



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



**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA
ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO AISLADO DE LA
RED PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL
CENTRO POBLADO DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO
DE PATAMBUCO, SANDIA EN LA REGIÓN PUNO**

Irina Milenka Laura Ccosi

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

ASESOR: Dr. UBALDO YANCACHAJLLA TITO



JULIACA PERÚ

2024



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



**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA
ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO AISLADO DE LA
RED PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL
CENTRO POBLADO DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO
DE PATAMBUCO, SANDIA EN LA REGIÓN PUNO**

Irina Milenka Laura Ccosi

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

ASESOR: Dr. UBALDO YANCACHAJLLA TITO



JULIACA - PERÚ

2024

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



ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA
ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO AISLADO DE LA RED
PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL CENTRO POBLADO
DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, SANDIA EN LA
REGIÓN PUNO

Irina Milenka Laura Ccosi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

ASESOR: Dr. UBALDO YANCACHAJLLA TITO

Juliaca, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Laura, C.I.M. (2024). Estudio de pre factibilidad para un sistema energético con recurso eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco, Sandia en la región Puno (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTORES: Irina Milenka Laura Ccosi

TITULO: Estudio de pre factibilidad para un sistema energético con recurso eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco, Sandia en la región Puno.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (112 pp.)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables - Universidad Nacional de Juliaca.

CODIGO: 02-000053-02

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

PALABRAS CLAVE:

Energía eólica, electrificación rural, factibilidad, sistema aislado, simulación CFD.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA
ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO AISLADO DE LA RED
PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL CENTRO POBLADO
DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, SANDIA EN LA
REGIÓN PUNO**

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

Presentada por:

Irina Milenka Laura Ccosi

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Vilma Sarmiento Mamani

PRESIDENTE DE JURADO

Dr. Washington Miguel Soncco Vilcapaza

JURADO (Secretario)

Mg. Armando Antonio Salinas del Carpio

JURADO (Vocal)



2° MIEMBRO


3° MIEMBRO


Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

ASESOR DE TESIS

Irina Milenka Laura Ccosi

ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO AISLADO DE LA RED PA...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:617701539

Fecha de entrega

27 ago 2026, 10:47 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 sep 2026, 8:56 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_IRINA_MLC-v.1.pdf

Tamaño del archivo

3.8 MB

112 páginas

24.625 palabras

132.487 caracteres



Firmado digitalmente por AQUINO
LARICO Elmer Rodrigo FAU
20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.09.2026 16:28:02 -05:00

11% 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)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
66 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
327 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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.



Firmado digitalmente por AQUINO
LARICO Elmer Rodrigo FAU
20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.09.2026 16:28:36 -05:00

DEDICATORIA

"Dedico esta tesis a mis queridos padres, Luis y Lidia. Su amor incondicional, apoyo constante y fe inquebrantable en mí, han sido la base de todos mis logros. Gracias por enseñarme que, con esfuerzo y dedicación, no hay meta que no pueda alcanzar. Este logro es tan mío como suyo."

A mis queridas Taffy y Pequ, esta tesis está dedicada también a ustedes, mis fieles compañeras de noches largas y estudios intensos. Su suave ronroneo y sus cálidos abrazos gatunos fueron mi mejor medicina contra el estrés y la ansiedad.

AGRADECIMIENTO

A mi profesor Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena, mi más sincero agradecimiento por su invaluable apoyo y motivación en los momentos más difíciles de mi carrera. Su pasión por la docencia y su confianza en mis capacidades me inspiraron a seguir adelante y no rendirme. Gracias por ser un mentor excepcional y por brindarme la oportunidad de aprender de su vasta experiencia.

A mi asesor de tesis Dr. Ubaldo A Tito, expreso mi profunda gratitud por su dedicada orientación y seguimiento durante el desarrollo de esta tesis. Su conocimiento, paciencia y valiosas sugerencias fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Agradezco su tiempo, dedicación y compromiso con mi formación académica.

Sin el apoyo y la guía de ambos profesores, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema	21
1.1.1 Problema general	21
1.1.2 Problemas específicos	21
1.2 Planteamiento de los objetivos	21
1.2.1 Objetivo general	21
1.2.2 Objetivo específico	21
1.3 Justificación de la investigación	22
1.3.1 Justificación ambiental	22
1.3.2 Justificación social	22
1.3.3 Justificación económica	23
1.3.4 Justificación técnica	23

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes	25
2.1.1 Antecedentes internacionales	25
2.1.2 Antecedentes nacionales	26
2.2 El viento	27
2.3 El recurso eólico	28
2.4 Estimación del recurso eólico	29
2.4.1 La velocidad media del viento	29
2.4.2 Variación de la velocidad de viento con la altura	30
2.4.3 Turbulencia	31
2.5 Distribución de Weibull	32
2.6 Medición del viento	33
2.6.1 Medición directa	34
2.6.2 Medición indirecta	34
2.7 Análisis estadístico de datos eólicos	35
2.7.1 Predicción y pronóstico de la velocidad de viento	36
2.7.2 Representación gráfica de la velocidad y dirección del viento	37
2.8 Turbinas eólicas	37
2.8.1 Turbinas eólicas de eje horizontal a pequeña escala	38
2.8.2 Principales elementos de un aerogenerador de eje horizontal tripala	40
2.9 Nuevas tecnologías	41
2.9.1 SkySails Power	41
2.9.2 Turbina eólica VORTEX	42
2.9.3 EWICON	43
2.10 Aerogenerador Arquímedes	44
2.11 Dinámica de fluidos computacional y teoría del momento del elemento de pala	45

2.11.1 SOLIDWORKS Flow Simulation (CFD)	47
2.11.2 QBLADE (BEMT)	48
2.12 Plan de electrificación rural	49
2.12.1 Proyectos de electrificación con energías renovables	50
2.13 Marco normativo de las energías renovables	53

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de la hipótesis	54
3.1.1 Hipótesis general	54
3.1.2 Hipótesis específica	54
3.2 Recursos humanos	54
3.3 Recursos materiales y/o equipos	54
3.3.1 Recursos materiales	54
3.3.2 Recursos de Software	55
3.4 Procedimiento del método	55
3.4.1 Ubicación del proyecto	55
3.5 Dimensionamiento del SEA	56
3.6 Simulación del SEA	65
3.7 Análisis económico del SEA	73
3.7.1 Inversión de la implementación del SEA	73
3.7.2 Valor Actual Neto (VAN)	75
3.7.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)	75
3.7.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	76

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados del sistema energético	77
4.2 Resultado del análisis del recurso eólico	77

4.2.1 Resultados de los principales parámetros del recurso eólico	77
4.3 Resultados de la simulación CFD del aerogenerador	78
4.4 Resultados del análisis económico	79

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	82
5.2 Recomendaciones	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	88
Anexo 1 - Turbina eólica RESPECT AWM	88
Anexo 2 Informe de simulación energética PVsyst sistema RER 1	89
Anexo 3 Fichas técnicas del sistema eólico aislado.	97
Anexo 4 Diagrama unifilar y diagrama eléctrico del SEA.	106
Anexo 5 Presupuesto del sistema eólico aislado C.P. Mayupampa.	109
Anexo 6 Recibo de un SFD emitido por la empresa ERGON Perú - tipo RER 1.	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones técnicas mínimas RER tipo 1.	52
Tabla 2	Características técnicas anemómetro SMART SENSOR AS836	57
Tabla 3	Frecuencias porcentuales y direcciones de viento-Mayupampa.	58
Tabla 4	Factor de forma y escala de la distribución del viento – C.P. Mayupampa.	60
Tabla 5	Tabla de clases y longitudes de rugosidades.	61
Tabla 6	Determinación de la densidad del aire, Windographer - Ecuación general.	62
Tabla 7	Tabla de resultados mensual C.P. Mayupampa.	64
Tabla 8	Radio de barrido de acuerdo a la potencia eólica disponible.	65
Tabla 9	Características técnicas del aerogenerador RESPECT AWM-1500D.	66
Tabla 10	Comportamiento del rotor - Presión VS velocidad.	66
Tabla 11	Características técnicas del sistema RER 1.	69
Tabla 12	Resultados energéticos RER 1 - C.P. Mayupampa.	70
Tabla 13	Componentes del sistema eólico aislado.	72
Tabla 14	Parámetros para determinar el VAN, TIR, PRI.	74
Tabla 15	Resultados del sistema energético.	77
Tabla 16	Resultados de los principales parámetros del recurso eólico.	78
Tabla 17	Resultados Comportamiento del rotor - Presión VS velocidad.	78
Tabla 18	Cargo RER Autónomo para Áreas No Conectadas a Red (S//mes) - con IGV. ...	79
Tabla 19	Pago mensual del usuario por el SEA.	80
Tabla 20	Ingresos y egresos SEA C.P. Mayupampa.	80
Tabla 21	Resultados de los indicadores económicos.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación eléctrica a nivel mundial en el año 2022 (OLADE, 2022).	19
Figura 2. Acceso a la energía en Latinoamérica (Contreras, 2021).	20
Figura 3. Vientos de superficie de circulación mundial (Sverdrup & Armbrust, 2008).	29
Figura 4. Perfil vertical de la velocidad de viento (Villarubia, 2011).	31
Figura 5. Ejemplo de función de densidad de probabilidad de Weibull (Manwell, 2009).	33
Figura 6. Medición directa del viento (Díaz, 2021).	34
Figura 7. Medición indirecta del viento (NASA, 2021).	34
Figura 8. Ajuste de la velocidad del viento con un modelo ARMA (Lujano, 2011).	36
Figura 9. Rosa de viento de 16 direcciones.	37
Figura 10. Aerogenerador de eje horizontal.	38
Figura 11. Potencias y avance cronológico de aerogeneradores (Villarubia, 2011).	39
Figura 12. Principales elementos de un aerogenerador tripala (Energy.Gov, 2017).	40
Figura 13. Aerogenerador SKS PN -14 (SkaySails Power, 2020).	42
Figura 14. Modelo Vortex Tacoma 2,75m. Valle de Ambés (OMPI, 2024).	43
Figura 15. Sistema EWICON de Delft, Países Bajos (Universidad de Delft, 2013).	44
Figura 16. Turbina eólica de Arquímedes (CULTS, 2023).	45
Figura 17. CFD de la turbina eólica de Arquímedes (Murillo & Cabezas, 2017).	46
Figura 18. CFD de la turbina tripala (Murillo & Cabezas, 2017).	47
Figura 19. Simulación de turbina eólica de eje vertical.	48
Figura 20. Ejecución presupuestal DGER 1993-2021 (DGER, 2020).	49
Figura 21. Instalación RER Autónoma de Tipo 1.	52
Figura 22. Ubicación del área de estudio	55
Figura 23. Medición directa de velocidad de viento – septiembre 2023.	57
Figura 24. Rosa de viento mensual C.P. Mayupampa.	58
Figura 25. Rosa de viento anual C.P. Mayupampa.	59

Figura 26. Distribución ajustada de la velocidad de viento – C.P. Mayupampa. _____	60
Figura 27. Perfil de cizalladura del viento en vertical – C.P. Mayupampa. _____	61
Figura 28. Densidad del aire del C.P. Mayupampa. _____	62
Figura 29. Velocidad media del C.P. Mayupampa. _____	63
Figura 30. Vista frontal aerogenerador RESPECT modelo AWM-1500D. _____	67
Figura 31. Vista lateral aerogenerador RESPECT modelo AWM-1500D. _____	67
Figura 32. Presión sobre el rotor a 5.02 m/s de velocidad. _____	67
Figura 33. Presión sobre el rotor a 13.5 m/s de velocidad. _____	68
Figura 34. Presión sobre el rotor a 2.70 m/s de velocidad. _____	68
Figura 35. Vista lateral del paso de viento a 13.5 m/s . _____	68
Figura 36. Energy Box del SFD RER 1. _____	70
Figura 37. Déficit de energía del SFV RER 1 C.P. Mayupampa. _____	71
Figura 38. Energía suministrada en kWh/año por tipo de sistema. _____	71
Figura 39. Diagrama de flujo del sistema eólico aislado. _____	72
Figura 40. Diagrama de flujo del sistema eólico aislado. _____	74
Figura 41. Periodo de recuperación de la inversión del SEA C.P. Mayupampa. _____	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Turbina eólica RESPECT AWM.....	88
Anexo 2 Informe de simulación energética PVsyst sistema RER 1.....	89
Anexo 3 Fichas técnicas del sistema eólico aislado.	97
Anexo 4 Diagrama unifilar y diagrama eléctrico del SEA.	106
Anexo 5 Presupuesto del sistema eólico aislado C.P. Mayupampa.....	109
Anexo 6 Recibo de un SFD emitido por la empresa ERGON Perú - tipo RER 1.....	111

LISTA DE SIGLAS

CFD (ingles)	Análisis de dinámica de fluidos computacional.
DGER	Dirección general de electrificación Rural.
ECPA	Alianza de Energía y Clima de las Américas.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas.
MINEM	Ministerio de Energía y Minas.
OEA	Organización de Estados Americanos.
PIP	Proyecto de Inversión Pública.
PNER	Plan Nacional de Electrificación Rural.
PRI	Periodo de Recuperación de la Inversión.
RER	Recurso Energético Renovable.
SEA	Sistema Eólico Aislado.
SFD	Sistema Fotovoltaico Domiciliario.
TIR	Tasa Interna de Retorno.
VAN	Valor Actual Neto.

LISTA DE SÍMBOLOS

v	Velocidad de Viento m/s .
$\rho(v)$	Función Densidad de Probabilidad Weibull.
c	Factor de Escala m/s .
k	Factor de Forma.
ρ	Densidad del Aire (kg/m^3) .
t	Temperatura en Grados Centígrados $(^{\circ}C)$.
h	Altura Sobre el Nivel del Mar (m) .
P_d	Potencia Eólica Disponible (W) .
A	Área de Barrido (m^2) .
v^*	Velocidad Eficaz (m/s) .
v^3	Velocidad Media Cubica en un Periodo de Tiempo (m/s) .
F_e	Factor de Energía (m/s) .
ρ	Densidad del Aire (kg/m^3) .
Q_n	Flujo de caja.
I_0	Valor de desembolso inicial de la inversión.
n	Número de años considerados.
TSD	Tasa de expectativa.
a	Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.
b	Inversión inicial.
	Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión
c	
d	Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.
r	Tasa interna de retorno.

RESUMEN

La energía eléctrica es un recurso esencial para el desarrollo económico y social. Es utilizada en una amplia gama de actividades, desde la industria hasta los hogares. En el Perú, el 14.5% de la población carece de electricidad con una evidente brecha energética en zonas rurales, para disminuir este valor se hace imperativo que los planes y acciones gubernamentales se centren en la implementación de uso de tecnologías con energías renovables ya que por la geografía no se puede depender de las redes convencionales. En el presente trabajo de investigación se determina la pre factibilidad para un sistema energético con recurso eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco, Sandia en la región Puno, con un potencial eólico de 3.77 W/m², una velocidad media de 5.015 m/s y permitiendo generar un total de 408.22 kWh/año, superando con creces al sistema fotovoltaico RER 1 implementado por el MINEM y Ergon Perú. El sistema eólico aislado (SEA) comprende un aerogenerador de Arquímedes de la marca RESPECT AWM 1500D con una radio de rotor de 0.5m, un controlador de carga, acumulador de energía de 2.04 kWh y un inversor de 500 vatios, la simulación de dinámica de fluidos computacional con SOLIDWORKS-Flow *Simulation* concluye que el rotor de Plástico reforzado con fibra de vidrio del aerogenerador no sufre fatiga de esfuerzo cortante con velocidades desde 2.7 hasta 13.5 m/s lo que evidencia su viabilidad técnica y energética. Los indicadores económicos tales como el B/C, PRI, VAN y TIR resuelven que el SEA es factible económicamente con un retorno justo igual al costo de capital, sin embargo, resulta atractivo ya que presenta beneficios sociales (mayor energía eléctrica disponible) permitiendo la mejora del servicio al acceso de energía eléctrica. Los resultados muestran la viabilidad del sistema energético eólico aislado para cubrir la demanda energética básica de una vivienda unifamiliar y su implementación en zonas tropicales.

