Controlador MPPT Blue Solar 75V 15ª VICTRON	Und.	1	697	697
5.1	Inversor Victron Phoenix 12V 500VA	Und.	1	650	650
5.1	Tablero de mando	Und.	1	160	160
<b>2</b>	<b>Estructura</b>				
2.1	Estructura metálica 2.5m	Und.	1	100	100
<b>3</b>	<b>Cableado</b>				
3.1	Cable Trifásico A.W.G 14	Mts.	15	9.5	142.5
<b>4</b>	<b>Servicio de transporte</b>				
4.1	Costo por importación de la turbina Impuestos aduana, desaduanaje	Global	1	722.91	722.9
4.2	transporte de materiales	global	1	100	100
<b>5</b>	<b>Montaje y puesta en operación</b>				
5.1	mano de obra	global	1	100	100
<b>6</b>	<b>Ingeniería gastos generales</b>				
6.1	gastos generales	global	1	200	200
<b>TOTAL</b>					<b>5806</b>

### 3.9.3. Evaluación económica del proyecto

A continuación, vamos a describir las fórmulas de VAN y TIR para el cálculo de los parámetros económicos.

### 3.9.4. Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto es un indicador fundamental para evaluar la viabilidad económica de un proyecto. Su propósito es determinar si los beneficios económicos futuros que genera un sistema compensan la inversión inicial, considerando que el valor del dinero disminuye con el tiempo. El

VAN permite conocer si un proyecto genera ganancias reales o si resultaría en una pérdida económica al finalizar su vida útil.

- $VAN > 0$ : El proyecto es rentable. Se espera que genere ganancias por encima de la inversión realizada.
- $VAN = 0$ : el proyecto no genera pérdidas ni ganancias
- $VAN < 0$ : El proyecto no es rentable, ya que no cubre la inversión inicial a la tasa de descuento deseada.

Tenemos la siguiente formula general del VAN:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad (21)$$

Donde:

- $CF_t$ : Flujo de caja en el año t
- I: Inversión inicial del proyecto
- n: Tiempo de vida útil
- r: Tasa de descuento
- t: Año de flujo de caja

el cual permite actualizar los flujos de caja futuros a valor presente, considerando una tasa de descuento representativa del costo de oportunidad del capital. Este indicador permite comparar los beneficios económicos generados a lo largo de la vida útil del sistema con la inversión inicial requerida. Si el resultado del VAN es positivo, el proyecto se considera viable.

### **3.9.5. Tasa interna del retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador económico que permite medir la rentabilidad porcentual del proyecto. Se define como la tasa de descuento que iguala a cero el Valor Actual Neto (VAN). En este estudio, la TIR se calculó a partir de los flujos de caja generados por el sistema eólico durante su vida útil. Una TIR superior a la tasa de descuento indica que el proyecto es económicamente viable y genera rendimientos superiores al costo de oportunidad del capital.

- $TIR > 0$ : El proyecto es rentable
- $TIR = 0$ : El proyecto genera lo justo para recuperar la inversión.
- $TIR < 0$ : El proyecto no es rentable

Tenemos la siguiente formula de TIR:

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (22)$$

Donde:

- $r$ : Es igual a TIR
- $Q_n$ : Flujo de caja en el año  $t$
- $I$ : Inversión inicial del proyecto
- $n$ : Tiempo de vida útil del proyecto
- $t$ : Año de flujo de caja

### 3.9.6. Periodo de recuperación de la inversión (PRS)

El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), también conocido como Payback, es un indicador financiero que facilita establecer el periodo requerido para que los flujos netos de efectivo producidos por un proyecto sean iguales a la inversión inicial efectuada. En resumen, señala la cantidad de años que se necesitan para que el capital invertido sea completamente reembolsado, sin tener en cuenta aún los beneficios extra que puedan surgir más adelante.

### 3.9.7. Índice beneficio costo (B/C)

El coeficiente de rentabilidad-costo (B/C) es un parámetro económico empleado para medir la rentabilidad relativa de un proyecto de inversión. Este índice se determina como la relación entre el valor actual de las ganancias netas producidas por un proyecto y el valor actual de los gastos vinculados a este. Su uso es particularmente beneficioso en la toma de decisiones cuando se evalúan opciones de inversión bajo criterios de eficacia financiera.

Si la relación  $B/C > 1$ : El proyecto es rentable, ya que los beneficios superan los costos.

Si la relación  $B/C = 1$ : El proyecto apenas cubre sus costos, es indiferente aceptarlo o rechazarlo.

Si la relación  $B/C < 1$ : El proyecto no es viable financieramente, ya que los costos superan los beneficio

## IV. CAPITULO

### RESULTADOS Y DISCUCIONES

#### 4.1. Resultado del recurso y potencial eólico en La isla de los Uros – Puno

##### 4.1.1. Resultado del cálculo de la temperatura del aire

Para determinar la temperatura promedio del lugar de estudio, se utilizaron los valores mensuales previamente obtenidos a partir de datos diarios proporcionados por el SENAMHI. Estos valores fueron procesados en una hoja de cálculo y luego sustituidos en la fórmula del promedio aritmético, permitiendo así calcular la temperatura promedio anual correspondiente a la Isla de los Uros.

**Tabla 14:**

*Datos promedio anuales*

Mes	Temperatura Promedio mensual
Diciembre	12.4
Enero	12.31
Febrero	11.5
Marzo	11.8
Abril	11.06
Mayo	9.46
Junio	6.78
Julio	5.67
Agosto	6.88
Setiembre	9.22
Octubre	10.12
Noviembre	11.26
P. Anual	9.87

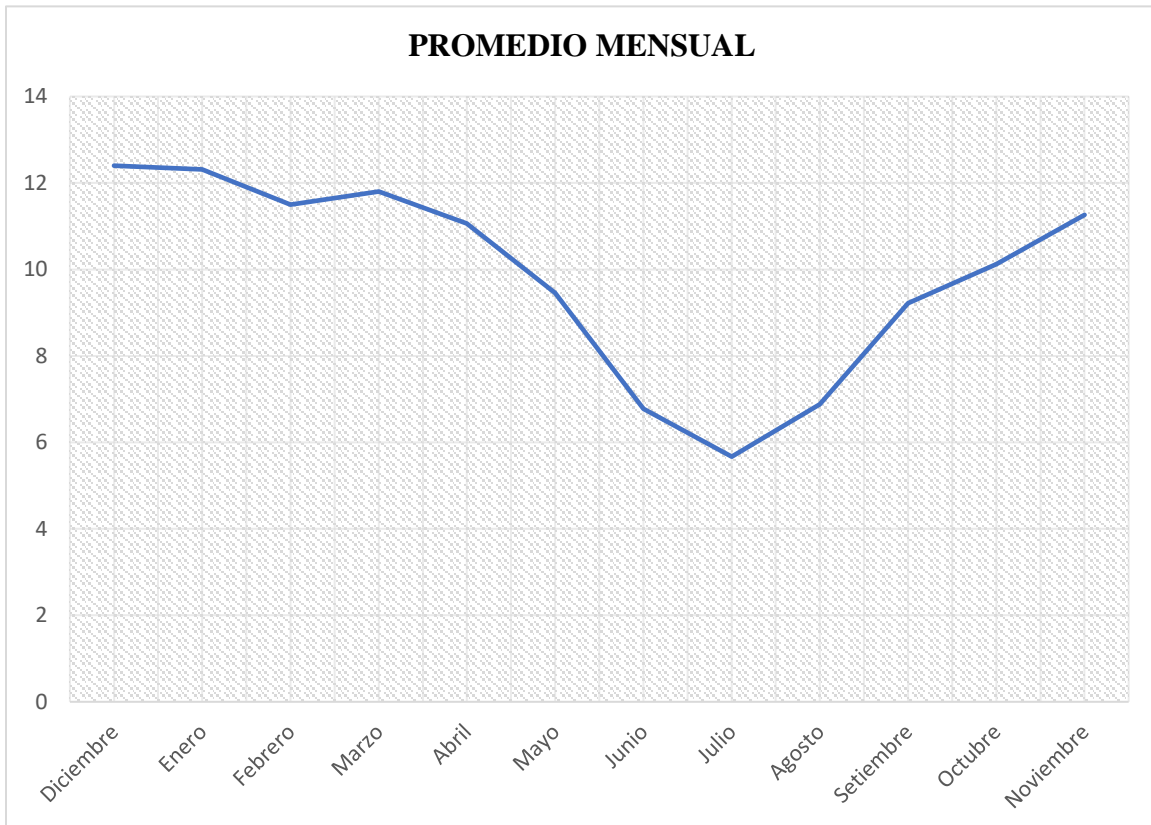
**Nota:** elaboración propia

A continuación, se presentan las temperaturas promedio mensuales registradas durante un año completo en el sitio de estudio. Estos valores fueron procesados en una hoja de cálculo de Excel, a partir de los datos diarios proporcionados por la estación meteorológica del SENAMHI ubicada en

la Isla de los Uros. Esta información fue fundamental para el cálculo de la temperatura promedio anual, necesaria para estimar la densidad del aire en condiciones reales del lugar.

**Figura 41:**

*Promedio mensual de temperatura.*



De acuerdo a estos datos se aplicó a la ecuación de la temperatura promedio

$$T_{promedio} = \frac{12.4 + 12.31 + 11.5 + 11.8 + 11.06 + 9.46 + 6.78 + 5.67 + 6.88 + 9.22 + 10.12 + 11.26}{12}$$

$$T_{promedio} = \frac{118.4}{12} = 9.87^{\circ}C$$

Conversión de la temperatura en °K

$$T(K) = 9.87 + 273.15 = 283.02 \text{ }^{\circ}K$$

#### 4.1.2. Resultado del cálculo de la presión atmosférica

Calculo para determinar la presión atmosférica de la Isla de los Uros que está ubicada a una altura de 3812 m.s.n.m (PERURAIL, 2025), Usando la formula barométrica que estima la presión en función de la altitud.

Remplazamos los datos a la formula

$$P = 101325 * e^1 \left( -\frac{0.029 * 9.81 * 3812}{8.314 * 283.02} \right)$$
$$P = \frac{0.029 * 9.81 * 3812}{8.314 * 283.02} = \frac{1082.94}{2353.02} \approx 0.4608$$
$$P = 101.325 * e^{(-0.4538)} = 101325 * 0.632$$

La presión Atmosférica a una altitud de 3812 m.s.n.m. y una temperatura de 287.15 °K

Es aproximadamente

$$P = 64047 Pa$$

Lo cual equivale a un 63.6 % de la presión medida a nivel del mar.

#### 4.1.3. Densidad del aire en la Isla de los Uros – Puno

$$\rho = \frac{64047}{287.05 \times 283.02}$$
$$\rho = 0.787 Kg/m^3$$

Con el objetivo de evaluar el potencial eólico en la Isla de los Uros, se consideraron varios aspectos clave, destacando entre ellos la densidad del aire como uno de los más significativos. Este parámetro se estimó en 0.789 kg/m<sup>3</sup>, utilizando los datos meteorológicos suministrados por el SENAMHI y teniendo en cuenta la altitud específica de la zona.

La densidad del aire hace referencia a la masa de aire presente por cada metro cúbico de volumen, siendo un factor determinante en los cálculos relacionados con la generación de energía eólica. Ya que está directamente relacionada con la potencia disponible en el viento. En condiciones estándar a nivel del mar, la densidad del aire es aproximadamente  $1.225 \text{ kg/m}^3$ , por lo que el valor obtenido en este estudio refleja una disminución significativa atribuida a la mayor altitud del sitio de instalación (3812 msnm).

#### **4.1.4. Velocidad del viento de Isla de los Uros – Puno**

En el presente trabajo se emplearon registros de velocidad y dirección del viento suministrados por el SENAMHI, junto con datos eléctricos recolectados mediante el equipo Victron Cerbo GX, incluyendo valores de tensión, corriente y potencia. Luego, toda esta información fue sistematizada y analizada con el apoyo de Microsoft Excel, permitiendo así llevar a cabo la evaluación técnica del sistema eólico instalado.

**Figura 42:**

*Distribución mensual de las velocidades diarias del viento.*



*Nota:* El comportamiento diario de la velocidad del viento durante los periodos de seis meses del 2024 de SENAMHI..

**Figura 43:**

*Distribución mensual de las velocidades diarias del viento.*



*Nota:* el comportamiento diario de la velocidad del viento durante los periodos de seis meses del 2024 de SENAMHI.

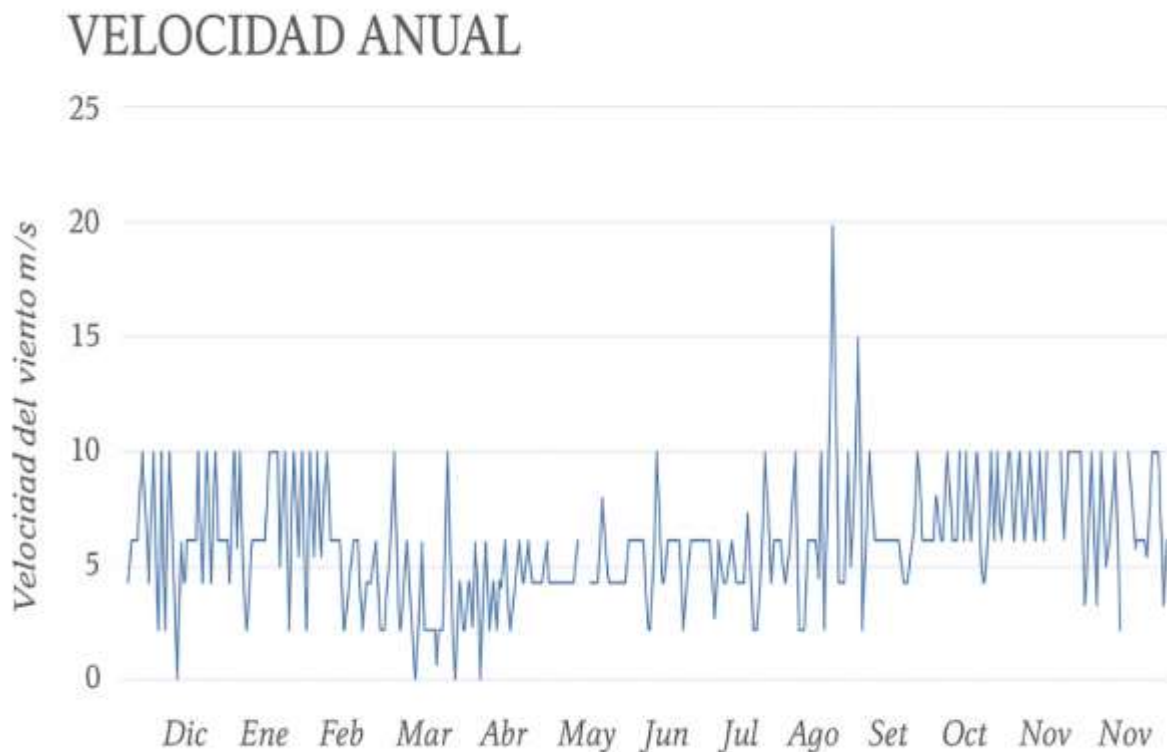
La Figura 43 muestra que las velocidades más elevadas del viento se presentan principalmente en los meses de julio, agosto y septiembre. Durante este periodo, se evidencia un aumento notable en la intensidad del viento, lo cual representa una condición beneficiosa para la producción de energía eólica en el sistema instalado

En la figura 44 se presenta oscilación de la velocidad del viento en (m/s) a lo largo de un año, donde se observa el comportamiento mensual del recurso eólico en la zona de estudio.