Palabras clave: Energía eólica, electrificación rural, factibilidad, sistema aislado, simulación CFD.

ABSTRACT

Electric energy is an essential resource for economic and social development. It is used in a wide range of activities, from industry to home. In Peru, 14.5% of the population lacks electricity with an evident energy gap in rural areas. In order to reduce this value, it is imperative that government plans and actions focus on the implementation of renewable energy technologies since, due to geography, it is not possible to depend on conventional networks. This research work determines the pre-feasibility of an energy system with off-grid wind resource for a single-family house in the town of Mayupampa in the district of Patambuco, Sandia in the Puno region, with a wind potential of 3.77 W/m^2 , an average speed of 5.015 m/s and allowing to generate a total of 408.22 kWh/year , far exceeding the RER 1 photovoltaic system implemented by MINEM and Ergon Peru. The stand-alone wind energy system (WES) comprises a RESPECT AWM 1500D Archimedes wind turbine with a rotor radius of 0.5m , a charge controller, energy storage of 2.04 kWh and a 500-watt inverter, the computational fluid dynamics simulation with SOLIDWORKS-Flow Simulation concludes that the fiberglass reinforced plastic rotor of the wind turbine does not suffer from shear fatigue with speeds from 2.7 to 13.5 m/s which evidences its technical and energetic feasibility. Economic indicators such as B/C, PRI, NPV and IRR show that the SEA is economically feasible with a fair return equal to the cost of capital, however, it is attractive because it presents social benefits (more available electricity) allowing the improvement of the service to access electricity. The results show the feasibility of the isolated wind energy system to cover the basic energy demand of a single-family house and its implementation in tropical areas.

Key words: *wind energy, rural electrification, feasibility, isolated system, CFD simulation.*

INTRODUCCIÓN

La desigualdad geográfica presenta un desafío significativo para el acceso a la energía, especialmente en zonas rurales donde la cobertura de la red eléctrica es limitada. Esta situación obliga a las comunidades a depender de fuentes tradicionales, a menudo poco eficientes, con consecuencias negativas para su desarrollo socioeconómico. Cerrar la brecha energética requiere invertir en la expansión de la red eléctrica, promover el uso de energías renovables y establecer políticas públicas que fomenten la electrificación rural. La electrificación rural es fundamental para el desarrollo sostenible además de mejorar la calidad de vida en estas comunidades.

Ministerio de Energía y Minas (MINEM), a través del Programa Masivo Fotovoltaico, ha implementado una iniciativa nacional para brindar acceso a la energía eléctrica a hogares, instituciones educativas y centros de salud ubicados en zonas rurales alejadas de las redes eléctricas convencionales. Esta iniciativa busca promover el desarrollo sostenible y incrementar el nivel de calidad de vida de comunidades rurales en el Perú. El programa consiste en la instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos (catalogados como RER 1,2 y 3) en las viviendas, escuelas y centros de salud seleccionados, realizando el 20% del monto facturado, siendo el 80% financiado por el FOSE. Sin embargo, la sociedad beneficiada no hace una valoración positiva de los sistemas ya que la energía que dispone (en viviendas) es limitada ya que solo se hace el uso de esta energía en corriente directa.

En la investigación se propone la implementación para sistemas energéticos con recurso eólico aislado de la red para viviendas unifamiliares con aerogeneradores Arquímedes, los cuales tienen el potencial de transformar la electrificación rural en áreas remotas, impulsando el desarrollo socioeconómico y mejorando la calidad de vida de las comunidades. Al abordar los desafíos técnicos, económicos, institucionales y sociales, y al fomentar el empoderamiento comunitario, se puede maximizar el impacto positivo de esta tecnología innovadora y contribuir a un futuro más sostenible y equitativo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía eléctrica es un recurso esencial para el desarrollo económico y social. Es utilizada en una amplia gama de actividades, desde la industria hasta los hogares. La producción de energía eléctrica a nivel mundial ha crecido rápidamente en los últimos años (ver Figura 1) en el año 2022 fue de 28727 TWh (OLADE, 2022).

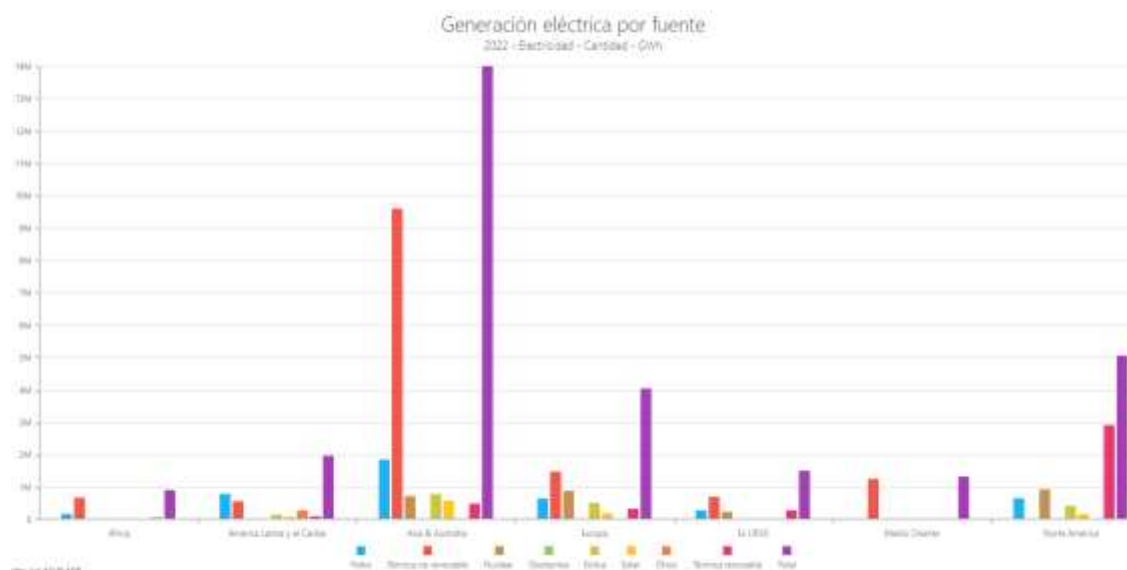


Figura 1. Generación eléctrica a nivel mundial en el año 2022 (OLADE, 2022).

La situación del acceso a la energía en Latinoamérica es desigual, con grandes diferencias entre países. En general, el acceso a la energía eléctrica en Latinoamérica ha mejorado significativamente en las últimas décadas, sin embargo, a nivel rural se evidencia un déficit de 11,31% en 2019 (Contreras, 2021), estas personas viven principalmente en zonas rurales y remotas, y son las más pobres de la región. En el contexto de las persistentes brechas existentes en el ámbito rural, resulta necesario fortalecer y priorizar las políticas, estrategias y planes de intervención orientados a este sector. Si bien se observa una evolución favorable en los niveles de cobertura, los avances alcanzados aún resultan insuficientes para lograr su universalización, lo que evidencia la necesidad de intensificar las acciones emprendidas por los países para garantizar un acceso equitativo y sostenible a los servicios correspondientes. Es fundamental continuar con las iniciativas de energía renovable en las zonas rurales para fortalecer las tendencias positivas.

Para cerrar la brecha del acceso a la energía se creó la Alianza de Energía y Clima de las Américas (ECPA) del Departamento de Desarrollo Sostenible de la Organización de Estados

Americanos (OEA) se comprometen a promover el acceso universal a la energía eléctrica en la región, así como a mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad del sector energético (ECPA, 2023).

En el Perú, el 14.5% de la población carece de electricidad (ver figura 2) o dependen de fuentes de energía costosas y contaminantes. Por otra parte, se puede dar a la conclusión desde un punto de vista objetivo. La limitada disponibilidad del servicio de energía eléctrica, asociada a las deficiencias en otros componentes de infraestructura básica, constituye una restricción significativa para el desarrollo económico del Perú. Esta situación incide negativamente en las oportunidades productivas y sociales de la población, dificultando la mejora de las condiciones de vida y el incremento sostenido de los niveles de bienestar.

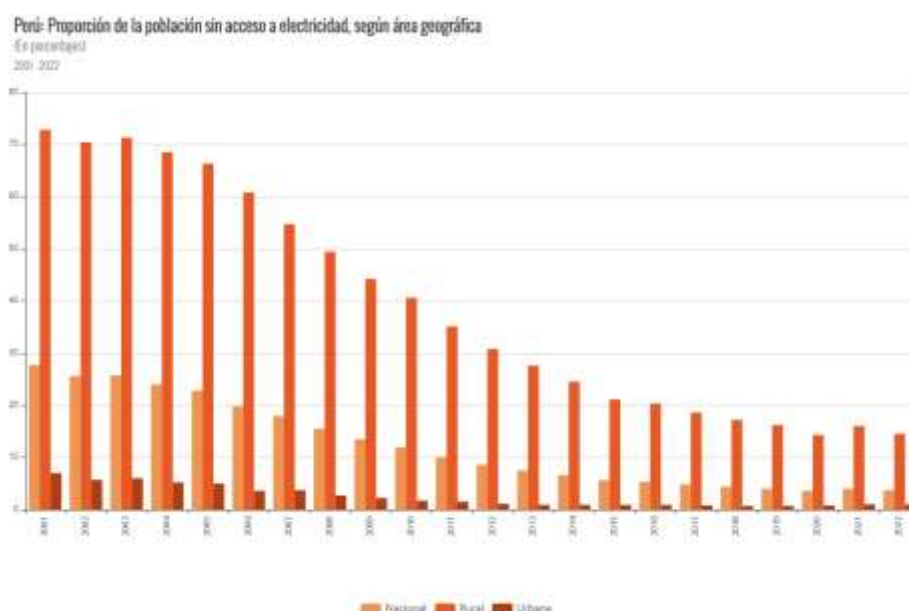


Figura 2. Acceso a la energía en Latinoamérica (Contreras, 2021).

Entre los principales problemas y desafíos que impiden cerrar la brecha energética es la desigualdad geográfica, ya que origina una limitada cobertura de la red eléctrica en áreas rurales, por lo tanto, esto hace que se enfrenten a mayores dificultades para obtener energía, en consecuencia, las sociedades están obligadas a depender de fuentes de energía tradicionales, a menudo poco eficientes.

El estado peruano tiene como propósito la igualdad de los derechos ciudadanos, por consiguiente, brindar el acceso al servicio básico de electricidad a la vivienda resolviendo de esta manera el interés continuo y firme en la electrificación en áreas rurales y de fronteras del país, todo esto con el propósito universal de dar calidad de vida y reducir la pobreza de los ciudadanos que viven en estas zonas.

1.1 Formulación del problema

1.1.1 Problema general

¿Sera posible realizar el estudio de prefactibilidad para un sistema energético con recurso eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco, sandia en la región Puno?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Sera posible determinar el recurso eólico en el centro poblado de Mayupampa en m/s ?
- ¿Qué aporte realizará desarrollar la simulación mecánica y energética del sistema eólico aislado de la red en diferentes condiciones de operación con CFD?
- ¿Sera viable económicamente el sistema eólico aislado de la red?

1.2 Planteamiento de los objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar el estudio de prefactibilidad para un sistema energético con recurso eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco, sandia en la región Puno.

1.2.2 Objetivo específico

- Determinar el recurso eólico en el centro poblado de Mayupampa en m/s .
- Desarrollar la simulación mecánica y energética del sistema eólico aislado de la red en diferentes condiciones de operación con CFD.
- Evaluar la rentabilidad económica del sistema eólico aislado de la red.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación ambiental

Sostiene justificación ambiental en razón de que contribuye a la sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Al utilizar la energía eólica, se reduce la dependencia de los combustibles fósiles. La implementación de un sistema eólico a pequeña escala contribuye a la mitigación del cambio climático y ayuda a alcanzar los objetivos de sostenibilidad, asimismo, se limita los efectos negativos, principalmente visuales y acústicos.

Los Sistemas Eólicos Aislados (SEA) no impactan negativamente el medio ambiente, pero su impacto es alentador ya que su utilización evita el consumo de combustibles fósiles. Al implementar este tipo de proyectos, estos por el grado del sistema se eximirían de D.S N° 003-2017-MINAN, D.S. N° 085-2003-PCM (Calidad ambiental para ruido, 2023) y D.S. N° 010-2005-PCM ya que no es pertinente ni coherente el monitoreo de aire, ruido y radiaciones electromagnéticas.

Tratándose de que el sistema a proponer posee un grado de complejidad bajo, no sería preciso someterse a exponer un certificado de restos arqueológicos ya que no se realizara una excavación de tierra significativa.

1.3.2 Justificación social

Comprende justificación social ya que existe una cantidad considerable de familias con hogares alejadas de las redes de la concesionaria (Electro Puno S.A.A.), igualmente, tomando el compromiso del decreto legislativo N°1221 que dicta disposiciones dirigidas a incluir mejoras en la regulación de la distribución de electricidad para diversificar el acceso a la energía eléctrica en el Perú en razón de que el acceso a la energía es uno de los pilares para la lucha contra la pobreza para el incremento de la calidad de vida (Promoción del acceso a la energía, 2015).

1.3.3 Justificación económica

Tiene justificación económica puesto que las viviendas ubicadas en el centro poblado de Mayupampa son distantes y para la concesionaria no es económicamente viable realizar un proyecto de redes de baja tensión a pesar de contar con la ley N° 28749 que permite al estado adoptar el rol de subsidiario. Es opción viable optar por suministrar electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a base de sistemas eólicos domiciliarios.

En caso de resultar viable el estado peruano permite otorgar una concesión temporal para la ejecución de estudios de factibilidad con mayor exactitud. Su otorgamiento permite utilizar bienes de uso público y el derecho de obtener la imposición de servidumbre temporal y de esta manera cerrar la brecha energética y ampliar la frontera eléctrica en las zonas rurales (Electrificación Rural, 2015).

1.3.4 Justificación técnica

Mantiene justificación técnica debido a que el MINEM solamente tiene como materia prima para reducir la brecha de la carencia energética el uso de sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) en zonas que la red convencional son muy probables que no lleguen, el problema que presenta este sistema es que no son eficientes en zonas tropicales como es el distrito de Patambuco, de esta manera no se debe de limitar solamente la aplicación de SFD, por el contrario, evaluar la posibilidad de emplear sistemas eólicos aislados.

La justificación principal es la existencia de un recurso eólico adecuado en la ubicación. Antes de implementar un sistema eólico a pequeña escala, es importante realizar un estudio del recurso eólico para determinar si la velocidad y la constancia del viento son suficientes para generar electricidad de manera eficiente. Si la ubicación cuenta con un recurso eólico favorable, la implementación de un sistema eólico puede ser una opción técnicamente viable. Es importante realizar un análisis detallado de su viabilidad antes de tomar la decisión de implementar este sistema.