En el eje horizontal se disponen los meses del año, abarcando desde diciembre hasta noviembre, y en el eje vertical se representa la velocidad del viento expresada en metros por segundo (m/s). El gráfico refleja variaciones que ocurren a nivel diario o semanal dentro de cada mes.

**Figura 44:**

*Perfil mensual de velocidad de viento en un año.*



*Nota:* Comportamiento del viento durante un año del 2024, en el mes de agosto llego la velocidad mas elevada, SENAMHI 2024.

Por otro lado, se utilizó el dispositivo de monitoreo Victron Cerbo GX, conectado directamente al aerogenerador instalado a una altura conocida de 5m sobre el nivel del lago. A través del estudio de variables eléctricas como la tensión, la corriente y la potencia, se estimó una velocidad media del viento de 5.02 m/s correspondiente a los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2024, lo que permitió reflejar las condiciones reales en las que opera el sistema.

**Tabla 15:**

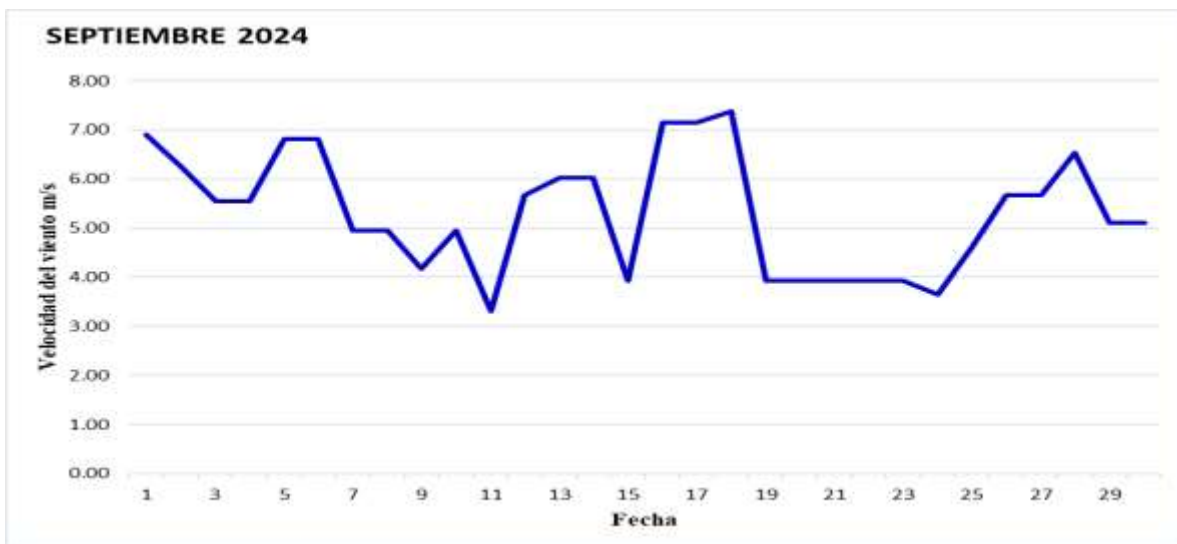
*Datos de velocidad del viento obtenidos del Cerbo Gx.*

<b>Septiembre</b>	<b>m/s</b>	<b>Octubre</b>	<b>m/s</b>	<b>Noviembre</b>	<b>m/s</b>
<b>1/09/2024</b>	6.90	1/10/2024	3.93	1/11/2024	3.65
<b>2/09/2024</b>	6.24	2/10/2024	3.93	2/11/2024	3.93
<b>3/09/2024</b>	5.54	3/10/2024	5.54	3/11/2024	3.93
<b>4/09/2024</b>	5.54	4/10/2024	4.40	4/11/2024	3.65
<b>5/09/2024</b>	6.81	5/10/2024	3.93	5/11/2024	3.93
<b>6/09/2024</b>	6.81	6/10/2024	6.14	6/11/2024	3.65
<b>7/09/2024</b>	4.95	7/10/2024	6.72	7/11/2024	5.41
<b>8/09/2024</b>	4.95	8/10/2024	4.60	8/11/2024	5.27
<b>9/09/2024</b>	4.18	9/10/2024	3.93	9/11/2024	5.27
<b>10/09/2024</b>	4.95	10/10/2024	5.27	10/11/2024	4.60
<b>11/09/2024</b>	3.32	11/10/2024	5.27	11/11/2024	3.65
<b>12/09/2024</b>	5.67	12/10/2024	3.93	12/11/2024	3.65
<b>13/09/2024</b>	6.03	13/10/2024	6.44	13/11/2024	3.93
<b>14/09/2024</b>	6.03	14/10/2024	6.24	14/11/2024	3.65
<b>15/09/2024</b>	3.93	15/10/2024	7.80	15/11/2024	6.44
<b>16/09/2024</b>	7.15	16/10/2024	2.90	16/11/2024	6.65
<b>17/09/2024</b>	7.15	17/10/2024	3.65	17/11/2024	7.14
<b>18/09/2024</b>	7.38	18/10/2024	3.32	18/11/2024	4.95
<b>19/09/2024</b>	3.93	19/10/2024	3.93	19/11/2024	4.95
<b>20/09/2024</b>	3.93	20/10/2024	4.40	20/11/2024	5.67
<b>21/09/2024</b>	3.93	21/10/2024	4.40	21/11/2024	5.26
<b>22/09/2024</b>	3.93	22/10/2024	3.65	22/11/2024	7.30
<b>23/09/2024</b>	3.93	23/10/2024	6.14	23/11/2024	3.93
<b>24/09/2024</b>	3.65	24/10/2024	5.27	24/11/2024	7.86
<b>25/09/2024</b>	4.60	25/10/2024	6.03	25/11/2024	5.79
<b>26/09/2024</b>	5.67	26/10/2024	6.03	26/11/2024	5.26
<b>27/09/2024</b>	5.67	27/10/2024	3.65	27/11/2024	6.14
<b>28/09/2024</b>	6.54	28/10/2024	3.65	28/11/2024	3.93
<b>29/09/2024</b>	5.11	29/10/2024	6.14	29/11/2024	3.15
<b>30/09/2024</b>	5.11	30/10/2024	5.41	30/11/2024	3.94
		31/10/2024	3.93		
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.32</b>		<b>4.86</b>		<b>4.88</b>

La Figura 43. ilustra el comportamiento diario de la velocidad del viento durante septiembre de 2024, lo que permite examinar con mayor precisión la disponibilidad del recurso eólico en el área analizada. En el gráfico, los días del mes se disponen en el eje horizontal, mientras que en el eje vertical se indican las velocidades del viento en metros por segundo (m/s). A lo largo de dicho mes, se observó una fluctuación moderada en las velocidades, con registros que se situaron entre aproximadamente 3.5 m/s y 10 m/s. Esta dinámica resulta favorable para la producción de energía eólica mediante sistemas de pequeña escala, especialmente aquellos de eje vertical tipo Savonius, los cuales operan eficientemente bajo condiciones de viento de intensidad media.

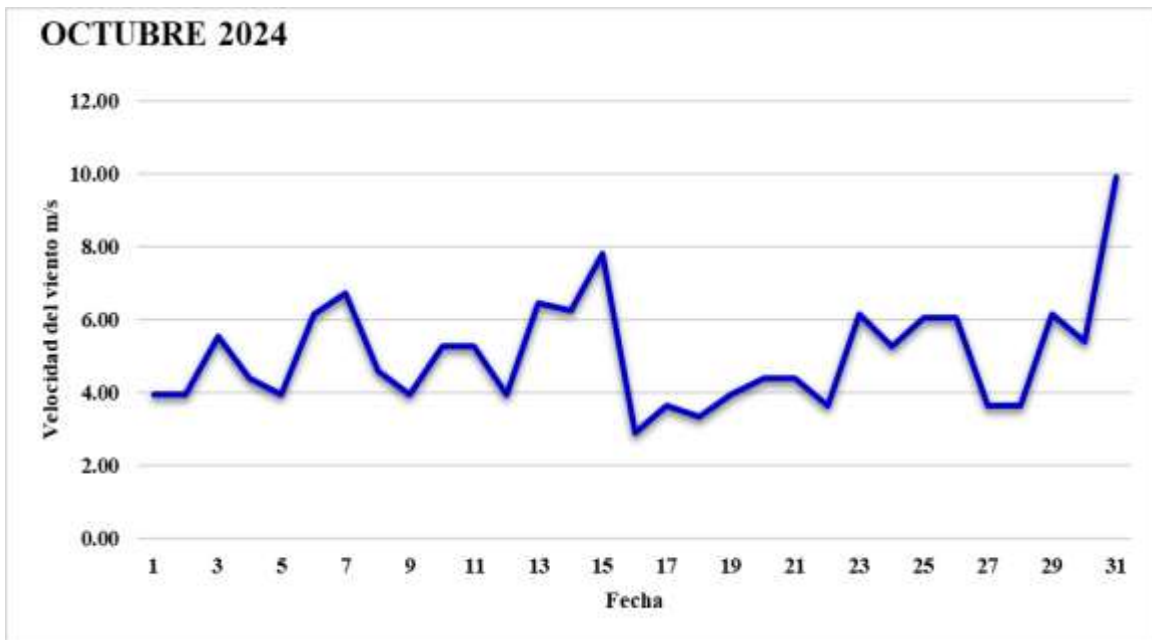
**Figura 45:**

*Comportamiento mensual de la velocidad del viento.*



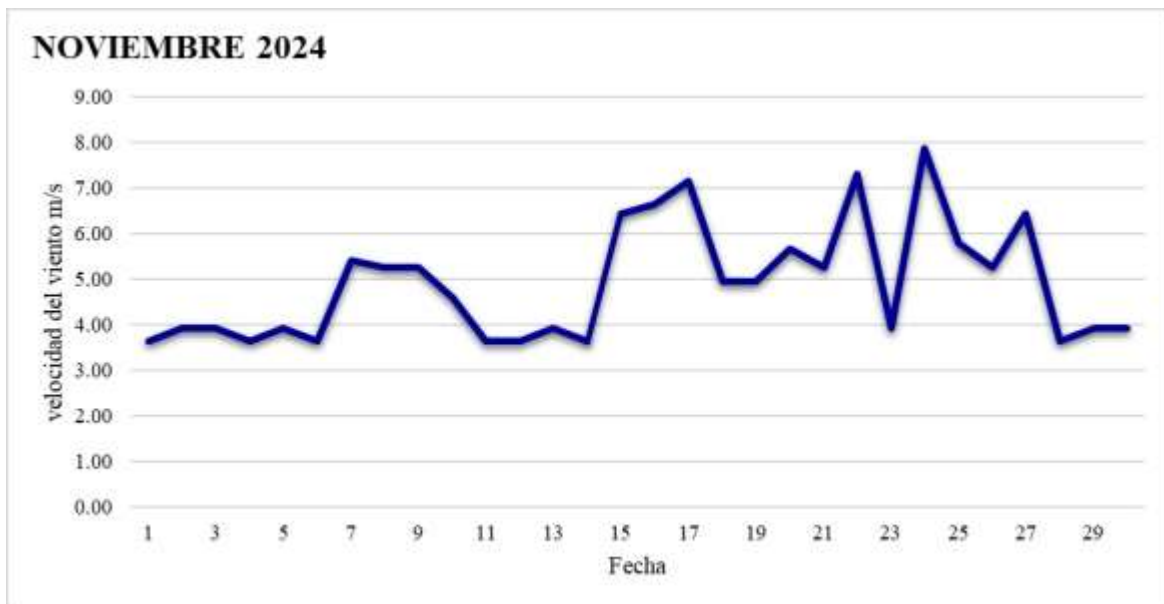
**Figura 46:**

*Perfil de velocidad de viento mensual*



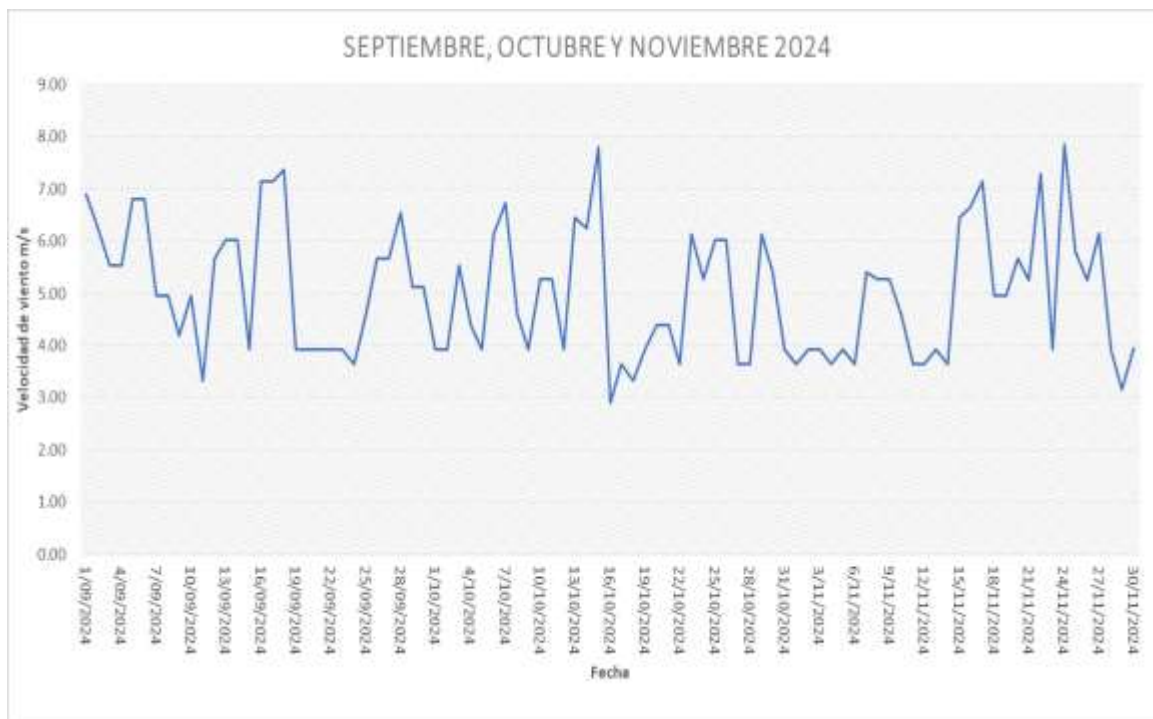
**Figura 47:**

*Perfil de velocidad de viento mensual calculado.*



**Figura 48:**

*Variación de velocidad del viento, registrado Cerbo Gx.*



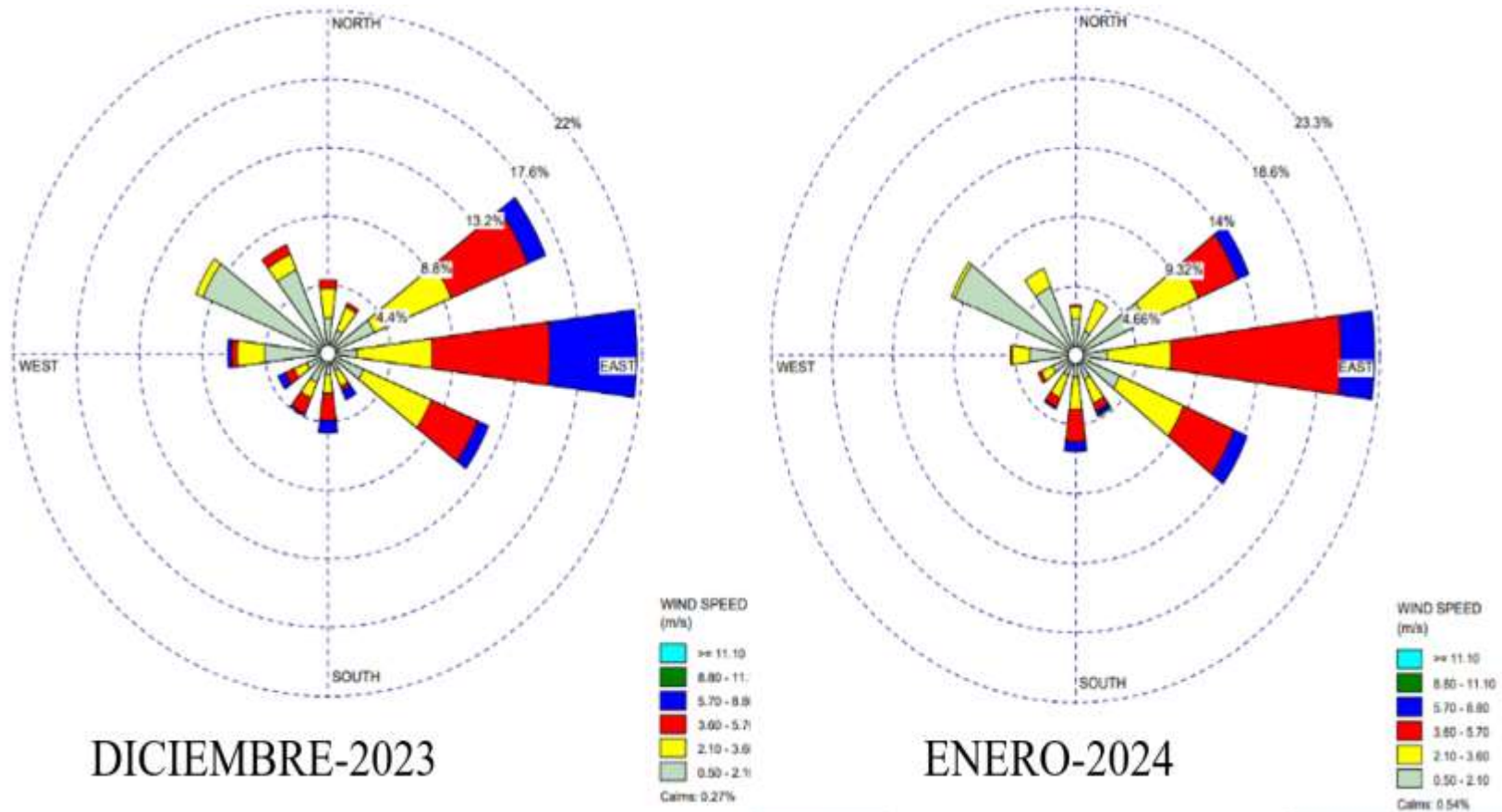
#### **4.1.5. Variación de dirección del Viento**

El análisis de la dirección del viento en la zona evaluada se llevó a cabo considerando tanto la procedencia como el destino del flujo de aire, así como la frecuencia con la que este se manifiesta en cada uno de los cuatro puntos cardinales, los cuales indican la orientación predominante del viento. Las siguientes ilustraciones presentan el patrón direccional del viento, conocido también como rosa de los vientos. Esta herramienta resulta fundamental para determinar la ubicación estratégica del aerogenerador, lo que permite maximizar el aprovechamiento del recurso eólico, minimizar las pérdidas energéticas y, por tanto, optimizar la generación eléctrica.

Además, se representa gráficamente el comportamiento del viento en cuanto a su dirección dominante. De acuerdo con los datos mostrados, durante los meses de diciembre de 2023 y enero y febrero de 2024, los vientos predominantes provienen del noreste (NE). Por otro lado, en el periodo comprendido entre marzo y agosto, la dirección principal cambia hacia el noroeste (NO), mientras que en septiembre, octubre y noviembre vuelve a dominar el flujo desde el noreste (NE).

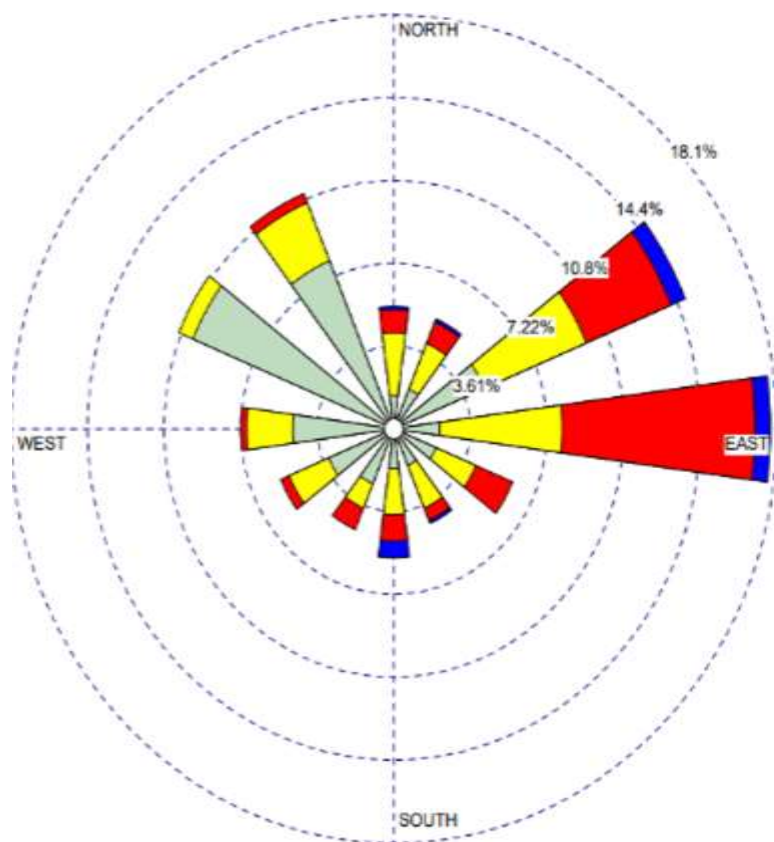
**Figura 49:**

*Rosa de viento mensual (WRPLOT)*

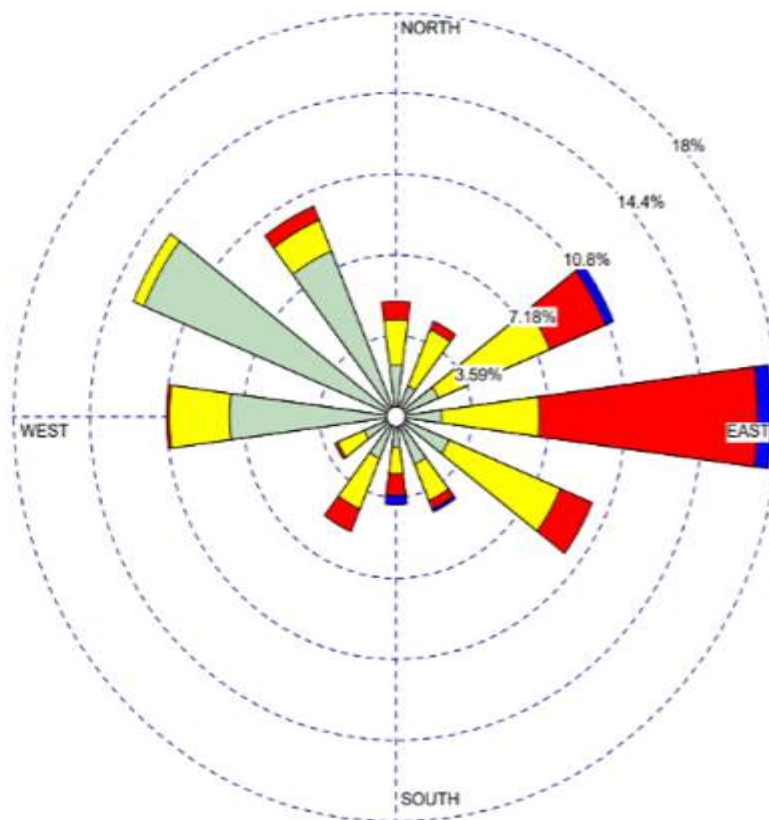
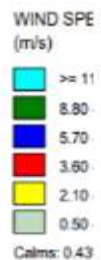


**Figura 50:**

*Rosa de viento mensual (WRPLOT).*



**FEBRERO- 2024**



**MARZO- 2024**

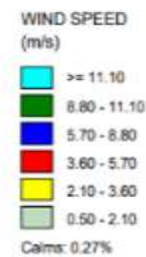
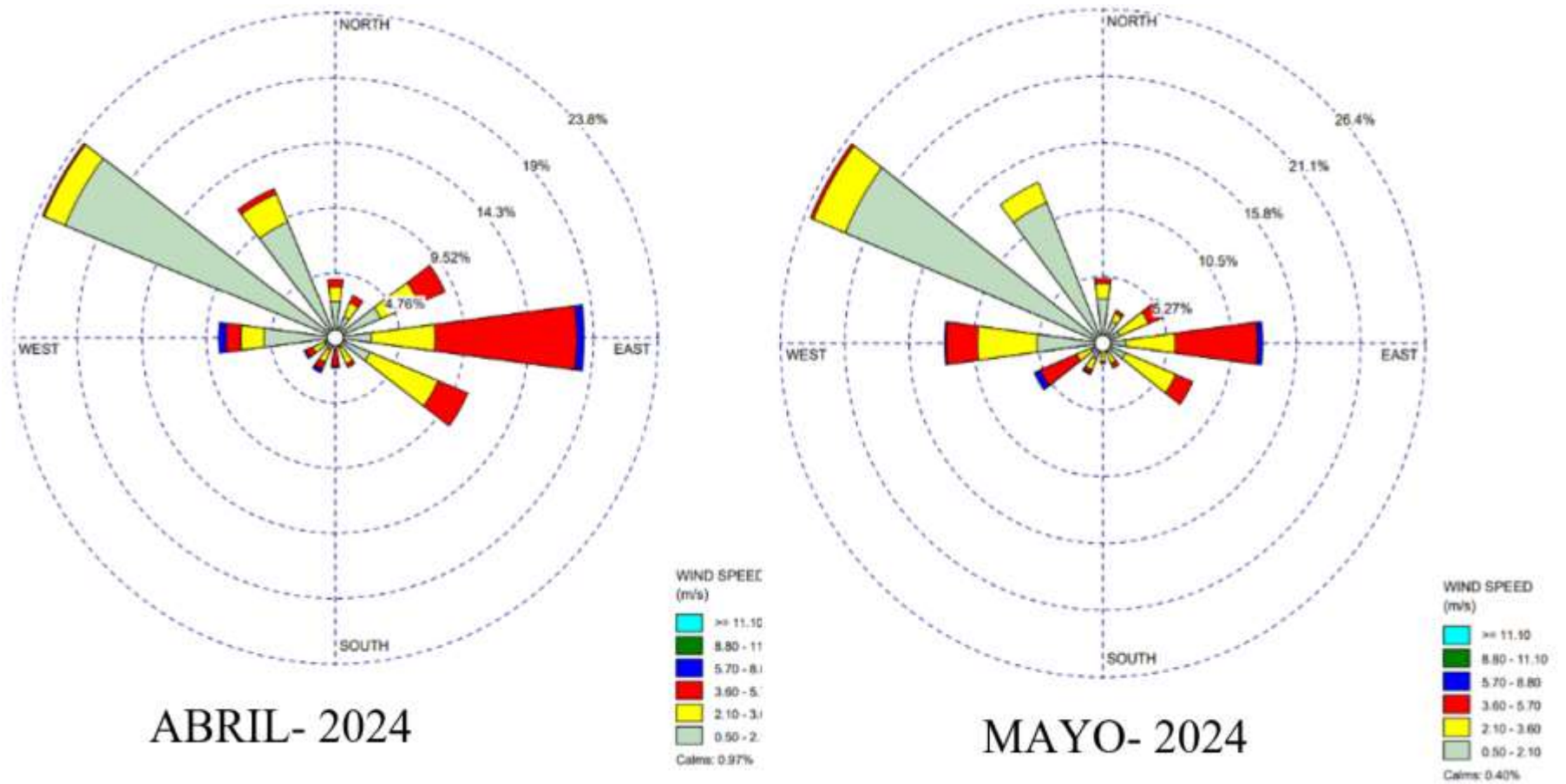




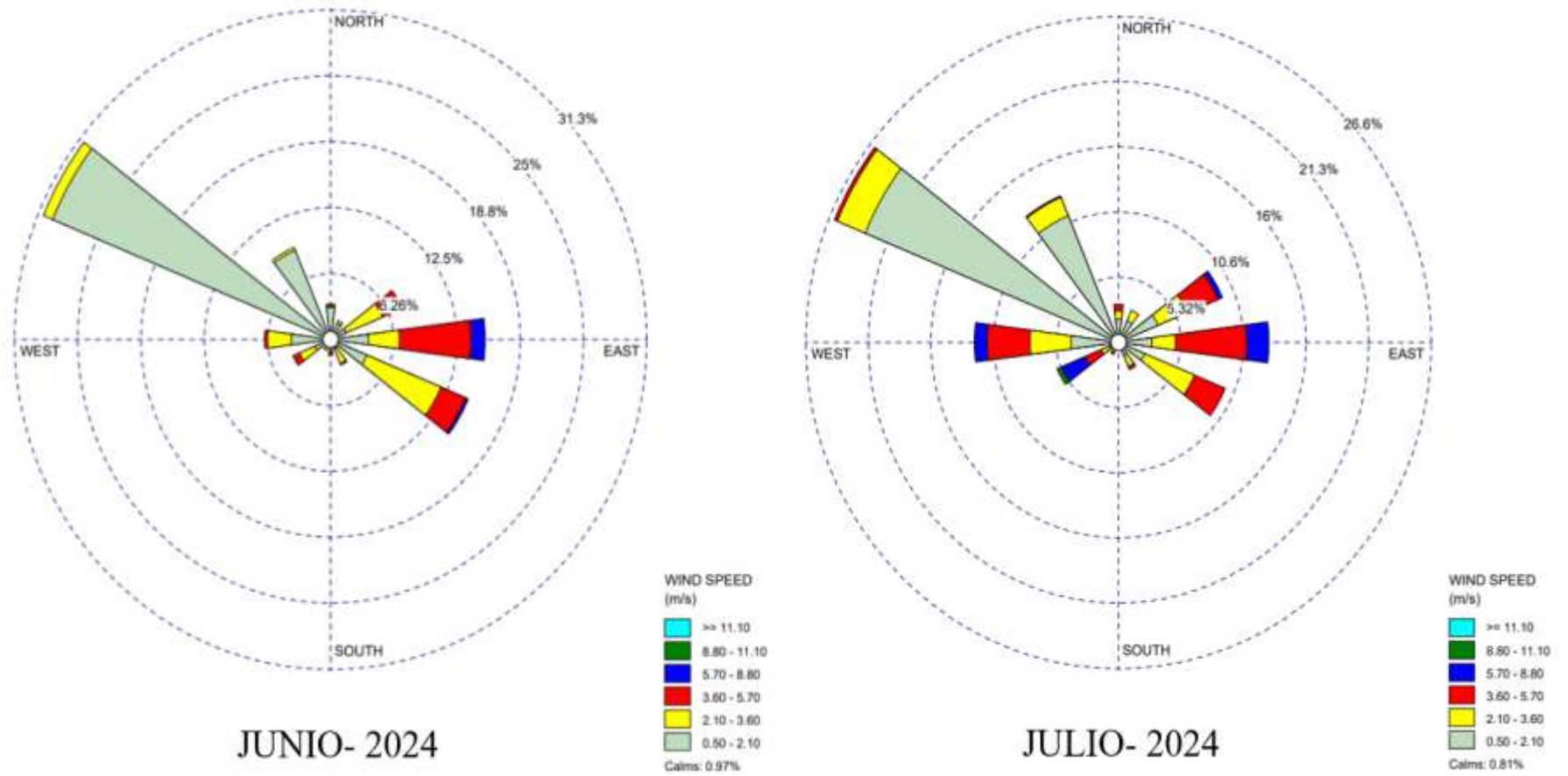
Figura 51:

Rosa de viento mensual (WRPLOT)



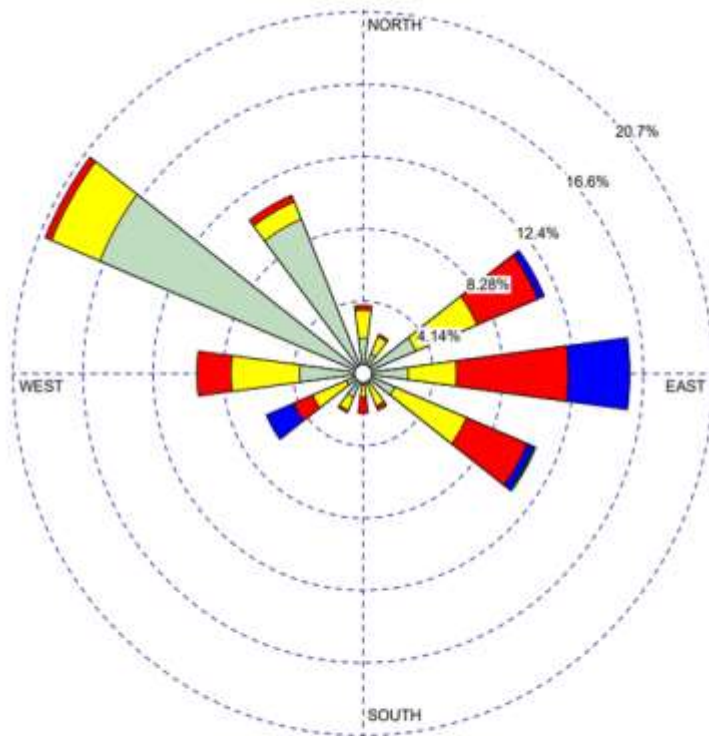
**Figura 52:**

*Rosa de viento mensual (WRPLOT).*

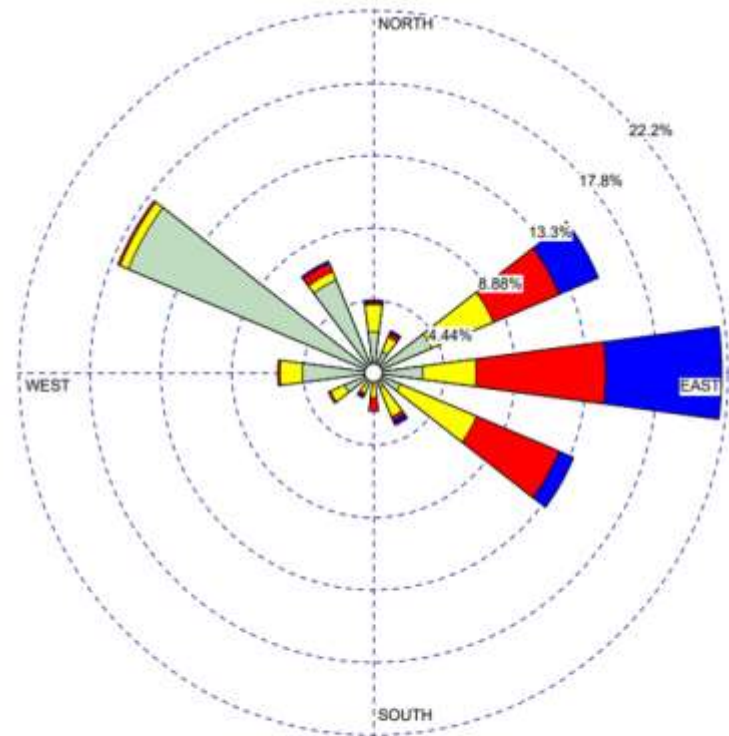


**Figura 53:**

*Rosa de viento mensual (WRPLOT).*



**AGOSTO- 2024**

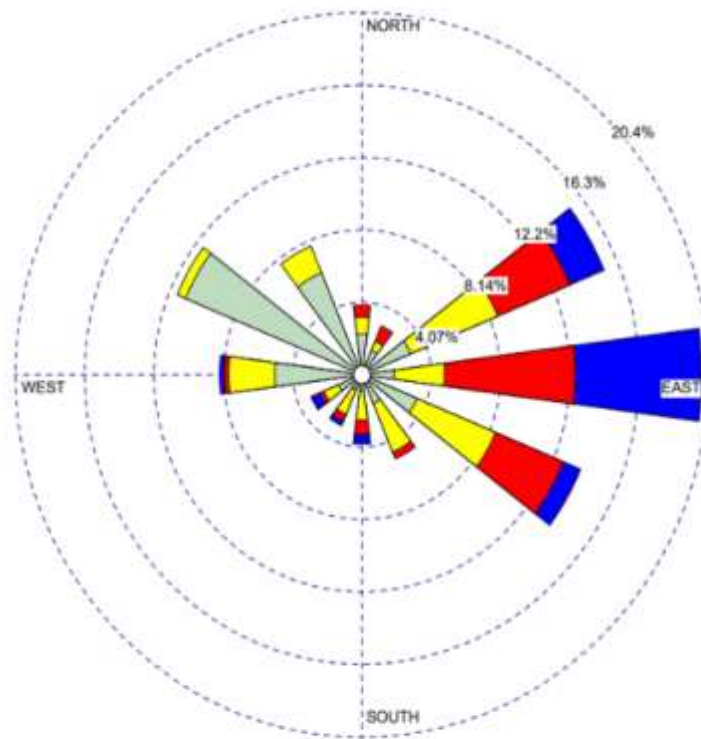


**SETIEMBRE- 2024**

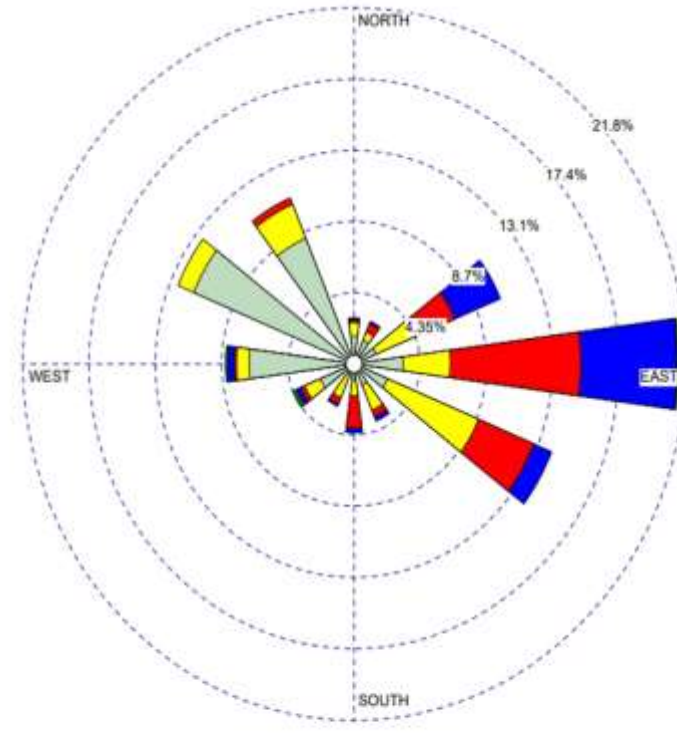


Figura 54:

Rosa de viento mensual (WRPLOT).



OCTUBRE- 2024



NOVIEMBRE- 2024



Adicionalmente, el estudio de la rosa de los vientos evidenció que, entre los meses de marzo y agosto, las corrientes de aire presentan una predominancia en los cuadrantes norte y este (N-E). Este dato resulta esencial para definir la orientación más eficiente de la turbina, con el fin de maximizar su desempeño en la generación de energía.

#### 4.1.6. Dirección de Weibull del estudio

Se realizó el mismo cálculo en Excel para los demás meses del método del weibull

**Tabla 16:**

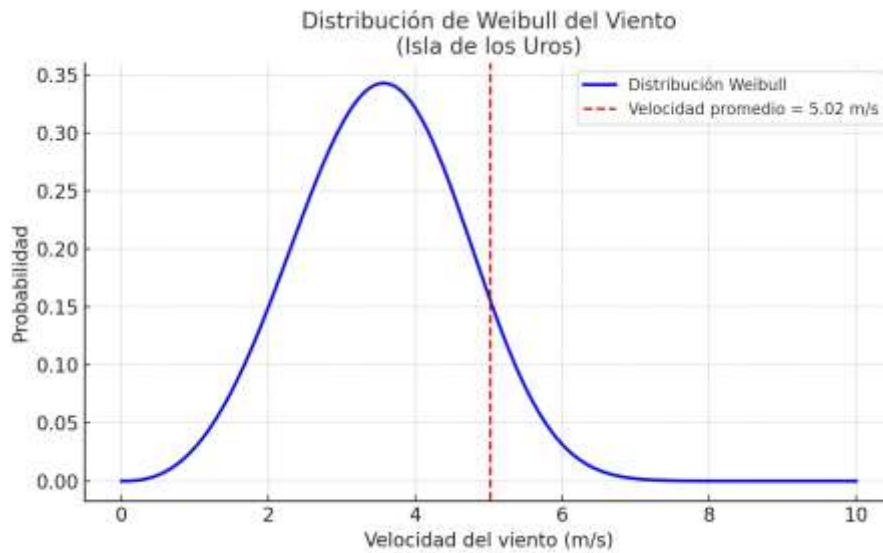
*Promedio de los parámetros de C y K*

Mes	Velocidad promedio m/s	C	K
<b>Setiembre</b>	5.32	4.04	3.15
<b>Octubre</b>	4.82	3.99	2.91
<b>Noviembre</b>	4.88	3.77	4.44
<b>Promedio</b>	5.02	3.93	3.50

A continuación, se empleó la distribución estadística de Weibull con el propósito de representar el comportamiento del viento en el área analizada. Esta herramienta permitió estimar la probabilidad de ocurrencia de diferentes rangos de velocidad del viento. Para el cálculo, se recurrió a una fórmula empírica que es habitualmente utilizada en el análisis de turbinas Savonius, especialmente efectiva en contextos donde predominan vientos de baja intensidad. Como resultado de esta modelación, se obtuvo la curva correspondiente a la distribución de Weibull, identificando los siguientes parámetros: un valor de escala,  $C = 3.93$  m/s (parámetro de escala) y  $K = 3.50$  (parámetro de forma)

**Figura 55:**

*Gráfico del diagrama de Weibull.*



Nota: (Fuente propia)

La gráfica muestra que la mayor probabilidad de ocurrencia del viento está cerca de los 3.5 a 4.5 m/s, lo cual coincide con los valores adecuados para turbinas Savonius, diseñadas para operar a velocidades bajas y medias. El valor de  $K = 3.5$  indica que hay poca dispersión en las velocidades del viento. Esto sugiere que el viento en la zona es relativamente constante, lo cual es favorable para sistemas eólicos pequeños. La velocidad promedio de 5.02 m/s está por encima del valor más probable de la curva, lo que significa que, aunque los vientos comunes estén entre 3–4 m/s, hay eventos frecuentes de vientos más altos, lo cual puede mejorar la generación eléctrica de la turbina.

#### **4.1.7. Potencial eólico generación de energía a nivel domiciliaria**

##### **a. Calculando el área de barrido para una turbina savonius**

Para el cálculo de área de barrido se tiene que los datos de la ficha técnica del generador

**Tabla 17:***Datos de la ficha técnica de generador*

<b>Item</b>	<b>Parametros</b>
<b>Velocidad inicial</b>	1.3m/s
<b>Velocidad nominal</b>	11m/s
<b>Velocidad de corte</b>	2.5m/s
<b>Diámetro de las cuchillas del rotor (D)</b>	0.52m
<b>Altura de montaje (H)</b>	9 m
<b>Altura de cuchillas</b>	1.05 m
<b>Coefficiente de potencia</b>	0.35
<b>Potencia nominal</b>	400 W

Para las turbinas horizontales, el rotor gira como un ventilador y el área de barrido es un círculo. En cambio, el savonius gira alrededor de un eje vertical y el área que intercepta el viento se ve como un rectángulo vertical, por ende, el área se calcula de la siguiente manera:

$$A = D \times h$$

Donde:

D=diámetro del rotor (m)

h= altura efectiva de dos palas (m)

Reemplazando los datos a la ecuación

$$A = 0.52 \text{ m} \times 1.05 \text{ m}$$

$$A = 0.546 \text{ m}^2$$

**b. Calculando la potencia del viento**

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3$$

Donde:

Área de rotor (savonius)=  $0.546m^2$

Velocidad nominal = 11m/s

Densidad (puno, altitud 3812 msnm) =  $0.789 \text{ kg/m}^3$

Potencia nominal del generador= 400 W

Reemplazamos los datos a la fórmula de la siguiente manera:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \times \frac{0.789 \text{ kg}}{m^3} \times 0.546m^2 \times 11 \text{ m/s}$$

$$P_{viento} = 286 \text{ W}$$

**c. Calculando la potencia útil (mecánica del eje)**

$$P_{util} = C_p * P_{viento}$$

Donde:

Coeficiente de potencia  $C_p$  (savonius)=0.32

Potencia del viento  $P_{viento}$ = 286 W

Reemplazamos los datos a la fórmula:

$$P_{util} = 0.32 * 286 \text{ W}$$

$$P_{util} = 100.1 \text{ W}$$

## 4.1.8. Análisis Comparativo entre Generación y Demanda Energética

### 4.1.9. 1. Parámetros del sistema eólico

Tabla 18:

*Parámetros del sistema eólico*

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad del aire ( $\rho$ )	0.789	kg/m <sup>3</sup>
Área barrida del rotor (A)	0.546	m <sup>2</sup>
Velocidad del viento (V)	11	m/s
Coefficiente de potencia (Cp)	0.35	adim.

### Cálculo de la potencia útil generada:

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \times C_p = 0.5 \times 0.789 \times 0.546 \times 11^3 \times 0.35 \approx 100.25 \text{ W}$$

- Energía diaria generada:  $100.25 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 2.41 \text{ kWh/día}$
- Energía mensual:  $2.41 \times 30 = 72.3 \text{ kWh/mes}$
- Energía anual:  $2.41 \times 365 = 879.65 \text{ kWh/año}$

### 4.2. 3. Comparación entre generación y demanda

Tabla 18:

*Comparación entre generación y demanda*

Concepto	Valor	Unidad
Energía generada (a 11 m/s)	2.41	kWh/día
Energía demandada	0.127	kWh/día
Cobertura de demanda (%)	5.27	%
Excedente energético diario	2.283	kWh/día

Bajo condiciones ideales (viento constante de 11 m/s), el sistema eólico Savonius instalado en la Isla de los Uros puede generar hasta 2.41 kWh diarios, lo cual supera ampliamente la demanda diaria domiciliar estimada en solo 0.127 kWh. Esto representa

### 4.3. Factor de planta

Considerando el resultado final arroja una potencia eléctrica útil de aproximadamente 65.7 W, lo que representa un 34.4 % de pérdidas globales desde el viento hasta la entrega de energía al sistema eléctrico.