En el contrato de inversión para el suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a red entre el MINEM y ERGON con el proyecto del “Programa masivo fotovoltaico” se ejecutó sistemas fotovoltaicos domiciliarios para viviendas alejadas de la red, en el anexo 01 de

este contrato indica los requisitos técnicos mínimos para cubrir la demanda básica como son: 03 luminarias de 10 Watts como máximo con un mínimo de 600 lúmenes, toma corriente de doble toma con polaridad definida y finalmente una toma para cargador eléctrico universal de teléfono celular. Por consiguiente, el presente proyecto de investigación buscara suplir los SFD a sistemas eólicos aislados (SEA) en tanto y por cuanto es pertinente realizar una comparación para evidenciar su viabilidad.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Para Orduz & Suárez (2011), en su investigación “Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia”, indica que para Bucaramanga-zona norte de Colombia no es posible ya que, a pesar de tener velocidades de viento en promedio a 10 m/s genera una potencia cercana a los 44 watts con una eficiencia del sistema del 7%. Asimismo, sugiere que para mejorar de manera sustancial el generador se haga uso de una mayor cantidad de polos y bobinas, por otra parte, recomienda ampliar las dimensiones del rotor conservando sus parámetros mecánicos.

Franco (2020), han elaborado el diseño de una turbina eólica híbrida de baja potencia, fusionando dos tipos de geometría de Savonius y la Darrieus con 1.5 m² de área de barrido y también tomando parámetros como densidad, altura de la zona, velocidad de viento, altura helicoidal de 90° para la turbina Savonius y un perfil NACA 0018 para la turbina Darrieus. Finalmente se obtuvieron las curvas de rendimiento y generando 216 Wh.

El artículo titulado "Revisión de los perfiles aerodinámicos apropiados para turbinas eólicas" presenta una investigación sobre la optimización aerodinámica presentes en las turbinas eólicas de eje horizontal para aplicaciones de pequeña escala en zonas boscosas. Los Richmond (2020), busca mejorar la eficiencia de las turbinas eólicas mediante el estudio de los perfiles aerodinámicos adecuados logrando así deducir que estos deben ser capaces de funcionar eficientemente en condiciones de baja velocidad de viento y alta turbulencia, regular su funcionamiento mediante la pérdida de flujo de aire y finalmente resuelven que deben ser robustos y capaces de resistir los cambios en la rugosidad superficial del entorno, esto es importante debido a la presencia de árboles y obstáculos que pueden afectar el flujo de viento.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Jordán (2009), propone un sistema eólico, eólico-híbrido para el asentamiento humano “Ruta del Sol” ubicado en el distrito de San Juan de Marcona en la región Ica para una población de 300 familias, en esta investigación se refleja el estudio de tres escenarios comparando sus costes normalizados, este proceso incluye la inversión económica asociada a un proyecto energético durante su ciclo de vida como son: la inversión inicial, vida útil de los componentes, costos de operación y mantenimiento.

La investigación concluye que el sistema que presenta la mejor viabilidad es el sistema enteramente eólico a comparación de un sistema eólico-diésel y diésel con un costo de 0.19 \$/kWh. Resalta a su vez que los estudios no son extrapolables ya que cada estudio depende de la zona de implementación del sistema.

Yancachajlla (2022), en su investigación de Diseño Aerodinámico de la Pala de una Mini Turbina de Eje Horizontal para Bajas Velocidades del Viento para la Zona Altoandina del Perú, se utilizó el software de simulación QBlade para validar el diseño de las palas. Se realizaron cálculos y simulaciones utilizando diferentes perfiles aerodinámicos, como A18, NREL S826, NREL S833, SD7080 y SG6043. Se encontró que los perfiles A13 y SG6043 son buenas alternativas para palas de turbinas pequeñas en áreas de baja velocidad del viento, ya que ofrecen una producción de energía óptima. Los resultados mostraron que el perfil A18 tiene una alta eficiencia de conversión, con un coeficiente de potencia (C_p) de 0.46 a una relación de velocidad de punta de pala (TSR) de 6, se observó que el diseño de las palas optimizado por el software QBlade mostró similitudes con un método tradicional realizado con una hoja electrónica, lo que indica la validez y precisión del software en el diseño de palas de turbina eólica.

En conclusión, el estudio proporciona un diseño validado de palas de turbina eólica de baja potencia para áreas con baja velocidad del viento. Los perfiles aerodinámicos A13 y SG6043 son recomendados para lograr una producción de energía óptima en estas áreas.

2.2 El viento

Conocer el viento está dominado por la voluntad del hombre, envuelto desde los inicios de la historia hasta el Renacimiento, de explotar sus aspectos beneficiosos y protegerse de sus efectos negativos. Al principio, la humanidad interpretó el viento a través de mitos, viéndolo como fuente de vida y destrucción. Con la civilización griega, surgió un enfoque más observacional y naturalista. Aparecieron los primeros conceptos científicos, aunque todavía mezclados con la experiencia y enfocados en matemáticas, mecánica y astronomía. De esta mezcla nació el interés por comprender y predecir el clima, lo que llevó al desarrollo de la meteorología y la astrología.

La humanidad aprendió a usar la energía del viento como fuente de propulsión, impulsando sus barcos con velas. Más tarde, se elevó al cielo con alas rudimentarias y arriesgadas, o aprovechó las corrientes de aire para mantener sus cometas en vuelo. Finalmente, utilizó la fuerza del viento para hacer girar las aspas de los molinos, permitiéndoles realizar diversos trabajos. Sin embargo, también comprendió que el viento, a pesar de su gran potencial como fuente de vida, podía convertirse repentinamente en un enemigo feroz (Solari, 2019).

Los molinos de viento se utilizan desde hace al menos 3000 años, principalmente para moler cereales o bombear agua, mientras que el viento ha sido la fuente esencial de energía en los barcos de vela durante incluso más tiempo. Desde la época medieval, los molinos de viento de eje horizontal fueron una parte integral de la economía rural en toda Europa y solo cayeron en desuso con la llegada de motores estacionarios baratos alimentados con combustibles fósiles y luego la expansión de la electrificación rural (Burton, 2021). El resurgimiento del viento como fuente importante de energía mundial debe considerarse uno de los acontecimientos importantes de finales del siglo XX. El uso de turbinas eólicas para generar electricidad se remonta a finales del siglo XIX, con el generador de molino de viento de corriente continua de 12 kW construido por Charles Brush en Estados Unidos y las investigaciones realizadas por Poul la Cour en Dinamarca. La década de 1990 también estuvo marcada por un cambio hacia grandes turbinas eólicas de megavatios, una reducción y consolidación en la fabricación de turbinas eólicas y el desarrollo real de la energía eólica marina (Manwell, 2004).

Para definir al viento, Manwell (2004) manifiesta que “Los vientos globales son causados por diferencias de presión en la superficie terrestre debido al calentamiento

desigual de la tierra por la radiación solar”.

2.3 El recurso eólico

La fuente original de energía renovable contenida en el recurso eólico de la Tierra es el sol, las zonas cercanas al ecuador reciben más calor, creando aire caliente que asciende y genera movimiento en la atmósfera, en un modelo de flujo simple, el aire sube en el ecuador y desciende en los polos. Este aire caliente se desplaza hacia las zonas más frías, donde desciende y genera corrientes de aire a gran escala. Las diferencias espaciales en la transferencia de calor hacia la atmósfera terrestre generan variaciones en el campo de presión atmosférica, provocando el desplazamiento del aire desde zonas de alta presión hacia zonas de baja presión. En sentido vertical, existe una fuerza de gradiente de presión, cuyo efecto suele ser compensado por la fuerza gravitacional dirigida hacia abajo. Por tanto, los vientos soplan predominantemente en el plano horizontal, respondiendo a gradientes de presión horizontales (Burton, 2021).

El movimiento del viento en la atmósfera se explica por la interacción de cuatro fuerzas principales: la fuerza de presión, que impulsa el aire desde zonas de alta presión hacia zonas de baja presión; la fuerza de Coriolis, que desvía la trayectoria del viento debido a la rotación de la Tierra; las fuerzas de inercia, que se oponen a los cambios en el movimiento del aire; y las fuerzas de fricción, que disminuyen la velocidad del viento y provocan turbulencias (ver Figura 3). La irregularidad de la superficie terrestre, con sus montañas, océanos y valles, modifica estos patrones a menor escala, generando una dinámica compleja e impredecible. A pesar de la complejidad, existen tendencias persistentes que generan diferencias climáticas entre regiones. Estas diferencias se ven matizadas por efectos locales como la altitud, que aumenta la velocidad del viento, o la topografía, que puede crear zonas de mayor o menor velocidad del viento (Manwell, 2004).

"El recurso eólico es la energía disponible en el viento, que puede ser convertida en otras formas de energía útil, como la electricidad" (Burton, 2021).

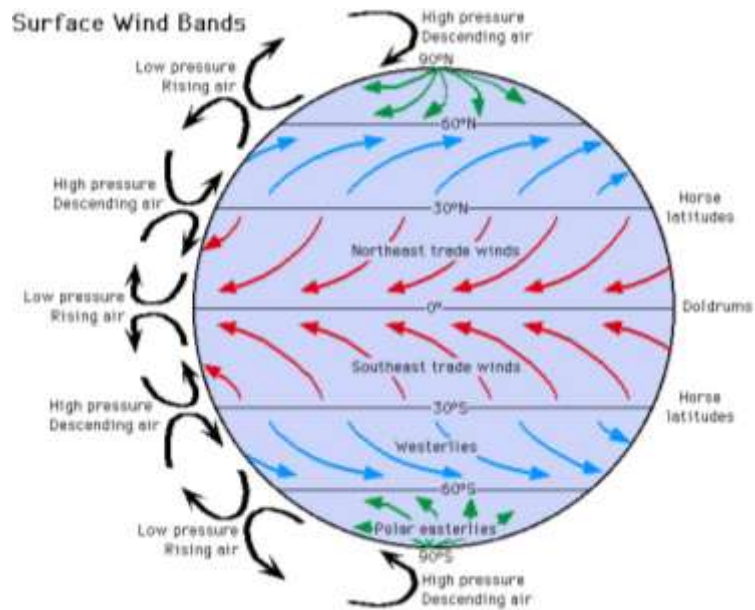


Figura 3. Vientos de superficie de circulación mundial (Sverdrup & Armbrust, 2008).

2.4 Estimación del recurso eólico

Para el aprovechamiento energético del viento se debe de realizar un análisis estadístico descriptivo a través de diferentes variables los cuales son:

- La velocidad media del viento
- Variación de la velocidad de viento con la altura
- La dirección rugosidad
- Turbulencia
- Rafagosidad

2.4.1 La velocidad media del viento

La velocidad media del viento se define como el promedio de la velocidad del viento durante un período de tiempo determinado. La velocidad media del viento es un factor crucial para la generación de energía eólica. La energía cinética del viento se convierte en electricidad a través de las turbinas eólicas, por lo que una mayor velocidad del viento implica mayor producción de energía, eficiencia, capacidad instalada (Yizhaq, 2020).

2.4.2 Variación de la velocidad de viento con la altura

La energía eólica se obtiene a partir de la energía cinética del viento, la cual aumenta con la altura debido a la disminución de la fricción con la superficie terrestre. Esta mayor velocidad del viento a mayor altura es crucial para la generación de energía eólica, ya que permite a las turbinas eólicas capturar más energía cinética, operar con mayor eficiencia, generar más energía eléctrica y reducir los costes de producción. La capa de aire cercana al suelo donde la fricción modifica la velocidad del viento se conoce como capa límite (Pérez, 2004).

La velocidad del viento es teóricamente nula en el punto de contacto con el suelo, a medida que se toma en cuenta un punto de referencia elevada, efectos del rozamiento disminuyen y la velocidad del viento aumenta

En el cálculo de la variación de la velocidad con la altura se distingue:

- La determinación de la variación de la velocidad del viento medio, viento estacionario o meteorológico (velocidad promedio durante 10 minutos).
- La determinación de la variación de la velocidad media durante un periodo de larga duración (media diaria, mensual, anual).

En las capas cercanas al suelo, el gradiente de velocidad está fuertemente condicionado por la rugosidad del terreno. Esta influencia puede extenderse a alturas de varios centenares de metros, por lo que los aerogeneradores operan dentro de la zona afectada por la rugosidad del terreno, constituyendo un factor relevante en el aprovechamiento energético eólico. Una superficie lisa, como el agua, terrenos planos sin árboles o llanuras nevadas, genera un gradiente suave. Por el contrario, ocurre con superficies rugosas, como zonas urbanas, terrenos accidentados o bosques. La Figura 4 presenta el efecto de diferentes tipos de terreno sobre el perfil vertical de la velocidad del viento.

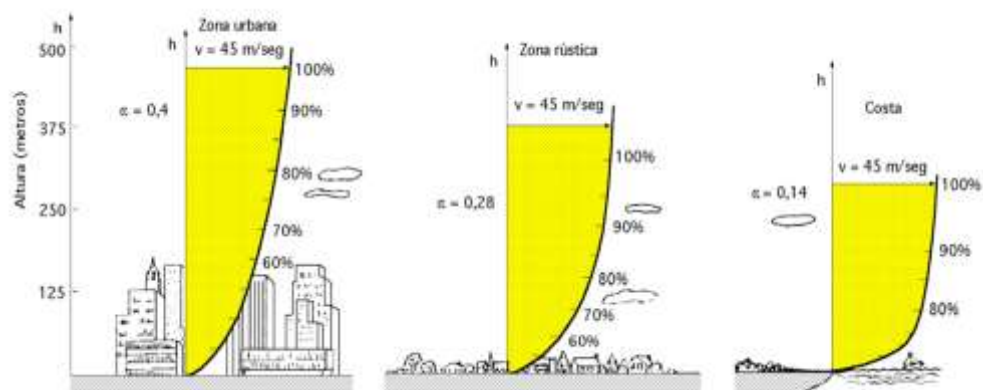


Figura 4. Perfil vertical de la velocidad de viento (Villarubia, 2011).

2.4.3 Turbulencia

La turbulencia atmosférica se refiere a las fluctuaciones irregulares y caóticas en la velocidad y dirección del viento en la atmósfera terrestre. Estas fluctuaciones turbulentas son el resultado de una serie de procesos complejos, como la interacción entre la atmósfera y la superficie terrestre, la variación en la temperatura y presión atmosférica, así como la influencia de fenómenos meteorológicos a diferentes escalas espaciales y temporales. Es un fenómeno fundamental en la dinámica atmosférica y juega un papel crucial en una amplia gama de aplicaciones, desde la aviación y la generación de energía eólica hasta la dispersión de contaminantes y el clima (Li, 2014).

La turbulencia se genera principalmente por dos causas: la "fricción" con la superficie terrestre, que se puede considerar que se extiende hasta las perturbaciones del flujo causadas por características topográficas como colinas y montañas, y los efectos térmicos, que pueden provocar que las masas de aire se desplacen. se mueven verticalmente como resultado de las variaciones de temperatura y por tanto de la densidad del aire. A menudo, estos dos efectos están interconectados, como cuando una masa de aire fluye sobre una cadena montañosa y es empujada hacia regiones más frías donde ya no está en equilibrio térmico con su entorno (Gasch & Twele, 2012).

Con respecto a la energía eólica, por su parte, influye en la eficiencia y la operación segura de los parques eólicos, ya que las fluctuaciones turbulentas pueden afectar la carga mecánica sobre las turbinas eólicas y la estabilidad de la generación de energía.