**Tabla 19:**

*Datos estimados de los cálculos*

Concepto	Valor
Potencia del viento	286.0 W
Potencia útil (mecánica del eje)	100.1W
Potencia eléctrica neta	65.7W
Pérdidas totales estimadas	34.4W

*Nota: La potencia útil captada por el rotor depende de la eficiencia aerodinámica, la cual está limitada teóricamente al 59.3% (Manwell, McGowan, & Rogers, 2009)*

#### 4.3.1. Para calcular el factor de planta aplicamos la siguiente formula

La energía real producida durante durante un periodo

$$E_{real} = 21kwh$$

Potencia útil máxima esperada con pérdidas ya considerados

$$F_p = 65.7 W = 0.0657 KW$$

Horas totales en tres meses

$$t = 90 \text{ dias} \frac{24 \text{ h}}{\text{dia}} = 2160 \text{ h}$$

Energía máxima teórica posible

$$E_{maxima} = F_p * t$$

$$E_{maxima} = 0.0657 \text{ kw} * 2160 \text{ h}$$

$$E_{maxima} = 141.91 \text{ kwh}$$

Para calcular el factor de planta aplicamos la siguiente formula

$$F_p = \frac{\text{energia real}}{\text{energia maxima}}$$

$$F_p = \frac{21 \text{ kwh}}{141.91 \text{ kwh}}$$

$$F_p = 0.15 \rightarrow 15\%$$

El cálculo realizado para el sistema eólico de eje vertical tipo Savonius, instalado en la Isla de los Uros, determinó un factor de planta del **15 %**. Este valor refleja un nivel de aprovechamiento energético aceptable en función de la capacidad nominal del aerogenerador y de las condiciones de viento registradas en la zona de estudio y el porcentaje restante podrían ser considerado las perdidas por condiciones medioambientales, perdidas estructurales, fallas mecánicas.

#### 4.3.2. Estimación de los gastos operativos y de mantenimiento

$$\text{O\&M} = I_{inicial} * \%$$

Donde:

O&M: Desembolsos por operación y servicios de mantenimiento

$I_{inicial}$ : 5806

=: porcentaje de incremento por gesti3n operativa y tareas de mantenimiento es 3%

$$O\&M = 5806 * 0.03$$

$$O\&M = 174.18$$

Este valor corresponde a una proyecci3n anual constante de los gastos relacionados con el mantenimiento y la operaci3n a lo largo de la vida 3til del proyecto. En otras palabras, se considera que cada a3o ser3 necesario asignar un monto aproximado destinado a garantizar el correcto desempe3o del sistema, incluyendo tareas como inspecciones, ajustes t3cnicos, limpieza peri3dica y el recambio de componentes menores, entre otras acciones de conservaci3n.

### 4.3.3. Calculando la energ3a anual

$$E_{anual} = P_{nominal} * f_p * 8760$$

Donde:

$E_{anual}$ : Energ3a generada al a3o (kWh).

$P_{nominal}$ : La potencia del sistema e3lico savonius (0.4 kW)

$f_{planta}$ : 15%.

8760: N3mero de horas en un a3o

Teniendo todos los datos vamos a calculamos la energ3a anual

$$E_{anual} = 0.4 * 0.15 * 8760$$

$$E_{anual} = 525.6 kWh / A3o$$

El sistema e3lico Savonius instalado generari3 aproximadamente 525.6 kWh por a3o bajo un factor de planta del 15%, el cual se considera razonable para zonas con vientos moderados y turbinas de baja potencia.

#### 4.3.4. Cálculo de la producción energética total durante el periodo de funcionamiento

$$E_{total} = E_{anual} * vida\ util$$

Datos:

Energía anual generada: 525.6 kWh/año

Vida útil estimada del sistema eólico savonius: 20 años.

$$E_{total} = 525.6 \frac{kWh}{Año} * 20\ años$$

$$E_{total} = 10512\ kWh$$

El aerogenerador de eje vertical tipo Savonius instalado posee la capacidad estimada de producir alrededor de 10,512 kilovatios-hora (kWh) durante un período operativo de 20 años. Esta cifra corresponde a la cantidad total de energía renovable proyectada, destinada a abastecer de electricidad a la vivienda beneficiaria y cubrir sus requerimientos básicos de consumo energético.

#### 4.3.5. Resultado de costo total del sistema

Para llevar a cabo una evaluación económica completa del sistema eólico implementado en una vivienda de la Isla Urus, es fundamental tener en cuenta no solo el costo inicial de instalación, sino también los gastos estimados de operación y mantenimiento (O&M) que se generarán a lo largo de toda su vida útil.

Donde:

$C_{total}$ : Costo total de energía

I: inversión inicial

t: 20 años

$$C_{total} = 5806 + (174.18 * 20)$$

$$C_{total} = 9289.6 \text{ S/}.$$

Se sustituyeron los valores correspondientes en la fórmula con el fin de calcular el costo de la energía en la Isla Urus, ubicada en Puno, obteniendo el resultado expresado en soles por kilovatio-hora (S/. /kWh).

$$LCOE = \frac{C_{total}}{E_{total}}$$

$$LCOE = \frac{9289.6 \text{ S/}}{10512 \text{ kWh}}$$

$$LCOE = 0.88 \text{ S/}.\text{kWh}$$

Bajo las condiciones establecidas para la Isla Urus, en Puno, se determinó que el costo de generación eléctrica mediante el sistema eólico tipo Savonius asciende a 0.88 S/. por kilovatio-hora. Este valor representa el costo nivelado de la energía producida a lo largo de los 20 años de funcionamiento del sistema, contemplando tanto la inversión inicial como los costos asociados a operación y mantenimiento.

#### 4.3.6. Calculando la estimulación de carga

Comenzaremos por estimar el cargo por kWh/año, teniendo como partida la potencia generada y las horas de funcionamiento.

**Tabla 20:**

*Estimación del cargo por kWh/año adaptación propia.*

<b>Potencia Max.</b>	<b>kWh/día</b>	<b>Kwh/mes</b>	<b>kWh/año</b>	<b>cargo por</b>	<b>cargo por</b>
<b>kW</b>				<b>kWh</b>	<b>Kwh/año</b>
<b>0.08</b>	1.92	57.6	700.8	0.88	616.7

La tasa de descuento de 8% fue considerado de un estudio de sistema eólicos rurales.

**Tabla 21:**

*Variables utilizadas en el cálculo de los indicadores económicos (formulación propia).*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>potencia del generador</b>	kW	0.4
<b>inversión inicial</b>	S/.	5806
<b>productividad</b>	Kwh/año	616.7
<b>tasa de descuento</b>	%	8
<b>costo de energía eléctrica del lugar</b>	s/. /Kwh	0.88
<b>tiempo de vida útil (turbina eólica)</b>	años	20

La Tabla 23 presenta los valores correspondientes a los ingresos iniciales y sus respectivos incrementos anuales, así como los egresos iniciales junto con sus aumentos proyectados para cada año, los cuales serán calculados de forma similar.

**Tabla 22:**

*Datos ingresos e incrementos, adaptación propia.*

<b>CONDICIONES INICIALES</b>	<b>Valor</b>
<b>Ingresos</b>	
	energía*tarifario del lugar urus
<b>Monto de ingreso al inicio del proyecto</b>	2% anuales
<b>Mantenimiento</b>	
<b>costo inicial por mantenimiento</b>	0.2%*inversión
<b>incremento de gastos por mantenimiento</b>	3% anual

En este análisis se asume que, durante el primer año, el gasto asociado al mantenimiento del sistema eólico autónomo representa el 0.2% del monto total de la inversión inicial. A partir del segundo año de operación, dicho costo presenta un incremento anual del 3% en relación con el año anterior, con el propósito de reflejar el desgaste gradual del sistema y la creciente necesidad de intervenciones técnicas.

Se realizo de la siguiente formula:

$$1er. año_{mant.} = 0.002 * 5806$$

$$1er. año_{mant.} = 11.6$$

$$2do. año_{mant.} = 11.6 + 0.03 * 5806$$

$$2do. año_{mant.} = 11.96$$

#### 4.3.7. Resultados de ingresos y egresos del sistema eólico

El análisis económico de un sistema eólico constituye un componente esencial dentro de la evaluación de su viabilidad técnica y financiera. Este análisis permite determinar si el proyecto resulta rentable a lo largo de su vida útil, considerando tanto los **ingresos** generados por la energía producida como los **egresos** asociados a la inversión, operación y mantenimiento del sistema.

El flujo de caja se determina restando los egresos a los ingresos obtenidos en cada periodo.

**Tabla 23:***Muestra los ingresos y egresos adaptación propia.*

<b>AÑO</b>	<b>INGRESOS</b>	<b>EGRESOS</b>	<b>Tasa de retorno 8%</b>
	Venta de energía S/.	Mantenimiento S/.	<b>Flujo de caja</b> S/.
<b>0</b>			-5806
<b>1</b>	616.704	11.612	605.091
<b>2</b>	629.034	11.961	617.073
<b>3</b>	645.954	12.319	633.634
<b>4</b>	662.874	12.689	650.184
<b>5</b>	679.794	13.070	666.723
<b>6</b>	696.714	13.462	683.251
<b>7</b>	713.634	13.866	699.767
<b>8</b>	730.554	14.282	716.271
<b>9</b>	747.474	14.710	732.763
<b>10</b>	764.394	15.152	749.242
<b>11</b>	781.314	15.606	765.707
<b>12</b>	798.234	16.074	782.159
<b>13</b>	815.154	16.556	798.597
<b>14</b>	832.074	17.053	815.021
<b>15</b>	848.994	17.565	831.428
<b>16</b>	865.914	18.092	847.822
<b>17</b>	882.834	18.634	864.199
<b>18</b>	899.754	19.193	880.560
<b>19</b>	916.674	19.769	896.904
<b>20</b>	933.594	20.362	913.231

#### 4.4. Resultados de análisis económico

Los principales indicadores utilizados para evaluar la rentabilidad del proyecto son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la inversión. En este caso, el VAN calculado con una tasa de descuento del 8% asciende a S/. 1234.82, lo cual representa un resultado económicamente favorable, como se explicará más adelante. Por su parte, la TIR obtenida es del 11%, lo que indica que el VAN se anula cuando los flujos de caja se descuentan a esta misma tasa. La diferencia del 3% entre la TIR y la tasa de descuento sugiere que el proyecto presenta una rentabilidad real significativa. En cuanto al periodo de recuperación, se observa que el punto de equilibrio donde los flujos acumulados pasan a ser positivos se alcanza en el año 15. Considerando que la vida útil del sistema eólico es de 20 años, este dato permite concluir que el proyecto es viable en términos financieros hacia el tramo final de su operación.

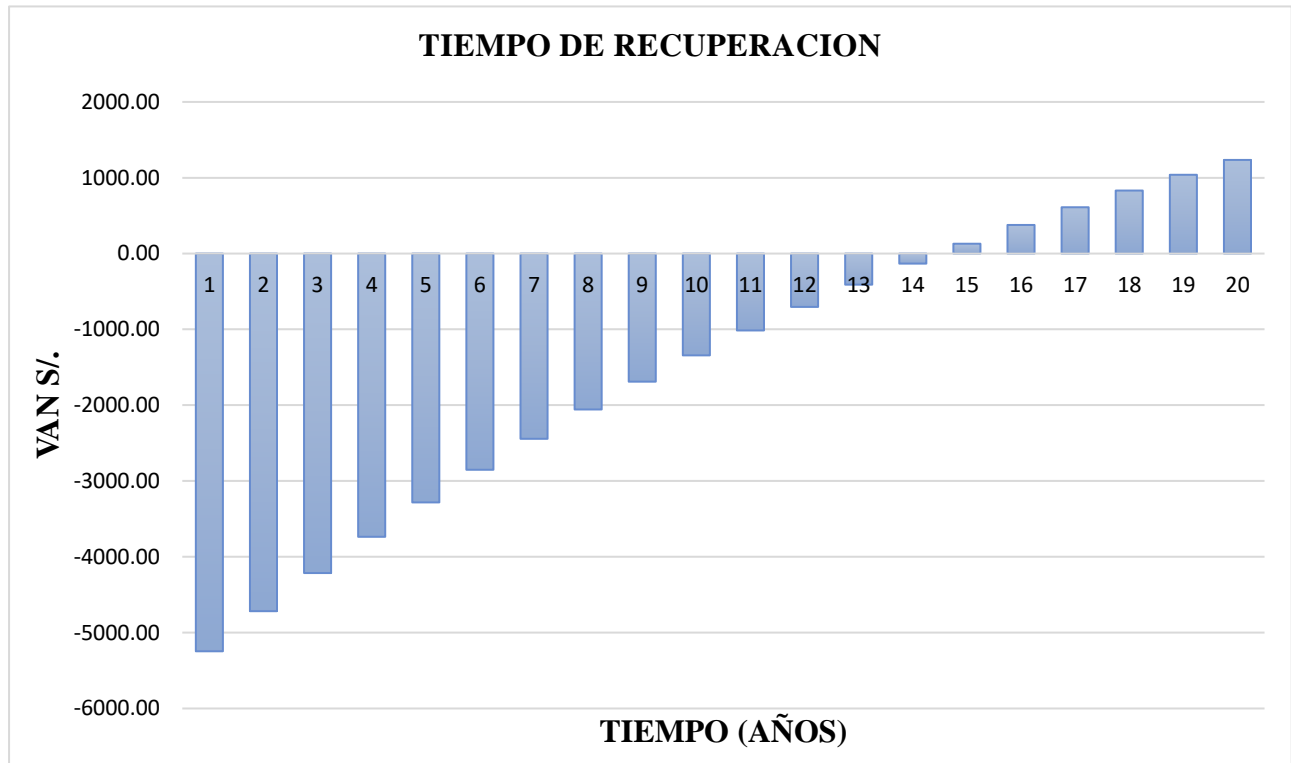
**Tabla 24:**

*Resultados de análisis económica adaptación propia.*

<b>Indicador económico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>VAN- Valor Actual Neto</b>	s./	1234.82
<b>TIR- Tasa Interna de retorno</b>	%	11%
<b>B/C Benéfico - Costo</b>	B/C	1.21
<b>Plazo de retorno de la inversión</b>	años	15

**Figura 56:**

*Tiempo de recuperación de inversión.*



Tal como se muestra en la Figura 53, durante los primeros años del proyecto (del año 0 al 14), el Valor Actual Neto (VAN) acumulado se mantiene en cifras negativas. Esto refleja que, hasta ese periodo, los ingresos generados no han sido suficientes para recuperar la inversión inicial de S/. 5,806. Aunque los flujos de caja anuales son positivos, su valor presente aún no compensa el total de los egresos acumulados. Es recién en el año 15 cuando la barra correspondiente en el gráfico cruza el eje horizontal, señalando que el VAN acumulado alcanza un valor positivo por primera vez.

A partir del año 15 se cumple el periodo de recuperación de la inversión. Desde ese momento en adelante, los ingresos obtenidos a través de la generación y venta de energía superan los costos de operación y mantenimiento, lo que permite generar excedentes económicos. Este patrón es común en proyectos de energías renovables ubicados en zonas rurales o aisladas, donde los beneficios financieros suelen manifestarse a largo plazo.