2.5 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es una función de probabilidad que se utiliza para modelar la distribución de la velocidad del viento en un lugar determinado. Es una herramienta muy útil en la energía eólica, ya que permite predecir la frecuencia del viento a diferentes velocidades.

Aunque la predicción precisa de la velocidad media anual del viento de un año a otro sigue siendo un desafío, las fluctuaciones de la velocidad del viento a lo largo del año pueden ser modeladas con éxito mediante una distribución de probabilidad. En muchos sitios representativos, la distribución de Weibull ha demostrado ser una herramienta eficaz para representar la variación de la velocidad media horaria del viento a lo largo de un año (Burton, 2021).

La distribución de frecuencia medida se "comprime" en su mayor parte en una descripción matemática utilizando la función de distribución de Weibull (ver figura 5), que es bastante flexible debido a sus dos parámetros: k , un factor de forma, y c , un factor de escala (Villarubia, 2011).

Para el análisis de datos de viento se emplean principalmente dos distribuciones de probabilidad: Rayleigh y Weibull. La distribución de Rayleigh emplea un parámetro: la velocidad media del viento. La distribución de Weibull considera dos parámetros y, por ello, permite representar mejor una mayor variedad de regímenes de viento. Tanto la distribución de Rayleigh como la de Weibull se denominan distribuciones "sesgadas" porque se definen sólo para valores mayores que 0 (Manwell, 2004).

Un enfoque novedoso sobre la distribución de Weibull es el uso de la distribución inversa de Weibull (IW) como alternativa a la distribución de Weibull convencional. La distribución de Weibull no siempre es efectiva para simular la información de velocidad del viento en diferentes lugares y períodos, por lo que se propone el uso de la distribución inversa de Weibull. Esta distribución ofrece una mejor modelización para cierta información de velocidad del viento obtenida en múltiples lugares y períodos (Aljeddani & Mohammea, 2023).

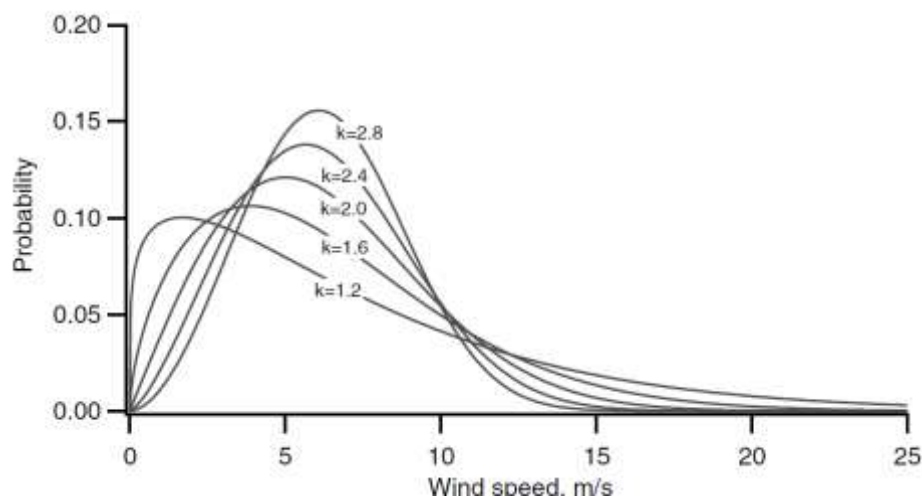


Figura 5. Ejemplo de función de densidad de probabilidad de Weibull (Manwell, 2009).

2.6 Medición del viento

La medición del viento es fundamental en la ingeniería eólica, ya que permite evaluar el potencial de un área determinada para la generación de energía. Los datos de viento se utilizan para determinar la velocidad y la dirección del viento a lo largo del tiempo, así como la distribución de la energía eólica disponible.

La velocidad del viento se mide con un anemómetro, el cual es un dispositivo que mide la velocidad del viento. Puede hacerlo detectando el cambio en alguna propiedad física del aire, como la temperatura o la presión, o el efecto del viento en un dispositivo mecánico, como una veleta o una hélice. La dirección del viento se mide con una veleta, que es un instrumento que gira con el viento para indicar su dirección. También se pueden medir otros parámetros, como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica. Estos parámetros pueden ayudar a entender mejor las condiciones del viento y a mejorar la precisión de los cálculos de energía eólica.

Los datos de viento se suelen recopilar durante un período de tiempo prolongado, generalmente de un año o más. Esto permite obtener una imagen precisa de las condiciones del viento a lo largo del año. El potencial de energía eólica se expresa en términos de energía eólica disponible, que es la potencia que se puede generar a partir del viento en un sitio determinado.

En la actualidad, existen diferentes técnicas de medición del viento. Las técnicas más utilizadas son las siguientes:

2.6.1 Medición directa

Esta técnica consiste en instalar torres de medición del viento en el sitio de interés o el uso de anemómetros (ver Figura 6). Las torres albergan los instrumentos de medición, que recopilan los datos de viento a lo largo del tiempo.



Figura 6. Medición directa del viento (Díaz, 2021).

2.6.2 Medición indirecta

Esta técnica utiliza datos de viento de fuentes externas, como satélites, estaciones meteorológicas o modelos meteorológicos (ver Figura 7). Los datos se procesan para obtener información sobre las condiciones del viento en el sitio de interés.

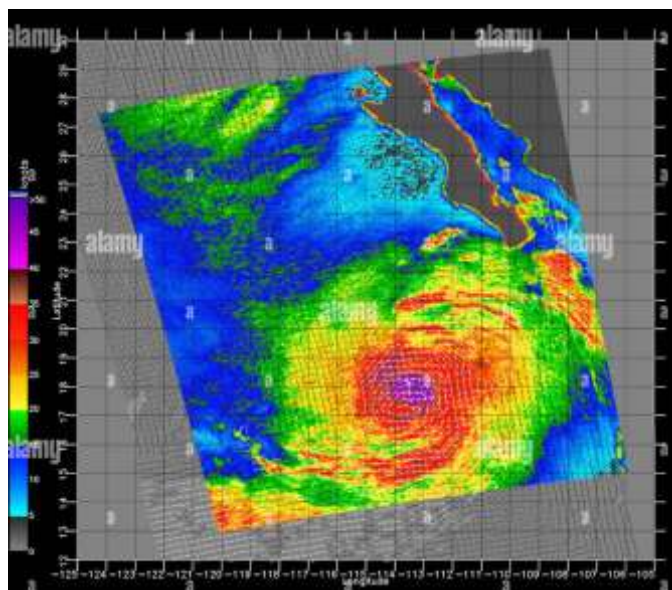


Figura 7. Medición indirecta del viento (NASA, 2021).

La elección de la técnica de medición adecuada depende de los requisitos del proyecto. La medición directa es la técnica más precisa, pero también es la más costosa. La medición indirecta es menos precisa, pero es más económica. La medición del viento es una parte esencial de la ingeniería eólica. Los datos de viento permiten evaluar el potencial de un sitio para la generación de energía eólica y tomar decisiones informadas sobre la planificación de proyectos eólicos.

2.7 Análisis estadístico de datos eólicos

El viento puede variar de manera abrupta tanto en velocidad como en dirección, las herramientas de medición por lo usual realizan un registro 1 o 2 segundos, estos a su vez se promedian para determinar el llamado “viento aeronáutico”, en síntesis, la velocidad del viento varía con el tiempo. El tiempo demuestra que los datos y comportamientos del viento se ajustan a la distribución de Weibull de dos parámetros, así mismo, cuando se tiene un escenario donde el viento y turbulencia son de menor magnitud, la función de Rayleigh de un solo parámetro se acomoda de la mejor manera.

Un parámetro relevante es la dispersión el cual influye con la velocidad promedio del viento a través de la dispersión estándar, este último es inversamente proporcional a la intensidad de la turbulencia. Los parámetros estadísticos como la velocidad media y la desviación estándar se consideran también para lo que se refiere la dirección del viento, para establecer su variabilidad y conocer la dirección dominante del viento (Villarubia, 2011).

El estudio del viento en un lugar específico se basa en el análisis estadístico de series de datos que recopilan la velocidad y dirección del viento. La frecuencia con la que se toman las medidas (frecuencia de muestreo) y la amplitud de los intervalos en que se agrupan los datos dependen de varios factores:

- **Instrumentación:** El tipo de instrumento utilizado para medir el viento determina la frecuencia de muestreo posible.
- **Capacidad de procesamiento:** La capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos disponibles también influyen en la frecuencia de muestreo.
- **Objetivos del estudio:** Los objetivos específicos del estudio determinarán la amplitud de intervalo adecuada para agrupar los datos.

2.7.1 Predicción y pronóstico de la velocidad de viento

La predicción de la velocidad de viento se da tomando en cuenta los datos registrados y de un modelo de comportamiento. Se debe tomar en cuenta que la medición del viento a lo largo del tiempo son colecciones de una data con valores aleatorios, esto se debe a que hay magnitudes naturales que no son controlables, por lo tanto, se considera esta medición como una medición estocástica. Para realizar una predicción del comportamiento del viento se desarrollan diferentes modelos matemáticos para obtener valores futuros. Para representar un modelo de predicción estocástico se utilizan los modelos autorregresivos y promedio móvil o por sus siglas en inglés (ARMA) (Lujano, 2011).

Para un resultado estable y optimo del modelo, es fundamental tener un histórico de datos donde se ara la estimación, se recomienda usar como mínimo un tercio de la data registrada, se debe de realizar un ajuste de coeficientes por medio de mínimos cuadrados; para esta visualización del modelo nos apoyaremos en el programa MATLAB que ya contiene la función ARMAX en su librería, sin embargo, no son representaciones exactas del modelo autorregresivo y promedio móvil. En la Figura 08 se presenta un ejemplo de ajuste del modelo ARMA en la predicción de datos de viento.

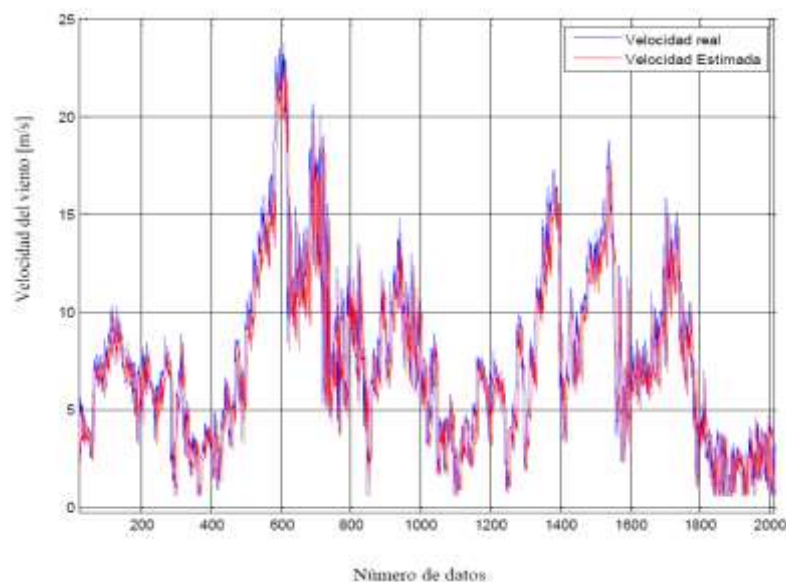


Figura 8. Ajuste de la velocidad del viento con un modelo ARMA (Lujano, 2011).

2.7.2 Representación gráfica de la velocidad y dirección del viento

La rosa de los vientos es un diagrama circular que representa gráficamente la dirección del viento en un lugar determinado durante un período específico, es una herramienta fundamental para visualizar y analizar la frecuencia e intensidad del viento en diferentes direcciones establecidas en un diagrama polar. Cabe destacar que, no necesariamente la dirección dominante coincide con la mayor intensidad del viento.

Su representación gráfica generalmente se establece con la velocidad media del viento y su frecuencia, que consta de círculos concéntricos equiespaciados con 16 líneas radiales (cada una representa un punto de la brújula). La longitud de la línea es proporcional a la frecuencia del viento desde el punto de la brújula, y los círculos forman una escala. La frecuencia de las condiciones de calma se indica en el centro. Las líneas más largas identifican las direcciones predominantes del viento. Las rosas de los vientos generalmente se utilizan para representar datos anuales, estacionales o mensuales.

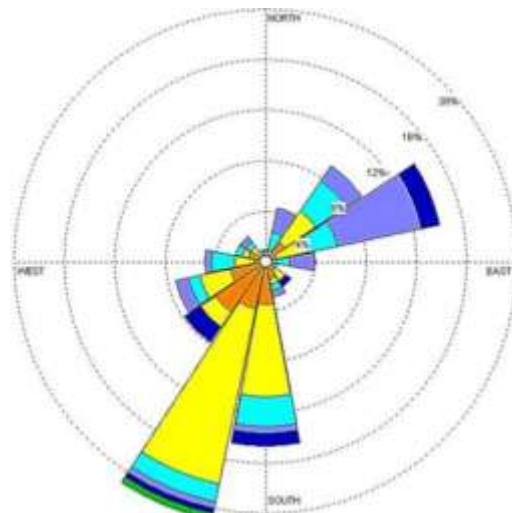


Figura 9. Rosa de viento de 16 direcciones.

2.8 Turbinas eólicas

Burton (2021), define a las turbinas eólicas como “máquinas que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica”. Las turbinas eólicas se pueden utilizar para generar electricidad a pequeña escala para hogares y negocios, o a gran escala para alimentar redes eléctricas.

La producción energética de las turbinas eólicas es dependiente de la interacción entre el rotor y el viento, la experiencia ha demostrado que los aspectos principales del rendimiento de una turbina eólica están determinados por las fuerzas aerodinámicas generadas por el viento medio.

2.8.1 Turbinas eólicas de eje horizontal a pequeña escala

Un aerogenerador de eje horizontal (HAWT) es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica de rotación, a su vez está en energía eléctrica. Su eje de rotación se encuentra paralelo al suelo y las palas giran en un plano perpendicular a este, son los aerogeneradores más comunes y utilizados en la actualidad.

Los aerogeneradores de eje horizontal son el tipo de aerogenerador más utilizado. Se pueden definir como la turbina en la que el eje del rotor está en la dirección del viento como se muestra en la Figura 10, estos aerogeneradores pueden ser de una, dos o tres palas, las cuales están diseñadas aerodinámicamente y giran gracias a la sustentación aerodinámica de la fuerza.

Se crea una diferencia de presión entre las caras superior e inferior de las palas de la turbina. La velocidad del aire a través de la parte frontal de la pala es alta y allí se crea un área de baja presión. Por otro lado, la velocidad del aire es baja en la parte trasera y allí se crea un área de alta presión. El aire de la región de alta presión mueve las palas hacia arriba dando una elevación aerodinámica. Esta relación se llama relación de Bernoulli, que establece que donde la presión es alta, la velocidad será baja para un fluido (Kamran, 2022).



Figura 10. Aerogenerador de eje horizontal.

Las palas del aerogenerador de eje horizontal están conectadas al rotor del generador eléctrico, este tipo de generador eólico puede capturar vientos más fuertes y tiene mayor eficiencia. El eje del rotor engrana con el generador y, en consecuencia, la rotación del eje del rotor conduce a la generación de electricidad. Este tipo de turbina generalmente está diseñado para garantizar que las palas del rotor estén orientadas hacia el viento, por lo que utiliza un sensor de viento y un servomotor. Las altas velocidades del viento pueden ser peligrosas y causar daños a la turbina eólica; para evitarlo, la turbina está equipada con un freno para reducir la velocidad del eje del rotor (Acar & Agelin, 2018).

Las principales ventajas de HAWT son las torres altas, que provocan un viento más potente con cizalladura del viento, lo que provoca un aumento de la potencia de salida de las turbinas. Además, se pueden instalar en bosques encima de árboles o en terrenos irregulares, su desventaja es que necesitan un mecanismo de freno para las palas del rotor en caso de viento fuerte y se requiere otro mecanismo para permitir que las palas del rotor giren en la dirección del viento.

Los HAWT se diseñan teniendo en cuenta una serie de parámetros, como la velocidad del viento potencia nominal, diámetro del rotor, altura de la torre. Los materiales para los diferentes tipos de palas pueden ser de fibra de vidrio, fibra de carbono y en el génesis de su aplicación la madera. Como se muestra en la Figura 11, existen turbinas eólicas que cubren una amplia gama de potencia ya que su capacidad ha ido aumentando con el pasar del tiempo.

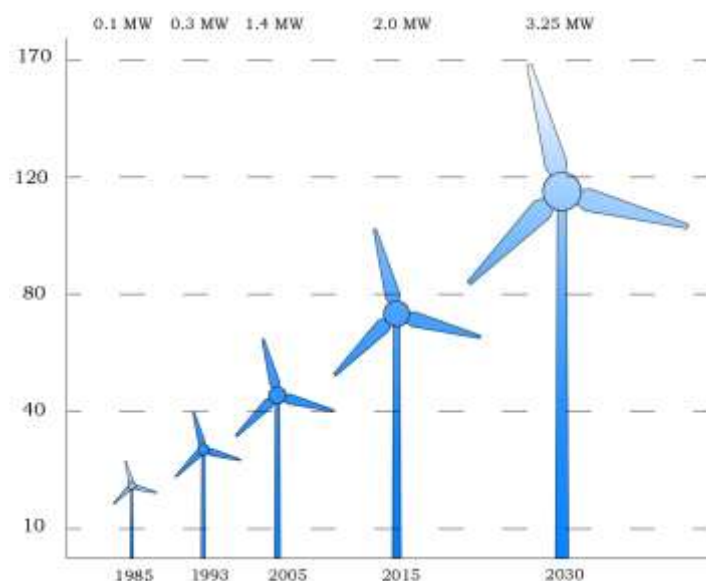


Figura 11. Potencias y avance cronológico de aerogeneradores (Villarubia, 2011).

2.8.2 Principales elementos de un aerogenerador de eje horizontal tripala

Los Principales elementos de un aerogenerador tripala son:

- **Torre**, estructura de soporte que eleva el aerogenerador para aprovechar mejor el viento. Suele ser de acero o hormigón.
- **Nacelle o góndola**, carcasa que alberga los componentes principales del aerogenerador, como el generador eléctrico, el convertidor de potencia y el sistema de control.
- **Rotor**, compuesto por las palas y el buje, que giran en conjunto para capturar la energía del viento, las palas son aerodinámicas y generalmente de fibra de vidrio o carbono.
- **Palas**, capturan la energía del viento y la convierten en energía mecánica. su diseño y material influyen en la eficiencia del aerogenerador.
- **Generador eléctrico**, convierte la energía mecánica del rotor en energía eléctrica. puede ser de tipo sincrónico o de inducción.
- **Convertidor de potencia**, adapta la tensión y frecuencia de la electricidad generada para que pueda ser inyectada a la red eléctrica.
- **Sistema de control**, monitoriza y controla el funcionamiento del aerogenerador, incluyendo la orientación de la góndola y la velocidad de rotación del rotor.
- **Sistema de orientación yaw**, permite orientar la góndola hacia la dirección del viento para maximizar la producción de energía.
- **Frenos**, detienen el rotor en caso de emergencia o mantenimiento.
- **Sistema de pararrayos**, protege el aerogenerador de las descargas eléctricas.

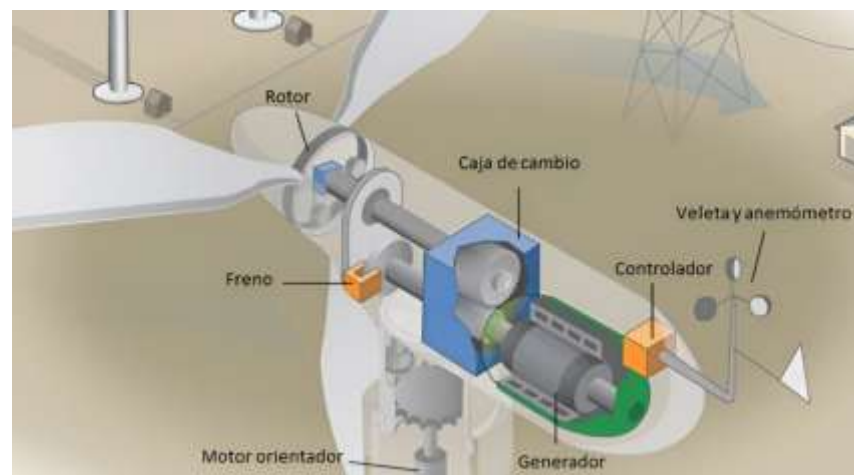


Figura 12. Principales elementos de un aerogenerador tripala (Energy.Gov, 2017).

2.9 Nuevas tecnologías

2.9.1 SkySails Power

El viento de gran altitud es una enorme reserva de energía que durante mucho tiempo no se ha utilizado, SkySails Power plantea usar la energía eólica aérea (AWE), esta energía implica un dispositivo volador conectado al suelo mediante una línea. La física simple puede explicar por qué es tan prometedor ya que mientras que la fricción de la superficie reduce la velocidad del viento más cerca del suelo, el aire puede moverse sin restricciones y a mayores altitudes.

Dependiendo de la ubicación y la hora del día, las velocidades pueden ser dos o incluso tres veces más rápidas. El efecto que esto tiene en la generación de electricidad aumenta porque la fuerza del viento se calcula como el cubo de su velocidad, esta característica y ventajas adicionales son las que hacen que la energía eólica aérea sea tan vital para cumplir con la transición energética global.

Sus principales ventajas son:

- ***Menos material significa menores costos***, los sistemas de energía eólica aérea no requieren una estructura de acero masiva, dependen de telas livianas y fibras ultra duraderas cuya producción requiere muchos menos recursos.
- ***Mayores rendimientos***, el viento a gran altitud es más constante y estable. estos sistemas siempre se dirigen solos a altitudes que actualmente brindan el flujo de aire más confiable y constante dando como resultado más horas de funcionamiento a plena carga.
- ***Bajo impacto ambiental***, su diseño delgado y liviano se nota menos en el paisaje y reduce la proyección de sombras y las emisiones de ruido. Todo esto tiene un impacto ecológico mínimo y aumenta la aceptación pública.
- ***Extremadamente flexible***, el diseño compacto y la fácil instalación permiten su implementación en una amplia gama de aplicaciones y áreas de difícil acceso, tanto en tierra como en alta mar.



Figura 13. Aerogenerador SKS PN -14 (SkaySails Power, 2020).

2.9.2 Turbina eólica VORTEX

La turbina Vortex, sin aspas y con un diseño radicalmente innovador, reemplaza a las eólicas tradicionales. A diferencia de estas, Vortex capta la energía de la vorticidad del viento, una condición aerodinámica inestable. Cuando el viento pasa por la estructura, genera vórtices cíclicos que, al alcanzar la fuerza suficiente, hacen vibrar la turbina hasta entrar en resonancia, capturando así la energía eólica.

Vortex Bladeless, un generador eólico resonante sin aspas, aprovecha la energía del viento a través de la vibración inducida por vórtices. Un cilindro vertical oscila en respuesta a la vorticidad del viento, fenómeno conocido como efecto de desprendimiento de vórtices. Esta oscilación, dentro de un rango específico de velocidades de viento, se transforma en electricidad mediante un alternador y un sistema de sintonización.

La potencia extraída depende en cierta medida de su longitud. Entre los materiales, se ha comprobado que la fibra de vidrio es la mejor opción en términos de amplitud de oscilación. Las fuerzas necesarias para generar energía en una turbina sin aspas difieren de las de las turbinas eólicas convencionales.

El uso de una turbina eólica convencional en un área menor y a un coste más bajo nunca es práctico, a diferencia de la turbina Vortex llena este vacío ya que turbina ocupa menos espacio y, por tanto, resulta económica para la electrificación rural (Francis, 2021).



Figura 14. Modelo Vortex Tacoma 2,75m. Valle de Ambés (OMPI, 2024).

2.9.3 EWICON

La Universidad Tecnológica de Delft (TU Delft) ha creado un prototipo de un nuevo tipo de generador eólico llamado EWICON (Figura 15). Este sistema funciona de manera diferente a los aerogeneradores tradicionales. En lugar de utilizar aspas para convertir la energía del viento en energía mecánica, el EWICON utiliza el viento para transportar partículas cargadas eléctricamente en contra de un campo eléctrico. Estas partículas se acumulan en un colector, donde se genera la energía eléctrica, el método para crear las partículas cargadas se llama electropulverización.

El prototipo actual del EWICON consiste en una estructura de acero con tubos horizontales que contienen electrodos y boquillas. Estas boquillas liberan microgotas de agua cargadas positivamente al aire. Al ser expulsadas, generan un campo eléctrico que se transforma en energía eléctrica. Las pruebas del prototipo han logrado una eficiencia de conversión del 7%, mientras que los aerogeneradores tradicionales alcanzan un 45% a su velocidad nominal. Se espera que mejoras en el diseño del EWICON eleven su eficiencia a un rango entre el 25% y el 30%.



Figura 15. Sistema EWICON de Delft, Países Bajos (Universidad de Delft, 2013).

2.10 Aerogenerador Arquímedes

A diferencia de las nuevas tecnologías y principios aplicados para obtener la innovación con respecto a la energía eólica, la turbina eólica Arquímedes (ver Figura 16) emplea el principio de conversión de la energía cinética en energía rotacional o energía mecánica y luego la convierte en energía eléctrica, esta turbina clasificada como “turbina de eje horizontal” es una propuesta para aprovechar el viento menor a 5 m/s en zonas rurales.

La turbina eólica de Arquímedes es un nuevo tipo de turbina eólica de eje horizontal que consta de tres palas circulares que se enrollan entre sí y luego se expanden. Este diseño especial garantiza que, entre más aire a la turbina, por lo tanto, es una forma mejorada.

Srinivasa (2018), propone una mejora del diseño, pasando al nombre de “aerogenerador aerodinámico de Arquímedes” realizando el estudio del diseño de la pala con un perfil NACA 6409 para estimar las características utilizando el paquete de software CREO y el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD). A partir del análisis CFD, se concluye que el par obtenido por el aerogenerador aerodinámico de Arquímedes es mayor a velocidades de viento ligeras y moderadas, El estudio se realizó en el Departamento de Ingeniería Mecánica del MVGR facultad de ingeniería, Vizianagaram, Andhra Pradesh, India.

Refaie (2021), investigo las características aerodinámicas y su rendimiento mediante análisis numérico 3D, con la incorporación de un concentrador para mejorar el rendimiento de la turbina en donde logró un coeficiente de potencia máximo de 0.311 con la implementación del concentrador, lo que representa un aumento del 33.48% en comparación del diseño sin mejoras, de la misma manera, demostró un aumento del 15% en el coeficiente de potencia al incorporar un concentrador. El estudio se llevó a cabo en el departamento de Ingeniería Mecánica de Potencia, Facultad de Ingeniería, EL-Mattaria, Helwan University, en El Cairo, Egipto.

Dados los datos relevantes, muestras experimentales y resultados de la turbina de Arquímedes, se toma en consideración realizar la presente investigación bajo este diseño bajo el sustento de la ubicación geográfica y el alcance de la aplicación.



Figura 16. Turbina eólica de Arquímedes (CULTS, 2023).

2.11 Dinámica de fluidos computacional y teoría del momento del elemento de pala

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para analizar y resolver problemas relacionados con el comportamiento de los fluidos, tanto líquidos como gases (Cruz, 2020). Esta herramienta permite simular el flujo de estos elementos en diferentes situaciones, desde el movimiento del agua en un río hasta el flujo del viento o la transferencia de calor en un intercambiador.

La base de la CFD reside en las ecuaciones de Navier-Stokes, que describen la conservación de la masa, el momento y la energía en un fluido, y en las ecuaciones de conservación de la energía, que se encargan de la transferencia de calor. Para resolver

estas ecuaciones, la CFD divide el espacio en pequeños volúmenes de control y aplica las ecuaciones a cada uno de ellos, un proceso conocido como discretización, sus ventajas son numerosas ya que permite analizar problemas complejos que serían difíciles o imposibles de estudiar experimentalmente, siendo una herramienta poderosa para optimizar el diseño de productos y sistemas que involucren fluidos.

Un estudio de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para una turbina eólica de Arquímedes se centra en simular el flujo de aire alrededor de la turbina y analizar su comportamiento (ver Figura 17). Esta información es crucial para optimizar el diseño y rendimiento de la turbina, ya que permite:

- Calcular la potencia de salida de la turbina con mayor precisión.
- Identificar áreas de flujo turbulento y optimizar la forma de la turbina para reducirlas, mejorando la eficiencia.
- Estudiar el efecto de diferentes parámetros como la velocidad del viento, el ángulo de ataque y la geometría de la turbina en su rendimiento, permitiendo un diseño más preciso y eficiente.

Las turbinas eólicas de Arquímedes son relativamente nuevas, la información obtenida a través de la CFD puede mejorar su diseño y rendimiento, estas turbinas operan en un entorno complejo, con flujo de aire turbulento y velocidades variables, simular estas condiciones y obtener información precisa sobre el comportamiento de la turbina y alcanzar su eficiencia.

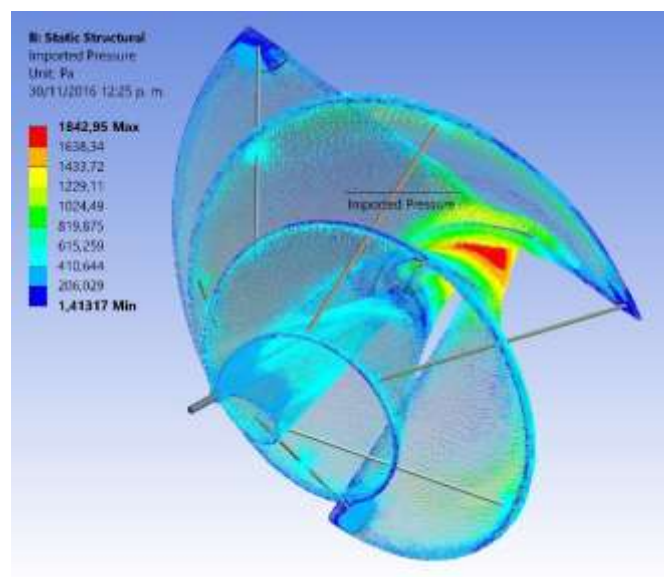


Figura 17. CFD de la turbina eólica de Arquímedes (Murillo & Cabezas, 2017).