## **4.5. Discusiones**

### **4.5.1. Discusión primer objetivo**

Al comparar los valores obtenidos en campo con la información presentada en la **Tabla 1** del Atlas Eólico del Perú (MINEM, 2016), se aprecia que la región Puno se encuentra dentro de un rango de potencial eólico medio, con velocidades registradas entre 4 y 6.5 m/s a 80 m de altura. No obstante, las mediciones locales realizadas durante la ejecución del proyecto en la Isla de los Uros alcanzaron un promedio aproximado de 5.02 m/s, ubicándose ligeramente por encima del valor teórico mínimo reportado para la zona. Aunque a primera vista este incremento podría interpretarse como una condición favorable, en la práctica no generó un aumento equivalente en el rendimiento del aerogenerador Savonius utilizado. Esto se debe a que dicho tipo de turbina opera de forma más eficiente en vientos bajos a moderados, por lo que, al superar el umbral cercano a los 5 m/s, se incrementan las pérdidas aerodinámicas asociadas a turbulencias y resistencia al arrastre, reduciendo el coeficiente de potencia efectivo. Además, la menor densidad del aire propia de la altitud de Puno limita la energía cinética disponible aun cuando la velocidad del viento es adecuada. En conjunto, estos factores explican por qué la producción energética del sistema no aumenta proporcionalmente con la velocidad medida, manteniéndose dentro de valores coherentes para una turbina Savonius instalada en una región clasificada como de viento medio.

La predominancia de vientos en la dirección N-E también coincide con estudios similares en zonas lacustres y de altitud, donde la orientación de los aerogeneradores puede maximizar la captación de energía eólica (Suhail Khokhar, 2015). Por lo tanto, la correcta orientación y diseño adaptado a las características del viento local son factores determinantes para optimizar la eficiencia energética del sistema. En resumen, el análisis combinado de datos meteorológicos y mediciones directas del sistema permite una evaluación más precisa y realista del recurso eólico, apoyando el desarrollo de soluciones energéticas renovables eficientes para comunidades aisladas como la Isla de los Uros.

### **4.5.2. Discusión del segundo Objetivo**

El sistema eólico tipo Savonius evaluado en la Isla de los Uros presentó un factor de planta de 15 %, lo que indica que solo se aprovechó una fracción de su capacidad máxima teórica durante el

periodo de estudio; este valor, aunque bajo en comparación con turbinas de eje horizontal, se encuentra dentro del rango esperado para turbinas de eje vertical en contextos de viento medio a bajo. Por ejemplo, la empresa (Hi-VAWT, 2022) reporta factores de planta entre 10 % y 25 % en turbinas híbridas Savonius-Darrieus instaladas en zonas rurales y costeras, mientras que prototipos desarrollados por la Universidad Nacional de Ingeniería (Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, 2019) alcanzaron entre 12 % y 18 % de rendimiento en zonas altoandinas. Por tanto, los valores obtenidos son consistentes con los parámetros técnicos esperados, lo que los hace aceptables. y comparables con experiencias similares, especialmente considerando que el sistema se implementó sin una caracterización previa del recurso eólico. Además, como se observó en el proyecto piloto de Uros Chulluni, la eficiencia global puede mejorarse integrando un sistema solar fotovoltaico, permitiendo así mayor cobertura energética y menor tiempo de retorno de la inversión.

#### **4.5.3. Discusión de tercer Objetivo**

El presente estudio evaluó la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema eólico de eje vertical tipo Savonius en una vivienda ubicada en una isla flotante del lago Titicaca. Los resultados obtenidos se compararon y analizaron con base en experiencias previas y en las condiciones particulares del entorno. En el contexto geográfico del estudio, caracterizado por una radiación solar media y una velocidad de viento moderada, se evidenció que la incorporación de energías renovables representa una solución pertinente para mejorar la autonomía energética de las comunidades. Tal como lo demuestra el proyecto piloto realizado en 2019 en la isla flotante de Uros Chulluni, donde un sistema híbrido eólico-solar permitió cubrir satisfactoriamente la demanda energética doméstica, la replicabilidad de este tipo de sistemas resulta altamente prometedora (Torres, 2019).

## V. CAPITULO

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

En relación con el primer objetivo planteado, el análisis del recurso eólico en la Isla de los Uros reveló que, debido a su altitud de 3812 m s.n.m., la densidad del aire se ve reducida a  $0.789 \text{ kg/m}^3$ , lo que equivale aproximadamente al 64 % del valor estándar a nivel del mar. Esta disminución influye directamente en la cantidad de energía eólica disponible. No obstante, las velocidades promedio del viento 7.16 m/s según registros del SENAMHI y 5.02 m/s obtenidos mediante mediciones directas con el equipo Cerbo GX son adecuadas para el funcionamiento de turbinas verticales tipo Savonius, las cuales mantienen un buen desempeño en condiciones de viento moderado. Por otro lado, la predominancia de vientos provenientes del noreste (NE) y los parámetros derivados del modelo de Weibull, con un valor de escala  $C=3.93\text{m/s}$  y un valor de forma  $k=3.50$ , sugieren una distribución del recurso relativamente estable en la zona. En consecuencia, se determina que el sistema eólico Savonius instalado es técnicamente factible para cubrir la demanda energética de una vivienda aislada, considerando que la producción diaria estimada de 209 Wh/día supera la necesidad proyectada de 127 Wh/día

En cuanto al segundo objetivo del sistema eólico aislado nos muestra un factor de planta del 15%, lo cual es un valor típico para turbinas eólicas en bajas condiciones de viento o en ubicaciones con limitaciones específicas, como la altitud elevada de la ubicación del proyecto, este resultado nos indica que, aunque el sistema no alcanza a su capacidad nominal con frecuencia debido a la variabilidad de condiciones del flujo de aire y su densidad, logra un rendimiento aceptable, a pesar del bajo factor de planta, el sistema puede ser útil para suplir las necesidades energéticas básicas en comunidades aisladas, especialmente si se combina con sistemas de almacenamiento energético como las baterías.

En relación con el tercer objetivo planteado, el estudio económico realizado permite concluir que la instalación del sistema eólico de eje vertical tipo Savonius resulta financieramente factible en las condiciones analizadas. El proyecto arroja un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/. 1,234.82, acompañado de una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 11% y una relación beneficio-

costo de 1.21, lo cual refleja una rentabilidad superior al capital invertido. Si bien el tiempo estimado para recuperar la inversión es de 15 años, este plazo se considera aceptable dentro del horizonte de vida útil del sistema, especialmente tratándose de una solución energética descentralizada.

En términos generales, se concluye que el estudio e implementación de un sistema eólico autónomo de eje vertical tipo Savonius en la Isla de los Uros, Puno, ha resultado ser una alternativa viable tanto desde el punto de aspecto económico, el costo nivelado de la energía (LCOE) obtenido fue de S/ 0.88 por kWh, valor competitivo considerando la ausencia de red eléctrica en la zona y la dependencia actual de combustibles fósiles de mayor costo y mayor impacto ambiental. A pesar de las restricciones asociadas a la altitud que disminuye la densidad del aire y, por ende, la energía eólica aprovechable, las condiciones del recurso eólico en la zona presentan velocidades promedio adecuadas y una dirección predominante constante, lo que favorece el rendimiento de turbinas Savonius, optimizadas para operar en entornos con vientos de baja intensidad. La energía generada supera los requerimientos energéticos diarios previstos para la vivienda beneficiaria, y aunque el sistema registra un factor de planta moderado (15 %), su comportamiento es aceptable dentro de un contexto aislado y con limitaciones de infraestructura. En complemento, el análisis financiero refleja resultados positivos, destacando un Valor Actual Neto favorable, una Tasa Interna de Retorno que supera el costo de oportunidad del capital y una relación beneficio-costos superior a la unidad, confirmando así su viabilidad económica.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda considerar la influencia del recurso eólico local en el comportamiento del sistema. Durante la implementación se evidenció que velocidades de viento elevadas activaron con frecuencia el sistema de protección de la turbina, afectando su continuidad operativa. Por tanto, es conveniente evaluar mecanismos de regulación que optimicen su rendimiento ante estas condiciones.

También se recomienda considerar que el factor de planta del 15% es bajo en comparación de parques eólicos conectados a la red (donde puede llegar al 30% - 40%), es suficiente para proyectos pequeños y específicamente en comunidades aisladas, también se recomienda analizar

la implementación de un sistema híbrido (Eólico – solar) para mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico.

Se recomienda implementar el sistema eólico tipo Savonius en la Isla Urus, ya que ha demostrado ser económicamente viable y puede cubrir necesidades básicas de energía en una zona aislada. Aunque su eficiencia no es alta, el proyecto genera beneficios a largo plazo y tiene bajo costo de operación y mantenimiento, además se podría complementar con un sistema solar fotovoltaico para mejorar el rendimiento global del sistema y reducir el tiempo de retorno de la inversión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcon Robison, L. (29 de Enero de 2017). IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE AÉROGENERACIÓN TIPO VERTICAL DE BAJA VELOCIDAD DE VIENTO PARA GENERACIÓN ELECTRICA. Latacunga, Ecuador.
- Alibaba. (2022). *Alibaba.com*. Obtenido de [https://www.alibaba.com/pla/12V-24V-helical-vertical-axis-wind\\_62400363118.html?mark=google\\_shopping&biz=pla&searchText=wind+generators&product\\_id=62400363118&language=es](https://www.alibaba.com/pla/12V-24V-helical-vertical-axis-wind_62400363118.html?mark=google_shopping&biz=pla&searchText=wind+generators&product_id=62400363118&language=es)
- Bellido, J. A. (2022). *Estudio de prefactibilidad de un parque eolico en area de influencia minera en el departamento de cajamarca*. Cajamarca.
- Carlos, V. (2019). *Diseño de un aerogenerador Savonius para uso doméstico*. Valencia: Universidad politecnica de valencia.
- Chou Rodriguez, R. M. (2017). Energía eólica y aerogeneradores: estudio comparativo de diferentes variantes para el perfeccionamiento de las multiplicadoras. Universidad y Sociedad. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>, 120-127.
- DiarioCorreo. (23 de Octubre de 2016). *diariocorreo.pe*. Obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/puno/20-familias-se-quedaron-sin-casa-tras-el-incendio-en-lago-titicaca-video-705644/>
- Diego Cevallos Cevallos, .. R. (2013). Diseño y construccion de un prototipo de generador eolico para una potencia de 200 watts. *Escuela politecnica Nacional* .
- Dobrev, I., & Massouh, F. (2011). Study of a vertical axis wind turbine. *Energy Procedia*, 558 - 561. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.065>

- Dobrev, I., & Massouh, F. (2011). Study of the flow in a vertical axis wind turbine with Savonius type rotor. *Comptes Rendus Mécanique*, 613-617.
- EcoInventos. (1 de 04 de 2022). *LS SAVONIUS 3.0, turbina eólica urbana para empresas y terrenos privados*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/ls-savonius-3-0/>
- EconoInventos. (10 de 12 de 2020). *ecoinventos.com*. Obtenido de Componentes y aplicaciones de un sistema con aerogeneradores de minieólica: <https://ecoinventos.com/sistema-con-aerogeneradores-de-minieolica/>
- EPTEL. (2022). *peptel.com.pe*. Obtenido de Tienda - Inversor de voltaje 12V DC 220V AC potencia 600W: <https://peptel.com.pe/product/inversor-de-voltaje-12vdc-220vac-600w/>
- Eriksson, S., Bernhoff, H., & Leijon, M. (2008). Evaluation of different turbine concepts for wind power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.017>, 1419–1434.
- Espinosa, S. T. (2021). *Optimizacion del diseño de la turbina eolico Savonius*. Colombia.
- FLTXNY. (2024). *Amazon*. Obtenido de MPPT Wind Charge Controller for Wind Turbine Generator 12V/24V 400W: <https://www.amazon.com/dp/B0B6DCMPJL>
- Gimenes, C. R. (2018). *Estudio de viabilidad técnica de un mini parque eólico de 9 kw conectado a la red Puno, en el sector ventilla alto puno - departamento de Puno*. Puno .
- González, C. C. (2001). Analisis y simulacion de sistemas eolicos aislados. *Universidad de Vigo Departamento de energia electrica*.
- Hau, E. (2013). *Wind turbines: Fundamentals, technologies, application, economics*. Springer: 3.
- Hi-VAWT. (2022). *Vertical Axis Wind Turbine Systems*. Obtenido de <https://en.wikipedia.org/wiki/Hi-VAWT>
- INERGYS. (2025). *Turbina eólica vertical autónoma para zonas aisladas*. Obtenido de <https://noticiasambientales.com/innovation/new-vertical-wind-turbine>


- Islam, M. Q., Ting, D. S., & Fartaj, A. (2008). Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1087 - 1109.
- Lopez-Cozar, J. M. (2006). *Energia Solar Termica*. Madrid: instituto para la diversificacion y ahorro de la energia.
- Lucas, B. (Junio de 2020). *www.researchgate.net*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diferentes-tipos-de-turbinas-Savonius-analisadas-em-relacao-ao-numero-de\\_fig1\\_342574737](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diferentes-tipos-de-turbinas-Savonius-analisadas-em-relacao-ao-numero-de_fig1_342574737)
- Luis Vinicio, C. b. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN GENERADOR EOLICO DE EJE VERTICAL TIPO SAVONIUS PARA PRODUCIR 20 WATTS*. Quito: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10538/1/CD-6238.pdf>.
- Lunardi, W. T., Dalmon, D. R., De Oliveira, D., & De Souza, S. N. (2020). Techno-economic analysis of hybrid photovoltaic/wind systems connected to the grid for distributed generation in southern Brazil. *Renewable Energy* 10.1016/j.renene.2019.09.036, 2110–2121.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. Wiley Segunda (2nd ed.).
- Maque, P. Q. (2013). Metodologia para diseño de un mini sistema de generacion eolica. *Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa*.
- Marcos, A., & Javier, F. (2014). *Diseño y cálculo de un generador eólico aislado de la red*. Lima: Universidad nacional de ingenieria.
- Márquez, D. C. (2015). *Uso del Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Relación Beneficio-Costo en la Evaluación Financiera de un Programa de Vacunación de Fiebre Aftosa en el estado Yaracuy, Venezuela*. Venezuela: [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-65762015000100008](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-65762015000100008).

- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2016). *Atlas Eólico del Perú* . Obtenido de Dirección General de Eficiencia Energética.: [https://www.minem.gob.pe/\\_detalle.php?idSector=6&idTitular=7519](https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=6&idTitular=7519)
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2020). *Informe técnico sobre proyectos de electrificación rural mediante energías renovables no convencionales*.
- Miritz, S. (2019). *Design de difusor aerodinâmico para turbina eólica de eixo vertical*. Rio Grando do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- Murillo, R., C., H., & D., P. L. (11 de 05 de 2022). *Assessment of Wind Energy Potential in Chachapoyas, Peru*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su14105918>
- Orjuela, J. D., & Perdomo, S. A. (2018). *Implementacion de un generador eolico tipo savonius helicoidal en la empresa CYGNI Ingenierias SAS*. Bogota.
- Pailcho, C. A. (2019). *Implementación de un sistema de microgeneración eólica con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de electricidad en la universidad técnica del norte*. ecuador.
- Paraschivoiu, I. (2002). *Wind turbine design: with emphasis on Darrieus concept*. Montreal, Canadá: Polytechnic International Press.
- Perpetual Industries. (2020). *WindSilo vertical axis wind turbine*. Obtenido de <https://www.perpetualindustries.com/windsilo.html>
- PERURAIL. (2025). *www.perurail.com*. Obtenido de <https://www.perurail.com/es/blog/las-islas-flotantes-de-uros-y-su-comunidad/>
- Rodríguez, L. G., Ariza, J. R., Velazco, J. C., & Ibarra, J. E. (10 de 07 de 2021). *Design and Implementation of Vertical Axis Wind Turbines in Rural Colombia*. IntechOpen. Obtenido de <https://www.intechopen.com/chapters/78146>
- Saha, U. K. (2008). Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 1359 - 1375.