2.11.1 SOLIDWORKS Flow Simulation (CFD)

Es una solución de dinámica de fluidos computacional (CFD) que se integra en el software SOLIDWORKS 3D CAD. Permite simular el flujo de líquidos y gases, la transferencia de calor y las fuerzas de fluidos que afectan al rendimiento del sistema a procesar. Utiliza el método de volumen finito (FVM) para calcular los resultados de los estudios (ver Figura 18). También ofrece módulos específicos para simular los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Permite manejar una amplia gama de aplicaciones, como aerodinámica externa, flujos internos y flujos multicomponentes complejos.

Muestra una variedad de propiedades de materiales y condiciones de contorno predefinidas, lo que lo hace accesible admite estudios paramétricos y optimización, esto permite a los usuarios explorar diferentes variaciones de diseño y evaluar su rendimiento en función de objetivos predefinidos. Esto ayuda a identificar las mejores configuraciones de diseño para criterios específicos, como minimizar la caída de presión o maximizar la eficiencia de refrigeración.

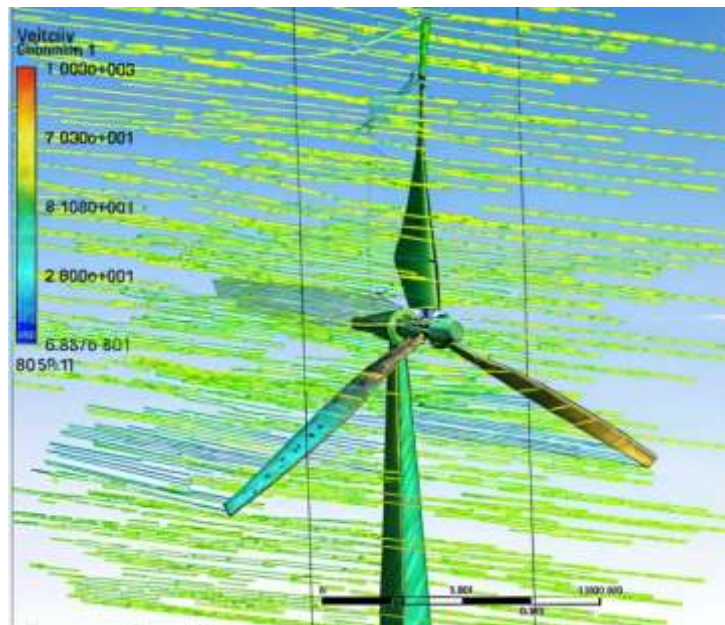


Figura 18. CFD de la turbina tripala (Murillo & Cabezas, 2017).

2.11.2 QBLADE (BEMT)

QBlade es un software de simulación de aerodinámica y diseño de palas de turbinas eólicas de código abierto. Se utiliza para realizar análisis aerodinámicos detallados, optimización de palas y evaluación del rendimiento de las turbinas eólicas de cualquier tipo y tamaño.

Algunas de las características y capacidades de QBlade incluyen:

- **Diseño de palas:** Permite diseñar y optimizar perfiles aerodinámicos de las palas de las turbinas eólicas, así como ajustar su geometría, incluyendo el ángulo de ataque y la torsión.
- **Simulación de rendimiento:** Permite simular y analizar el rendimiento de las palas y la turbina en diferentes condiciones de viento, incluyendo curvas de potencia, coeficientes de rendimiento, distribución de velocidades y fuerzas aerodinámicas.
- **Cálculos de estabilidad:** Proporciona herramientas para evaluar la estabilidad y comportamiento dinámico de las palas y la turbina, incluyendo la respuesta a vibraciones y cargas dinámicas.

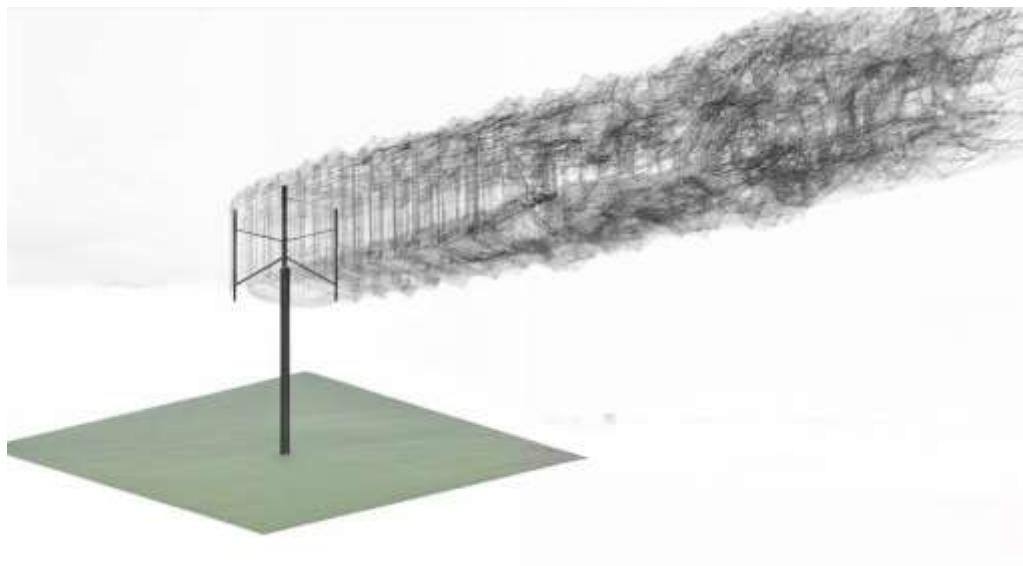


Figura 19. Simulación de turbina eólica de eje vertical.

2.12 Plan de electrificación rural

La electrificación rural en Perú comenzó a mediados del siglo XX. En 1955, se creó la Ley de la Industria Eléctrica para incentivar la inversión privada en la electrificación de zonas urbano-marginales. En 1962, se aprobó la Ley de Creación de los Servicios Eléctricos Nacionales (SEN) para regular el suministro de electricidad en zonas donde la inversión privada no era efectiva. SEN se convirtió en la primera entidad en electrificar zonas rurales a nivel provincial y distrital, además de regular la explotación de las centrales hidroeléctricas del Estado (DGER, 2020).

Dentro del plan de electrificación rural del Perú (PNER), se tiene como política energética nacional satisfacer la demanda de energía de manera confiable, regular, continua y eficiente, que promueva el desarrollo sostenible al acceso universal del servicio de energía eléctrica, prioritariamente a las localidades rurales, aisladas y zonas de frontera (MINEM, 2010).

En el PNER (2021-2023) se muestra la ejecución presupuestal de proyectos por parte de la Dirección general de la electrificación rural (DGER) desde 1993 al 2019 (ver Figura 20) donde se evidencia que se está desarrollando activamente los diversos programas de electrificación, sin embargo, según el INEI (2022) manifiesta que hasta el año 2021 aún existen hogares que carecen de este servicio o deben pagar un alto valor por un suministro de energía eléctrica poco eficiente indicando que el 17.4% de la zona rural del ámbito geográfico no cuenta con este servicio.

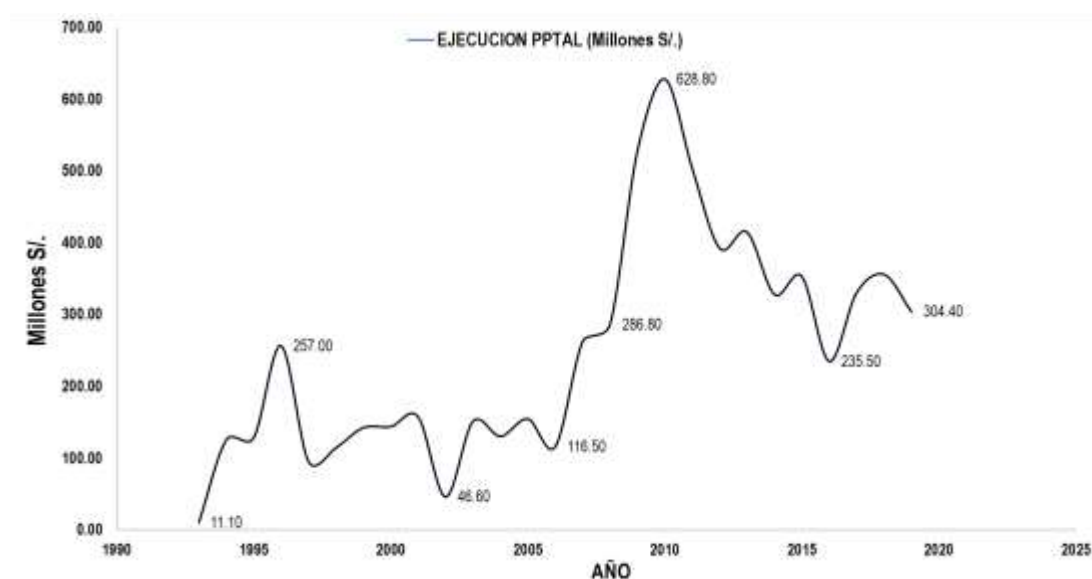


Figura 20. Ejecución presupuestal DGER 1993-2021 (DGER, 2020).

2.12.1 Proyectos de electrificación con energías renovables

Cherni & Preston (2007), analizan la liberalización del mercado eléctrico y la política de electrificación rural en Perú, revela que las reformas han impulsado la tasa de electrificación nacional, aunque aún persisten desafíos en la selección de proyectos y la competencia entre tecnologías. Se hace una crítica con respecto a la falta de un enfoque estratégico claro en el Plan de Electrificación Rural, y se sugiere explorar las energías renovables como alternativa para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso. Para garantizar la viabilidad a largo plazo, es crucial fomentar una relación más productiva entre los sectores público y privado, priorizando la sostenibilidad económica en la implementación de sistemas de energía renovable.

Se destaca la implementación de tecnologías basadas en energías renovables ya que estos sistemas utilizan fuentes como la energía solar fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica, se consideran apropiados para proporcionar electricidad a comunidades rurales remotas. Tras varios años de operación, es crucial evaluar su impacto en el desarrollo de los beneficiarios, con el objetivo de comprender las fortalezas y debilidades de cada opción de diseño y extraer lecciones útiles para proyectos futuros.

Juanpera (2021) en su investigación realizó una evaluación en dos fases de 9 proyectos de electrificación que combinan diferentes sistemas y ubicados en 6 comunidades rurales peruanas. Primero, se realiza un análisis cualitativo para monitorear el progreso experimentado por las comunidades, considerando evaluaciones previas realizadas poco después de la implementación de los proyectos. En segundo lugar, se realiza un análisis en profundidad de los sistemas y el desarrollo de las comunidades de forma cuantitativa a través, evaluando objetivos de sostenibilidad organizados en 4 dimensiones: técnica, social, económica y ambiental.

Los resultados muestran que los proyectos de microrredes requieren y alientan la participación de la comunidad para promover el mantenimiento efectivo de los equipos compartidos. Por el contrario, los sistemas individuales pueden funcionar durante períodos más largos sin tanto mantenimiento, pero aún necesitan un modelo de gestión eficiente para recaudar fondos para las

reparaciones. Además, se confirma que la energía hidroeléctrica proporciona un suministro continuo y de alta calidad, mientras que las opciones solar y eólica permiten diseños más flexibles. En todos los casos, un modelo de gestión bien planificado es fundamental para reducir la tasa de morosidad, organizar un mantenimiento eficaz y permitir el desarrollo sostenible de la comunidad.

La DGER está implementando como solución alternativa el uso de sistemas solares fotovoltaicos para suministro de energía a localidades rurales y/o comunidades nativas aisladas, donde no es posible llegar con el sistema convencional, esto con el fin de atender la necesidad básica como es la energía eléctrica.

Una de estas alternativas es el “Programa masivo fotovoltaico”, el cual estuvo dirigido a poblaciones más apartadas del país, en abril del 2015 se firmaron tres contratos de las zonas denominadas como norte, centro y sur conocidos como Contrato de inversión para el suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no contactadas a red, entre el ministerio de energía y minas y ERGON PERU S.A.C.

El 22 de octubre de 2014 se celebró el “Contrato de inversión para el suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a red”, dicho documento tiene el objetivo establecer términos y responsabilidades con respecto al diseño, instalación, operación, mantenimiento y reposición de instalaciones RER autónomas. Para llevar este despliegue el 08 de enero de 2015 se celebró el “Convenio de encargo especial” entre el Ministerio De Energía Y Minas y las empresas de distribución eléctrica, en nuestro caso la Empresa Regional De Servicio Público De Electricidad De Puno Sociedad Anónima Abierta (Electro Puno S.A.A.).

Electro Puno se encarga de la administración comercial instalaciones RER autónomas (con soporte presupuestal del MINEM), esto incluye campañas de sensibilización y empadronamiento de los potenciales usuarios, así como la constatación y la puesta en operación de los sistemas fotovoltaicos. Por último, se compromete a realizar la gestión comercial como la facturación, reparto de recibos y cobranza del servicio brindado, reporte de quejas, fallas, todo esto de acuerdo a procedimientos y protocolos establecidos por el MINEM o en su

defecto la DGER. En la Tabla 1, se presenta requisitos mínimos de la instalación RER Autónoma de Tipo 1 (viviendas) (ver Figura 21), así mismo, se instaló sistemas de Tipo 2 (Entidades de Salud) y Tipo 3 (Escuelas) respectivamente.

Tabla 1

Especificaciones técnicas mínimas RER tipo 1.

Componente	Descripción
Generador fotovoltaico	85.0 (36 celdas) watts
Controlador de carga	10.00 amperios (ingreso y salida)
	12.00 voltios
Batería	12.00 voltios
	90.00 amperios/hora
	03 unidades
Lámparas	10.00 watts c/u
	600.00 lúmenes c/u
Conexiones	Tomacorriente
	Cargador eléctrico universal para teléfono celular

Tomando en cuenta la Tabla 1, se evidencia que la energía aprovechable del sistema con un 50% de descarga del acumulador de energía es de 0.54 kWh solamente. El programa masivo fotovoltaico tenía como meta instalar 500000 sistemas a nivel nacional, pero se logró 208145 (42%), Dentro de la concesión de Electro Puno S.A.A. se tiene 27328, es decir el 13% del total.



Figura 21. Instalación RER Autónoma de Tipo 1.

2.13 Marco normativo de las energías renovables

El presente proyecto de investigación se fundamenta en las siguientes normativas:

- Decreto Ley N° 25844.- Ley de Concesiones Eléctricas.
- Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables - Decreto Legislativo N° 1002 (mayo 2008).
- Ley N° 28832 (23/07/2006) – Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la Generación Eléctrica.
- Decreto Supremo N° 009-93-EM. - Reglamento de la Ley de Concesiones eléctricas.
- Decreto Legislativo N° 1221 (24/09/2015) – Decreto Legislativo que mejora la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú
- Disposiciones transitorias del Reglamento RER (23 de marzo de 2011) el Ministerio de Energía y Minas publicó, con fecha 29 de marzo de 2011, el aviso previo para la convocatoria de la Segunda Subasta RER.
- D.L. N° 1221, Decreto Legislativo que mejora la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú.
- Resolución directoral N° 203-2015-MEM/DGE: Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural.
- Norma técnica de edificación EM080 instalaciones con energía solar
- Norma Técnica Peruana, NTP 399.403.2006:
- Código Nacional de Electricidad – Utilización. R.M. N° 037-2006 -MEM/DM (2006.01.30).
- Normas IEC correspondientes.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de la hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Realizar el estudio de un sistema energético con recurso eólico aislado de la red permitirá cubrir la demanda energética básica de una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco.

3.1.2 Hipótesis específica

- Determinar el recurso eólico en el centro poblado de Mayupampa en permitirá evaluar la utilización de sistemas eólicos aislados de la red en zonas tropicales.
- Desarrollar la simulación mecánica y energética del sistema eólico aislado con BEMT permitirá perfeccionar la operación y planificar un adecuado programa de mantenimiento.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema eólico aislado de la red permitirá fomentar la inversión de entidades públicas y privadas y de esta manera cerrar la brecha de la carencia energética.

3.2 Recursos humanos

- Tesista.
- Coasesor de tesis.
- Personal de apoyo para recolección de datos.

3.3 Recursos materiales y/o equipos

3.3.1 Recursos materiales

- Anemómetro.
- Estación meteorológica.

3.3.2 Recursos de Software

- AutoCAD 2019 - English.
- Windographer
- SolidWorks

3.4 Procedimiento del método

Para lograr los objetivos planteados, se tomará en cuenta la metodología de caracterización del potencial energético del viento de Villarubia (2011) junto al software Windographer. Para desarrollar la simulación mecánica y energética del sistema eólico aislado se realizará por el método CFD y BEMT con los softwares Solid Flow Simulation y Qblade, para determinar la viabilidad económica del sistema del sistema eólico aislado, se realizará la comparación de la inversión realizada por unidad de sistema fotovoltaico implementado por el MINEM y ERGON Perú con el sistema de la turbina de Arquímedes propuesta.

3.4.1 Ubicación del proyecto

La ubicación geográfica donde se realizará el estudio pre factibilidad de un sistema eólico aislado para viviendas se encuentra en el Centro Poblado de Mayupampa, distrito de Patambuco, región Puno (ver Figura 22), con coordenadas con latitud $14^{\circ}21'19.9''\text{S}$ y longitud $69^{\circ}37'31.2''\text{W}$.



Figura 22. Ubicación del área de estudio

País	: Perú
Departamento	: Puno
Provincia	: Sandia
Distrito	: Patambuco – C.P. Mayupampa
Latitud Sur	: 14°21'19.9"S (-14.355516)
Longitud Oeste:	: 69°37'31.2"W (-69.625340)
Altitud	: 3351.7 m.s.n.m

3.5 Dimensionamiento del SEA

La presente investigación toma como referencia la información del sitio web del proyecto Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) de la NASA, está financiado a través del “Programa de Ciencias Aplicadas de la NASA” dentro de la División de Ciencias de la Tierra de la Dirección de Misiones Científicas. POWER recopila y proporciona datos sobre energía renovable a partir de satélites, ofrece una gran cantidad de datos sobre energía solar y meteorología. Los datos están disponibles en varias escalas temporales, por hora hasta climatológicos, así mismo, el acceso es gratuito.

Los datos procesados de presión, temperatura, dirección y velocidad de viento datan desde el 31 de diciembre del 2020 al 01 de enero de 2024 a una altura de 10 metros. Por otra parte, se realizó la medición in situ con un anemómetro de marca SMART SENSOR AS836 (ver Tabla 2), desde el mes de agosto 2023 hasta el mes de noviembre 2023 (ver Figura 23); el contraste entre POWER y SMART SENSOR dan como resultado un coeficiente de estandarización de 1.600723122 y generando una nueva data corregida.

Tabla 2*Características técnicas anemómetro SMART SENSOR AS836*

Características	Condición
Velocidad del viento Rango de medición	0,3 ~ 45 m/s
Precisión de la velocidad del viento	$\pm 3\%$ lect + 0,1
Unidades de velocidad del viento	m/s, pies/min, nudos, km/hr, Mph
Medición actual/promedio	Si
Rango de medición de temperatura	0~45 °C
Temperatura. Resolución	0,2 °C
Selección °C/°F	Si
Función de retención de datos	Si
Medición máxima y mínima	Si
Fuente de alimentación	Batería de 9V
Condiciones de almacenamiento Humedad:	0 a 90 % HR

**Figura 23.** Medición directa de velocidad de viento – septiembre 2023.

La representación de la data obtenida de la velocidad del viento y su dirección nos permitirá visualizar de forma rápida y sencilla la dirección del viento predominante, su frecuencia e intensidad. Esta representación gráfica se dará en forma de rosa de vientos, en la Figura 24 se puede apreciar la rosa de viento mensual, así como en la Figura 25 la representación anual.

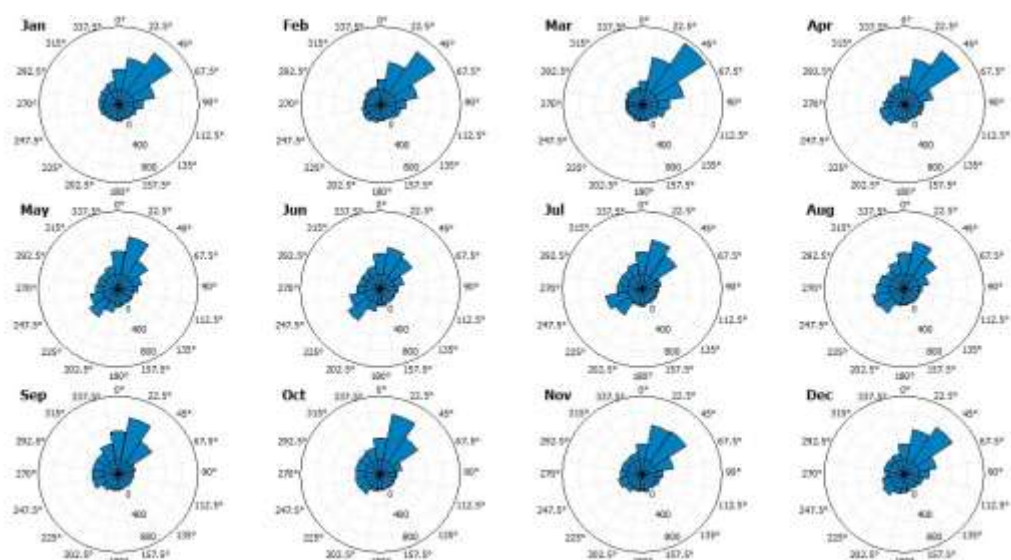


Figura 24. Rosa de viento mensual C.P. Mayupampa.

Tabla 3

Frecuencias porcentuales y direcciones de viento-Mayupampa.

Sect.	Direc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
		%											
1	N	11.82	6.45	5.29	7.64	13.40	12.45	13.04	12.32	16.76	12.46	9.44	8.85
2	NNE	18.35	18.16	19.22	18.84	22.13	16.34	20.03	19.36	25.46	26.61	20.93	17.84
3	NE	26.70	30.95	33.65	29.07	11.56	13.66	14.79	13.49	14.95	16.58	21.99	23.83
4	ENE	11.82	13.54	14.61	7.92	5.29	5.42	2.82	5.42	1.81	4.21	9.72	10.10
5	E	5.20	6.30	6.36	2.08	2.51	1.81	0.72	1.84	0.42	1.08	3.47	5.50
6	ESE	2.00	3.62	4.39	2.08	0.85	0.97	0.49	0.72	0.23	0.85	2.45	2.64
7	SE	1.11	2.83	2.24	1.34	1.25	0.88	0.54	0.90	0.14	0.63	1.71	1.92
8	SSE	0.84	0.84	1.39	0.93	1.25	1.53	0.85	0.94	0.32	0.49	2.36	1.61
9	S	1.20	0.99	0.85	1.90	2.24	1.07	1.66	0.76	0.97	0.72	1.25	2.10
10	SSW	1.38	2.38	1.61	2.08	5.15	4.86	1.39	1.61	1.07	1.61	1.94	3.13
11	SW	1.73	3.22	1.30	6.34	10.66	13.75	9.45	7.98	2.73	5.74	3.94	6.12
12	WSW	2.58	3.08	1.52	6.20	7.39	9.31	12.37	9.41	6.44	5.47	5.42	4.11
13	W	2.75	1.49	1.12	3.61	4.08	4.72	5.42	6.86	6.44	4.97	3.94	2.19
14	WNW	3.29	1.39	1.52	2.69	3.76	3.52	5.11	6.00	6.16	5.56	3.75	3.13
15	NW	4.04	2.23	2.51	3.19	3.50	4.35	5.02	4.75	6.57	6.00	3.66	3.13
16	NNW	5.20	2.53	2.42	4.07	4.97	5.37	6.32	7.66	9.54	7.03	4.03	3.80

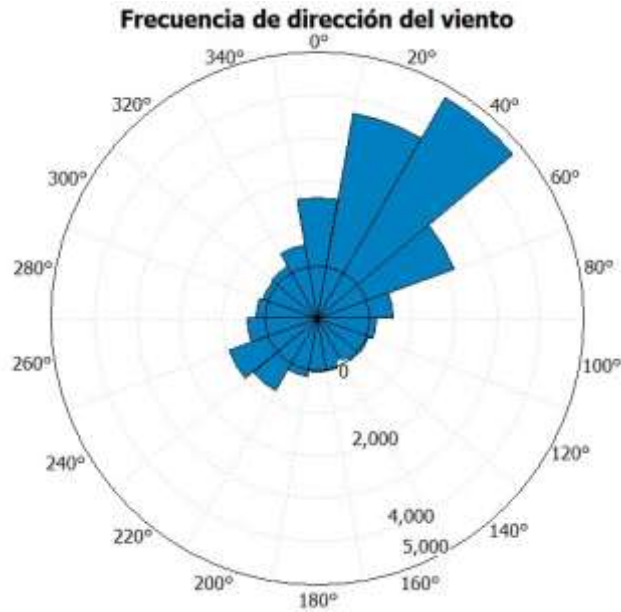


Figura 25. Rosa de viento anual C.P. Mayupampa.

Para calcular el potencial energético del viento y la producción de energía es necesario la determinación de la distribución de su velocidad, esta distribución como se había mencionado en el punto 2.2 se ajusta a la probabilidad de Weibull. Para obtener esta distribución nos apoyamos en el software Windographer el cual obedece la siguiente formula:

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{t + 273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435} \right) t} \quad (1)$$

En donde:

v : velocidad de viento m/s .

$\rho(v)$: función densidad de probabilidad Weibull

c : factor de escala m/s

k : factor de forma

Por lo tanto, se obtiene la distribución ajustada de la velocidad de viento 2021-2023 (ver Figura 26), así mismo, se muestra los resultados del factor de forma y el factor de escala en la Tabla 04.

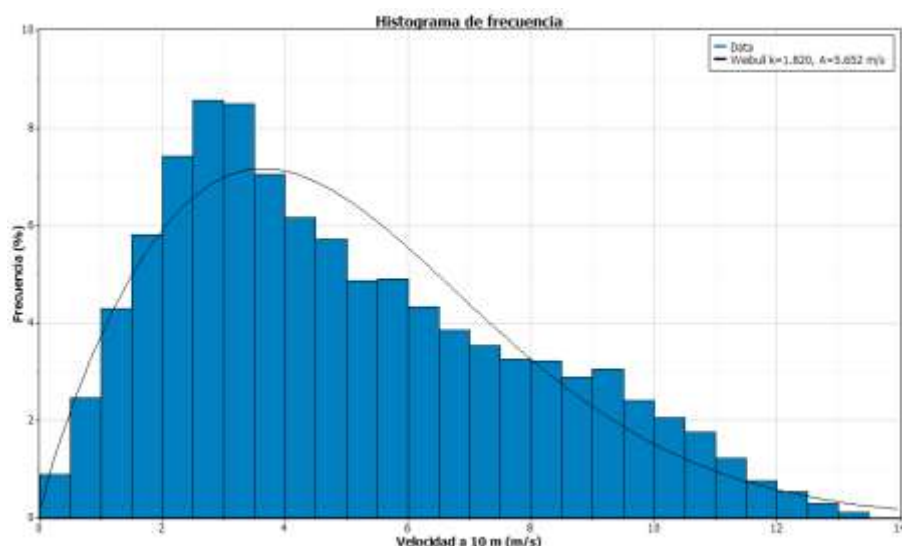


Figura 26. Distribución ajustada de la velocidad de viento – C.P. Mayupampa.

Tabla 4

Factor de forma y escala de la distribución del viento – C.P. Mayupampa.

Factor de forma k	Factor de escala c m/s
1.820	5.652

En energía eólica, la rugosidad del terreno es importante porque influye en la velocidad del viento a diferentes alturas. A mayor rugosidad, menor será la velocidad del viento a una altura determinada. La rugosidad puede ser causada por diversos elementos, como: Vegetación: Árboles, arbustos, pastos y otros tipos de vegetación crean una superficie rugosa que frena el viento.

La longitud de rugosidad aerodinámica (z_0) es un parámetro que se utiliza para cuantificar la rugosidad del terreno. z_0 es la altura donde la velocidad del viento se reduce a cero.

La rugosidad del terreno del cetro poblado de Mayupampa es clase 2.5 con una longitud de rugosidad z_0 de 0.2, este último valor es determinado por el tipo de terreno ya que es un campo con muchas casas y arbolado de hasta 8 metros (ver tabla 4), esta tabla la encontramos en Villarubia (2011). Windographer resolvió un perfil de 0.236, un indicador valido para su evaluación (ver Figura 27).

Tabla 5

Tabla de clases y longitudes de rugosidades.

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (z_0) m	Índice de energía (%)	Tipo de terreno
0	0.0002	100	Superficie de agua, terreno abierto, superficie lisa
0.5	0.0024	73	Pistas de hormigón, (aeropuertos), césped.
1	0.03	52	Campos abiertos sin cercados ni setos, edificios muy dispersos, colinas suavemente redondeadas.
1.5	0.055	45	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8 m situados como mínimo a 1250 m.
2	0.1	39	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8 m situados como mínimo a 500 m.
2.5	0.2	31	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8 m situados como mínimo a 250 m.
3	0.4	24	Pueblos, bosques y terreno accidentado desigual.
3.5	0.8	18	Ciudades con edificios altos.
4	1.6	13	Grandes ciudades con edificios muy elevados.

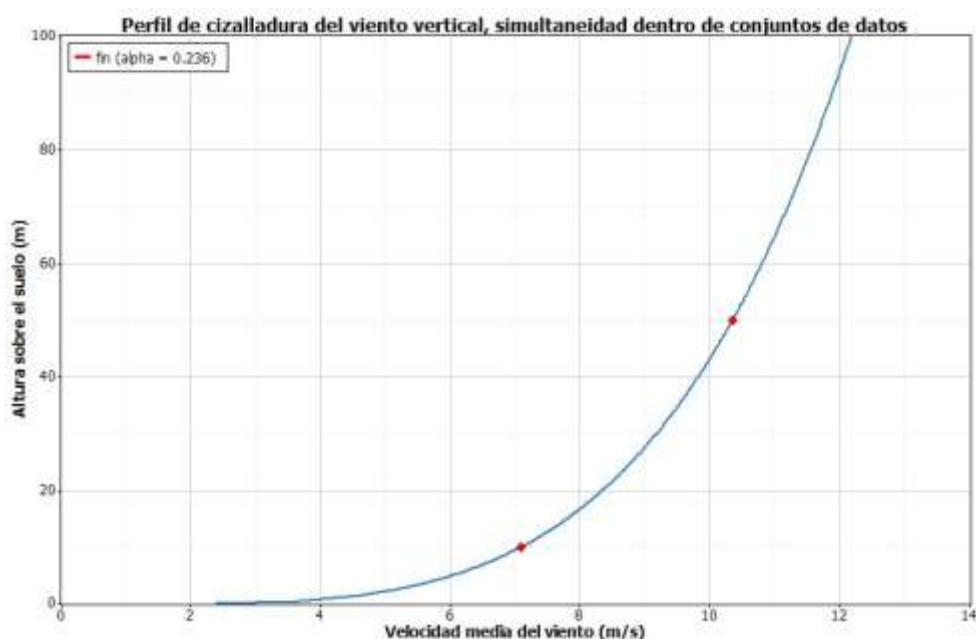


Figura 27. Perfil de cizalladura del viento en vertical – C.P. Mayupampa.