- Sanchez, J. H., & Palacios, A. R. (2025). *Implementación de prototipo de aerogenerador de eje vertical para aprovechar bajas velocidades de viento para producir energía eléctrica en el caserío Cruz Grande distrito de Jaén. Cajamarca.*
- Socualaya, P. D. (2023). *Propuesta de diseño y construcción del aerogenerador Savonius modificado para suministrar energía eléctrica a un usuario residencial del distrito de Ahuac-2021. Arequipa.*
- Suhail Khokhar, A. A. (2015). A comprehensive overview on signal processing and artificial intelligence techniques applications in classification of power quality disturbances. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1004-1013.
- Tenste. (2024). *Especificaciones técnicas de la batería GEL 100Ah 12V*. Obtenido de <https://www.tenste.com.pe/producto/bateria-gel-100ah-12v>
- Torres, M. &. (2019). Implementación de sistema híbrido eólico-solar en isla flotante de los Uros, Puno. Proyecto piloto. *Repositorio: Universidad Nacional del Altiplano.*
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources*. Routledge Tercera (3rd ed.).
- Universidad Nacional de Ingeniería, UNI. (2019). *Diseño de prototipo de turbina eólica de eje vertical para zonas altoandinas*. Lima: Repositorio UNI.
- Victron Energy. (2020). *Victron Energy B.V.* Obtenido de Cerbo GX - Manual de usuario (Versión 1.2): <https://www.victronenergy.com/live/cerbo-gx:start>
- Vidal, C. D. (2019). Diseño de un aerogenerador Savonius para uso doméstico. *Universidad politecnica de valencia.*

## **ANEXOS**

*Anexo 1: Ficha técnica de las características del aerogenerador savonius.*

 Ítem	F5 - 400
Velocidad inicial (m/s)	1.3 m/s
Corte de velocidad de viento (m/s)	2.5 m/s
Velocidad nominal del viento (m/s)	11 m/s
Tensión nominal (AC)	12V / 24 V
Potencia nominal (W)	400 W
Diámetro de cuchillas del rotor (m)	0.52
Peso del producto (Kg)	<23Kg
Altura de las cuchillas (m)	1.05 m
Velocidad del viento segura (m/s)	≤ 40 m/s
Cantidad de cuchillas	2
Material de palas	Fibra de vidrio
Generador	Motor de imanes permanentes trifásico
Vida útil	20
Sistema de control	Electroimán
Altura de montaje	7-12 m (9m)
Grado de protección del generador	IP54
Temperatura de trabajo	-5°C- 60°C
Altitud	4500 msnm

**Anexo 2: Ficha técnica del Controlador Blue Solar Charger MPPT 75/15.**

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15
Tensión de la batería	Selección automática: 12/24 V		
Corriente de carga nominal	10A	15A	15A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	145W	220W	220W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	290W	440W	440W
Max. corriente de cortocircuito PV 2)	10A	15A	15A
Desconexión automática de la carga	Sí, carga máxima 15A		
Tensión máxima del circuito abierto FV	75V		100V
Eficiencia máxima	98%		
Autoconsumo	12V: 20 mA 24V: 10 mA		
Tensión de carga de "absorción"	14,4V / 28,8V (ajustable)		
Tensión de carga de "flotación"	13,8V / 27,6V (ajustable)		
Algoritmo de carga	variable multietapas		
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32mV / °C resp.		
Corriente de carga continua/cresta	15A/50A		
Desconexión de carga por baja tensión	11,1V / 22,2V o 11,8V / 23,6V o algoritmo de BatteryLife		
Reconexión de carga por baja tensión	13,1V / 26,2V o 14V / 28V o algoritmo de BatteryLife		
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible) Corto circuito de salida / sobrecalentamiento		
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)		
Humedad	95%, sin condensación		
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web		
<b>CARCASA</b>			
Color	Azul (RAL 5012)		
Terminales de conexión	6 mm <sup>2</sup> / AWG10		
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexiones)		
Peso	0,5 kg		
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 40mm		
<b>STANDARDS</b>			
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2		
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada.			
1b) La tensión FV debe exceder en 5V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.			
2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.			

*Anexo 3: Ficha técnica del Inversor 500.*

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400/350W
Pico de potencia		400W	700W	900W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%		
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V		
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V		
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver		
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		<a href="https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff">https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff</a>		
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V		
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V		
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable		
Protección (2)		a - f		
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)		
Humedad (sin condensación)		máx. 95%		

## Anexo 4: Ficha técnica de la batería del Gel 12 V 100AH



### BATERÍA DE GEL 12V 100 AH

#### BATERÍA SERIE GEL

Las baterías de la serie GEL incorporan la nueva tecnología CCDR de placa estampada en laminación continua, que permite soportar aplicaciones cíclicas de carga y descarga profundas.

Las baterías utilizan gel de sílice coloidal que inmoviliza el electrolito y elimina la estratificación, diseñadas para una vida útil en flotación de 15 años a 20°C.

Cumple con los estándares IEC, BS, JIS y Eurobat.



#### APLICACIÓN

- Sistema de energía de emergencia.
- Equipos de comunicación.
- Sistemas de telecomunicaciones.
- Fuentes de alimentación ininterrumpida.
- Sillas de ruedas eléctricas.
- Juguetes, coches y motos eléctricas.
- Herramientas eléctricas.
- Carros de golf y buggies.
- Equipo marino.
- Equipo médico.
- Sistema de energía solar y eólica.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Sellado de seguridad.
- Tecnología antiderrames.
- Alta densidad de potencia.
- Excelente recuperación de descarga profunda.
- Placas gruesas y materiales altamente activos.
- Mayor vida útil y diseño de baja autodescarga.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MODELO DE BATERÍA	Voltaje nominal		12 V	
	Capacidad nominal (100 Horas)		100 Ah	
	Celdas por batería		6	
DIMENSIONES	Longitud	Ancho	Altura	Altura total
	329 mm	172 mm	218 mm	225 mm
PESO APROXIMADO	26,2 kg ± 3%			
CAPACIDAD @ 25°C	10 horas	5 horas	3 horas	1 hora
	91 Ah	75,5 Ah	71,4 Ah	67,6 Ah
CORRIENTE DE DESCARGA MÁXIMA	900 A (5 seg.)			
CORRIENTE DE CARGA MÁXIMA	18 A			
RESISTENCIA INTERNA	Cargado por completo a 25°C: Aproximadamente 4,4 mΩ			
CAPACIDAD VS TEMPERATURA	40°C	25°C	0°C	-15°C
	102%	100%	85%	65%
AUTODESCARGA @ 25°C	Después de 3 meses en almacenamiento		Tras 6 meses	Tras 12 meses
	91%		82%	64%
MÉTODO DE CARGA @ 25°C	Rango de Tensión de Carga uso en Ciclos (Bulk)		Rango de Tensión de Carga uso en Flotación (Float)	
	14,30 - 14,60 V		13,60- 13,80 V	

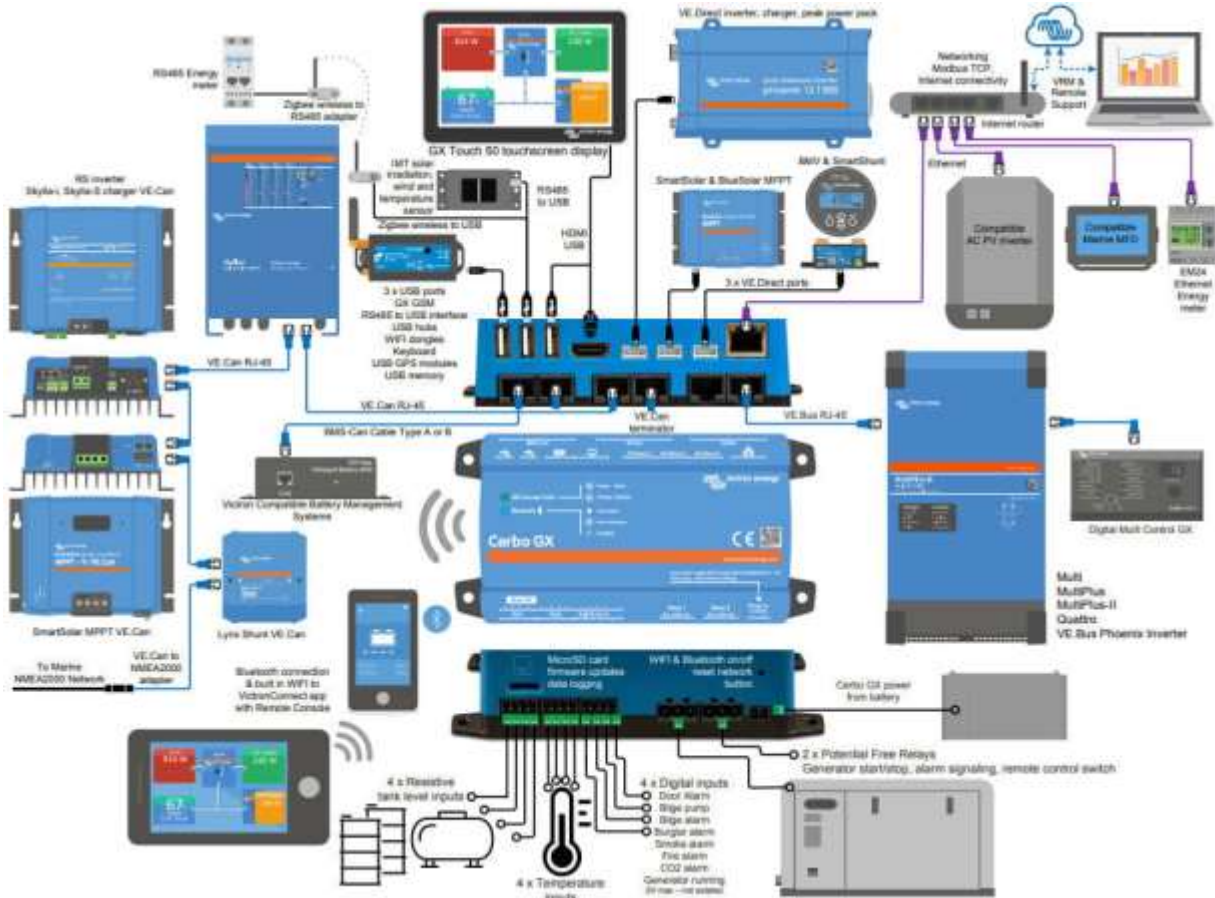
## Anexo 5: Ficha técnica del Vitron Energy Cerbo GX

Cerbo GX	
Tensión de alimentación	8 — 70 V CC
Montaje	Pared o carril DIN (35 mm) <sup>(2)</sup>
Puertos de comunicaciones	
Puertos VE.Direct (siempre aislados)	3 <sup>(3)</sup>
VE.Bus (siempre aislado)	2 tomas RJ45 en paralelo
VE.Can	sí - sin aislar
Otros	
Dimensiones externas (al x an x p)	78 x 154 x 48 mm
Rango de temperatura de trabajo	-20 a +50 °C
Normativas	
Seguridad	Por determinar
EMC	Por determinar
Automoción	Por determinar
GX Touch 50	
Montaje	Con accesorios de montaje incluidos
Resolución de la pantalla	800 x 480
Otros	
Dimensiones externas (al x an x p)	87 x 128 x 12,4 mm
Longitud del cable	2 metros
<b>Notas</b>	
1.	Para más información acerca del Cerbo GX y del GX Touch 50, visite la página de la gama de productos Victron GX en Victron live: <a href="http://www.victronenergy.com/live/venus-os:start">www.victronenergy.com/live/venus-os:start</a>
2.	Para el montaje sobre un carril DIN se necesita un accesorio adicional: adaptador DIN35.
3.	El máximo indicado en la sección de Rendimiento de la tabla anterior es el número total de dispositivos VE.Direct conectados, como controladores de carga solar MPPT. El total se refiere a todos los dispositivos conectados directamente más los dispositivos conectados mediante USB. El límite está determinado principalmente por la potencia de procesamiento de la CPU. Tenga en cuenta que también hay un límite para los otros tipos de dispositivos de los que a menudo se conectan varios: inversores FV. Normalmente se pueden monitorizar hasta tres o cuatro inversores trifásicos en un CCGX. Los dispositivos con CPU más potentes pueden monitorizar más unidades.

## Anexo 6: Consola remota

PROYECTO DE TESIS  
GENERADOR EOLICO  
(SAVONIUS) - UROS - PUNO  
Remoto Consola

## Anexo 7: Extensiones del Vitron Energy Cerbo GX



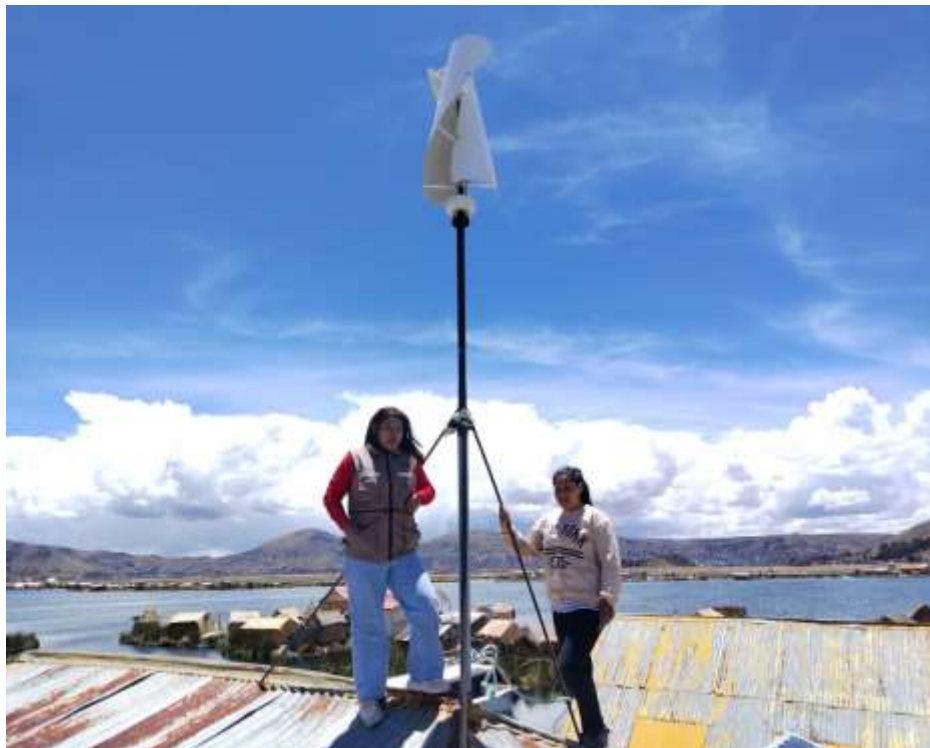
*Anexo 8: Sistema eólico tipo savonius instalado en la Isla Urus Puno*



*Anexo 9: Charlas informativas sobre el funcionamiento de sistema eólico*



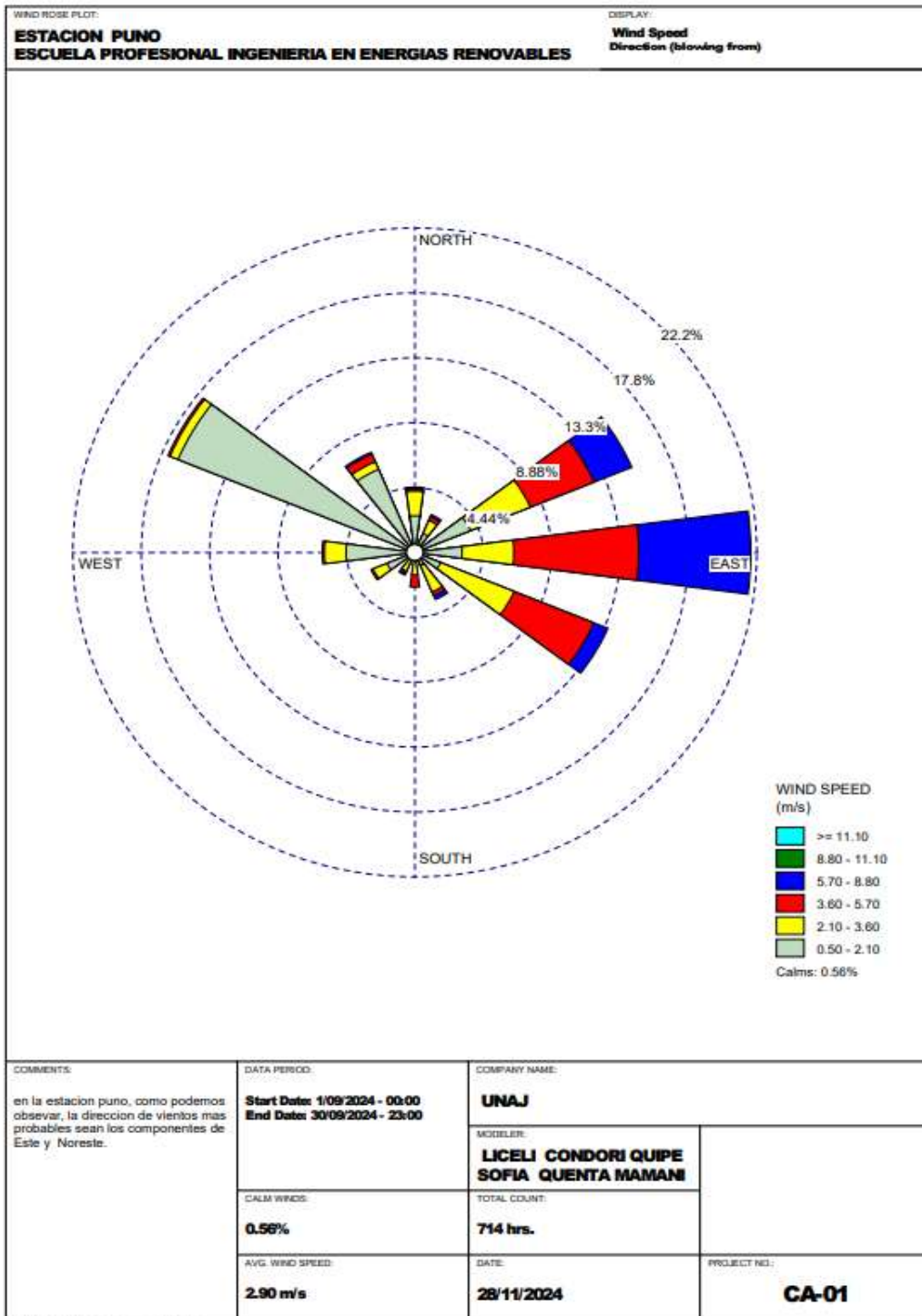
*Anexo 10: Instalación de la turbina eólica en la isla Flotante.*



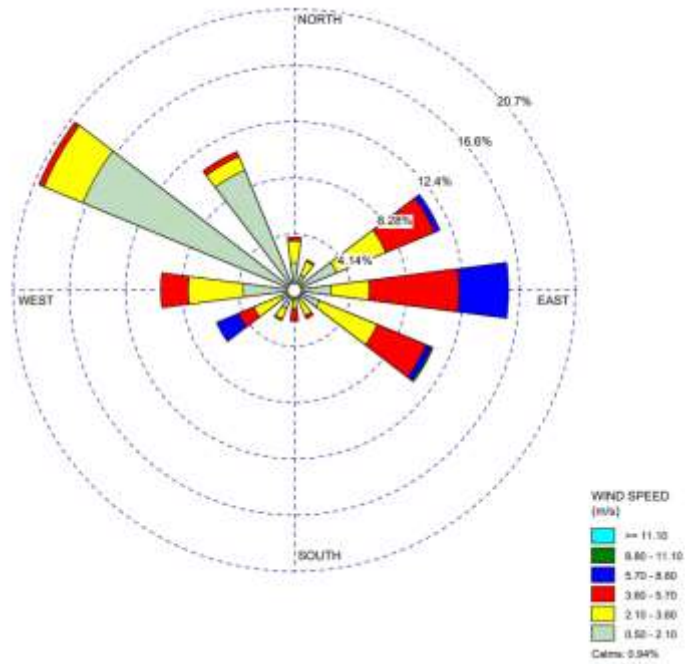
*Anexo 11: Lugar de instalación de turbina savonius, en funcionamiento*



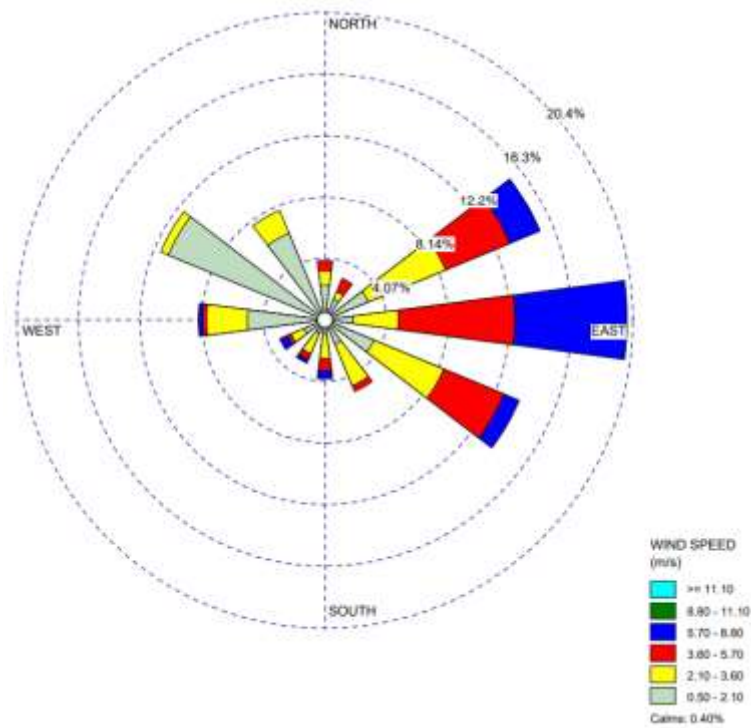
Anexo 12: Rosa de viento en WRPLOT de mes de Septiembre.



Anexo 13: Rosa de viento en WRPLOT de mes de Agosto.



Anexo 14: Rosa de viento en WRPLOT de mes de Octubre.



*Anexo 15: Operacionalización de variable independiente.*

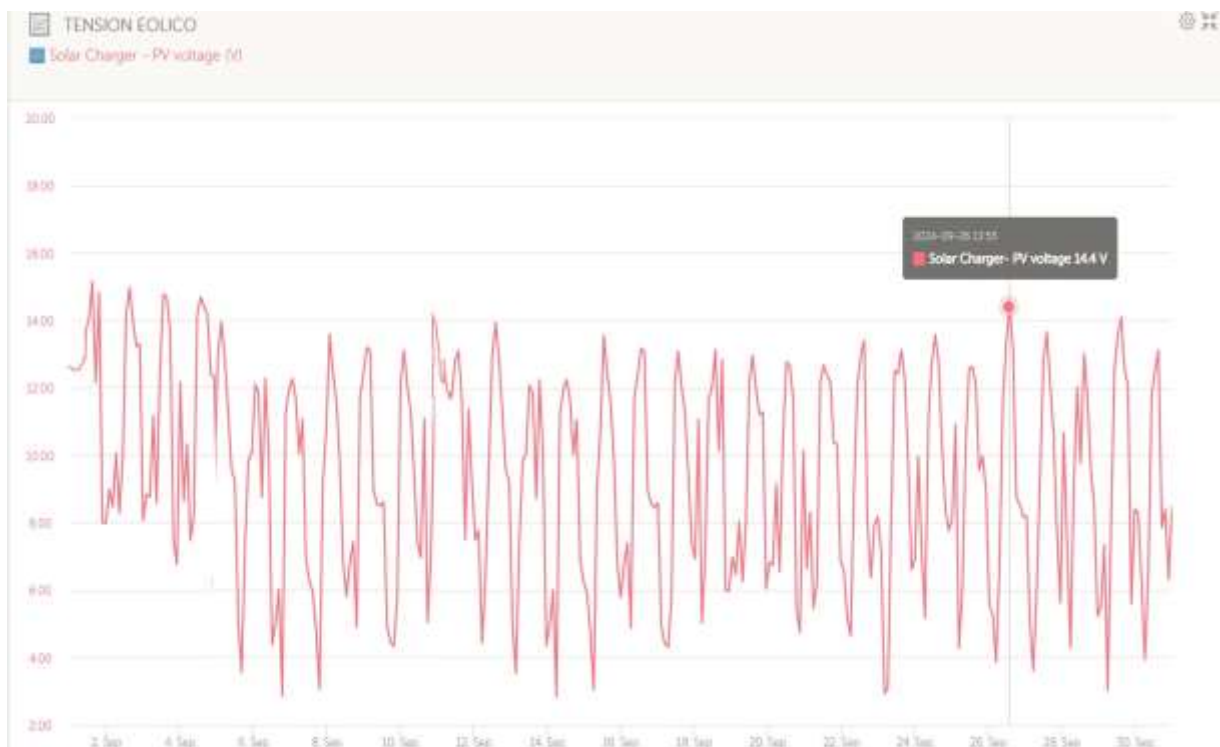
<b>Variable Independiente: Velocidad del viento</b>				
<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento</b>
La velocidad del viento mide la componente vertical del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados	Desplazamiento del aire	Dirección del viento	(m/s)	Anemómetro
	Temperatura ambiente		°C	Sensor de temperatura
	Presión atmosférica		Pascales	-
	Altitud		msnm	-

*Anexo 16 : Operacionalización de variable dependiente.*

<b>Variable Dependiente: sistema eólico aislado</b>				
<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Se obtiene de la energía cinética del viento que mueve las palas de un aerogenerador el cual pone en funcionamiento una turbina que la convierte en energía eléctrica, para así almacenarlas en baterías</b>	Rendimiento y cantidad de trabajo	Factor de planta	%	-
		Potencia	W	
		Tensión	V	
		Economía	S/.	

En cuanto a los parámetros eléctricos monitoreados mediante el dispositivo Victron Cerbo GX, se registraron los siguientes valores de tensión máxima durante los meses de estudio: 14.4 V en septiembre, 14.4 V en octubre y 12.2 V en noviembre de 2024. Estos datos reflejan el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación y evidencian una variación progresiva en la generación de tensión, posiblemente asociada a las fluctuaciones del recurso eólico durante ese periodo.

**Anexo 17:** Tensión eólica Octubre (Vitron Cerbo GX).



**Anexo 18:** Tensión eólica Septiembre (Vitron Cerbo GX).

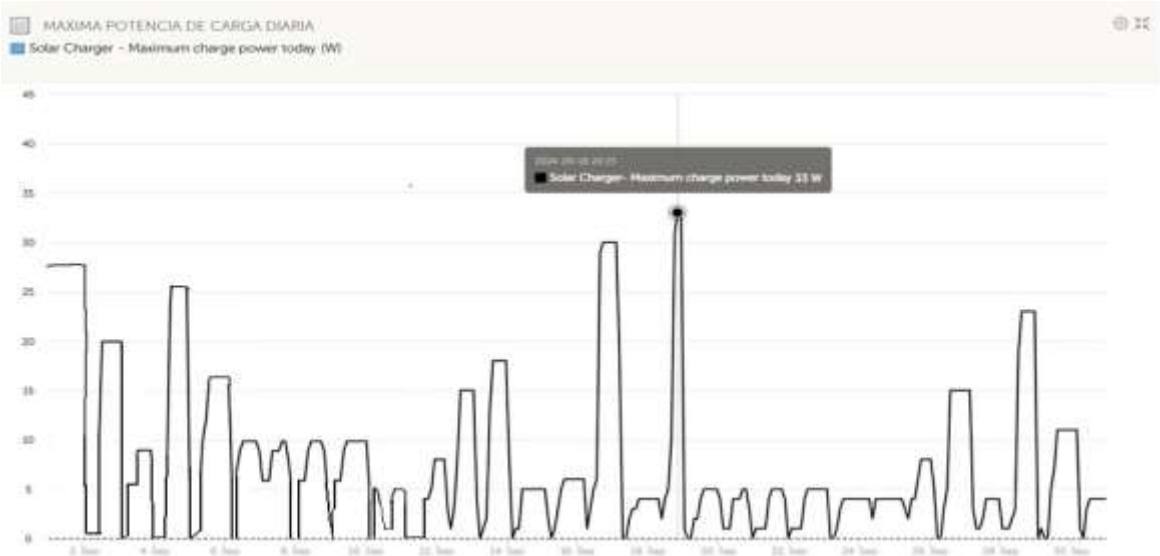


**Anexo 19:** Tensión eólica Noviembre (Vitron Cerbo GX).

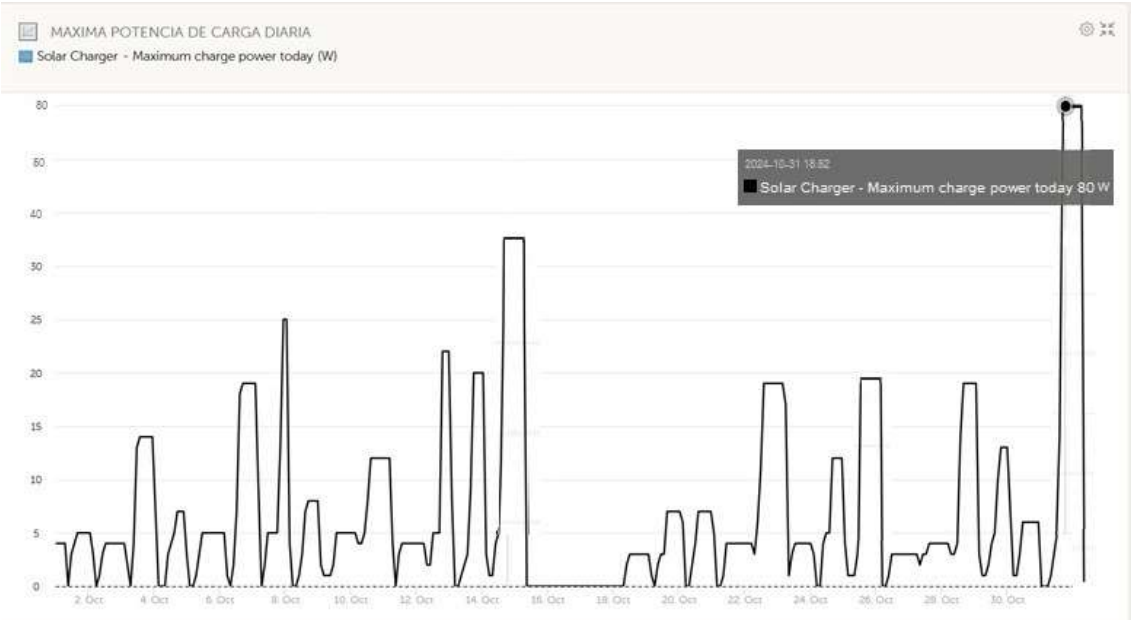


En los gráficos presentados a continuación, se observa la potencia máxima alcanzada por el sistema durante el período de funcionamiento registrado. Estos valores permiten analizar el rendimiento real del aerogenerador bajo las condiciones de viento específicas de la zona de estudio.

**Anexo 20:** Potencia máxima Septiembre (Victron Cerbo GX).



**Anexo 21:** Potencia máxima Octubre (Victron Cerbo GX).



**Anexo 22: Potencia máxima Noviembre (Victron Cerbo GX).**