Para poder determinar la potencia disponible es necesario determinar la densidad del aire en función a la temperatura y la altura del área de influencia, para C.P. de Mayupampa tiene una temperatura promedio de 8.27 °C y una altura de 3551.0 m.s.n.m., este último es de acuerdo al sistema de información geográfica del instituto nacional de estadística e informática (INEI, 2024). La densidad se determinará mediante la siguiente la expresión aproximada:

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{t + 273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435} \right)} \tag{ 2 }$$

- Donde:
- ρ : densidad del aire (kg / m^3)
 - t : temperatura en grados centígrados (°C)
 - h : altura sobre el nivel del mar (m)

Windographer tiene la posibilidad de realizar el cálculo de la densidad del aire (ver Figura 28), así como también la Ecuación 2 que expresa un valor aproximado, los valores determinados están expresados en la tabla 06:

Tabla 6
Determinación de la densidad del aire, Windographer - Ecuación general.

	Densidad del aire
Windographer	0.814 (kg / m^3)
Ecuación general	0.843 (kg / m^3)

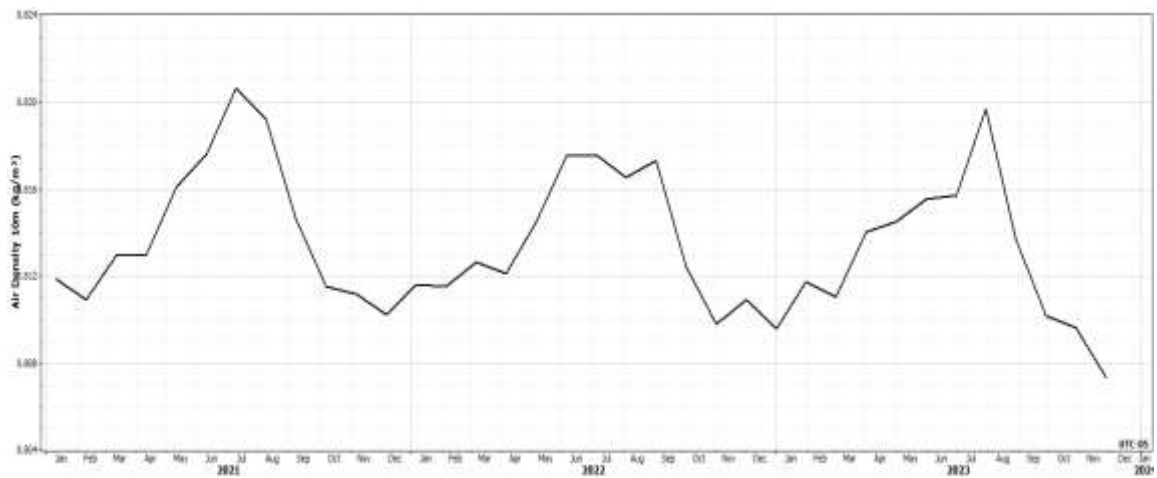


Figura 28. Densidad del aire del C.P. Mayupampa.

Es fundamental conocer la velocidad media anual para estimar el potencial eólico, razón por el cual empleara las siguientes expresiones matemáticas:

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 = \frac{1}{2} \rho F_e v^3 = \frac{1}{2} \rho v^{*3} \quad (3)$$

Donde:

P_d : potencia eólica disponible (W)

A : área de barrido (m^2)

v^* : velocidad eficaz (m / s)

v^3 : velocidad media cubica en un periodo de tiempo (m / s)

F_e : factor de energía (m / s)

ρ : densidad del aire (kg / m^3)

Para calcular el factor de energía F_e en función del factor k de la distribución de Weibull se contempla el valor que para $k=1.82$ él F_e es igual a 2.14. De esta manera podemos determinar la velocidad eficaz mediante:

$$v^* = v \times F_e^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

La velocidad media se obtiene mediante Windographer, tal como se muestra en la figura 29 y la tabla 7 de resultados, esta velocidad media da como resultado $v = 5.015$ (m / s). Una vez obtenidos los datos necesarios se tiene como potencial eólico $P_d = 113.77$ (w / m²).

Para hallar un área de barrido adecuado y su radio se estimará de acuerdo a la potencia de la turbina de Arquímedes, así como se establece en la tabla 8.

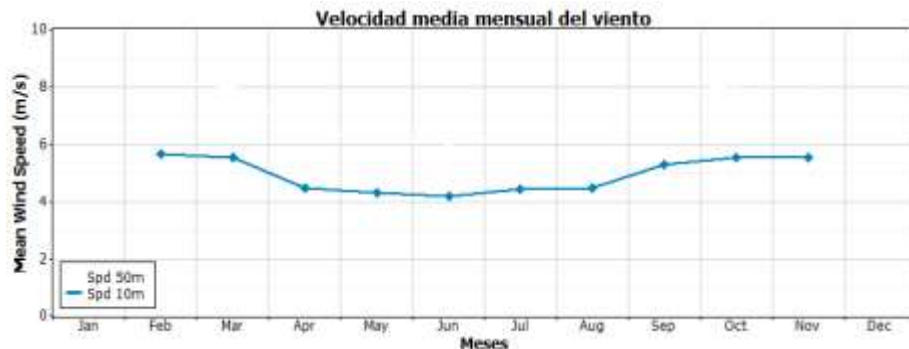


Figura 29. Velocidad media del C.P. Mayupampa.

Tabla 7*Tabla de resultados mensual C.P. Mayupampa.*

Año	Mes	Media	Moda	Min	Max	Desv. Estándar	Weibull k	Weibull A
		(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		(m/s)
2020	Dic	3.66	3.88	2.58	4.69	0.80	5.95	3.95
2021	Ene	5.77	5.25	0.26	13.25	2.99	2.03	6.52
2021	Feb	5.73	5.45	0.44	12.87	3.09	1.95	6.48
2021	Mar	5.79	5.62	0.00	12.28	3.33	1.75	6.48
2021	Abr	4.48	3.88	0.09	11.84	2.57	1.81	5.05
2021	May	4.35	3.88	0.17	10.42	2.25	2.06	4.93
2021	Jun	3.89	3.57	0.18	9.13	1.78	2.33	4.40
2021	Jul	4.38	3.88	0.30	10.60	2.28	2.03	4.95
2021	Ago	4.81	4.36	0.17	12.78	2.53	2.02	5.45
2021	Set	5.48	4.57	0.24	13.25	3.19	1.80	6.18
2021	Oct	5.48	5.06	0.07	12.87	2.83	2.06	6.20
2021	Nov	4.85	4.00	0.17	12.94	2.95	1.71	5.45
2021	Dic	5.03	4.51	0.26	12.19	2.79	1.88	5.67
2022	Ene	5.39	4.88	0.26	13.14	3.26	1.70	6.05
2022	Feb	5.71	5.25	0.06	13.22	3.34	1.72	6.39
2022	Mar	5.55	5.28	0.17	13.02	3.26	1.73	6.22
2022	Abr	4.47	3.94	0.07	11.95	2.71	1.68	5.00
2022	May	4.33	4.07	0.11	9.98	1.98	2.32	4.89
2022	Jun	4.48	4.11	0.33	10.97	2.25	2.12	5.07
2022	Jul	4.66	4.16	0.31	10.88	2.44	2.02	5.27
2022	Ago	4.63	4.00	0.04	13.07	2.68	1.80	5.21
2022	Set	5.43	4.71	0.24	12.19	2.75	2.09	6.13
2022	Oct	5.23	4.64	0.04	12.43	2.96	1.82	5.88
2022	Nov	5.66	4.95	0.04	13.18	3.37	1.73	6.35
2022	Dic	5.16	4.60	0.15	13.20	3.14	1.68	5.79
2023	Ene	5.73	5.30	0.18	12.96	3.24	1.81	6.44
2023	Feb	5.64	5.06	0.28	12.96	3.33	1.73	6.33
2023	Mar	5.31	4.90	0.17	12.54	3.27	1.61	5.91
2023	Abr	4.50	4.20	0.17	11.36	2.35	2.01	5.08
2023	May	4.24	3.83	0.11	11.62	2.18	2.07	4.80
2023	Jun	4.19	4.05	0.24	9.24	1.86	2.43	4.73
2023	Jul	4.27	4.05	0.04	9.37	1.92	2.37	4.82
2023	Ago	4.02	3.76	0.13	12.26	1.97	2.14	4.54
2023	Set	4.96	4.23	0.28	12.76	2.95	1.75	5.58
2023	Oct	5.95	5.10	0.31	13.25	3.53	1.73	6.68
2023	Nov	6.20	5.80	0.13	13.25	3.37	1.92	6.99
2023	Dic	4.98	4.40	0.13	13.13	2.96	1.73	5.59
2024	Ene	4.82	3.96	1.09	9.08	2.67	1.98	5.46
Toda la información		5.02	4.42		13.25	2.88	1.82	5.65

Tabla 8*Radio de barrido de acuerdo a la potencia eólica disponible.*

Potencia eólica disponible (W / m^2)	Potencia de la turbina eólica (W)	Radio de la turbina (m)
113.77	500	1.18
	450	1.12
	400	1.06
	350	0.99
	300	0.91
	250	0.84
	200	0.75
	150	0.65

3.6 Simulación del SEA

La turbina con un diámetro de 2.36 metros, aunque capaz de generar 500W de potencia, resulta demasiado grande para zonas rurales. Por ello, se propone un diámetro de 1.5 metros, basado en criterios de diseño, investigaciones previas y la oferta de empresas comercializadoras de este tipo de turbinas, por lo que se tendrá una potencia de 200 W. La energía máxima que puede obtener del viento durante un año (8760 horas) es de $1025 \text{ kWh} / m^2$, considerando el límite de Betz y el coeficiente de potencia C_p que ha realizado Refaie (2021) es de 0.233 se obtiene $408.22 \text{ kWh} / \text{año}$.

Para la presente investigación se tomará como referencia un aerogenerador comercial de tipo Off-Grid de la marca RESPECT modelo AWM-1500D (ver anexo 01), el cual mantiene el mismo diámetro del rotor requerido, sus características técnicas están establecidas en la tabla 9. Este aerogenerador se toma razón de hacer un análisis CFD, configuración del sistema eléctrico y estudio de la viabilidad económica. La vista frontal y lateral lo podemos observar en la Figura 30 y Figura 31 respectivamente.

Tabla 9

Características técnicas del aerogenerador RESPECT AWM-1500D.

Modelo		AWM-1500D
Potencia	Eléctrica	550
	Cinética	700
	Arranque	3
Velocidad de viento	Nominal	12.5
	Regulación del paso variable	14.0
	Supervivencia	35
RPM del rotor	Operación	330
	Máximo	360
Medidas	1.5m(W)x1.9m(L)x1.75m(H)	
Diámetro del Rotor	1500	
Área de barrido	1.77	
Peso Neto	280	
Sistema de control	Control Mppt Sistema de frenado automático y manual	

Se realizó el estudio del comportamiento del viento mediante con Flow Simulation el cual es una solución planteada por la dinámica de fluidos computacional (CFD) integrada en SOLIDWORKS 3D CAD, en la que se evaluó el comportamiento de la presión en el rotor induciendo la velocidad mínima, promedio y máxima (ver Figuras 32–35), donde se visualizó que el material (Plástico reforzado con fibra de vidrio) del rotor no sufre ninguna fatiga considerable por el esfuerzo cortante, todo esto se puede visualizar en la Tabla 10.

Tabla 10

Comportamiento del rotor - Presión VS velocidad.

Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
2.70	65984.44
5.02	65934.02
13.5	66012.94



Figura 30. Vista frontal aerogenerador RESPECT modelo AWM-1500D.

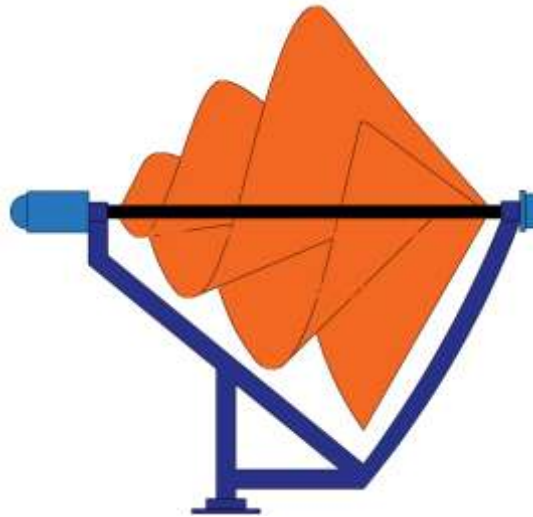


Figura 31. Vista lateral aerogenerador RESPECT modelo AWM-1500D.

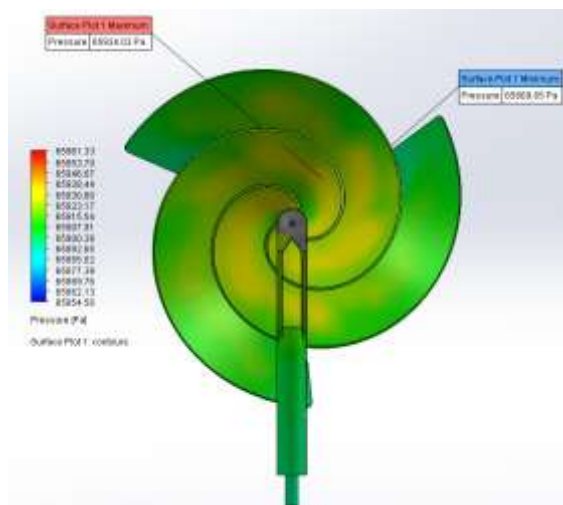


Figura 32. Presión sobre el rotor a 5.02 m/s de velocidad.

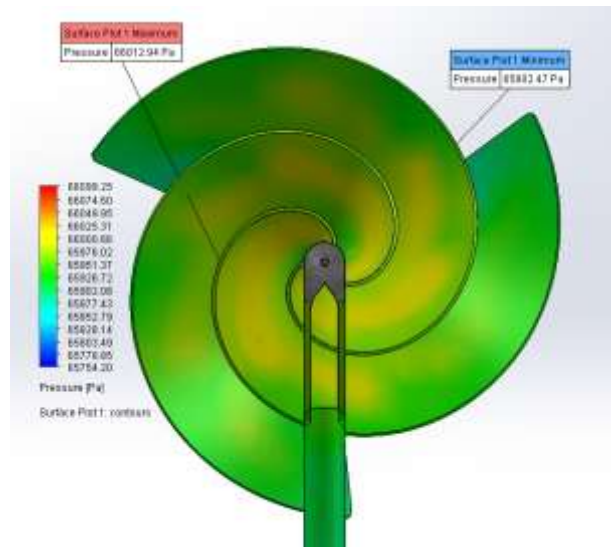


Figura 33. Presión sobre el rotor a 13.5 m/s de velocidad.

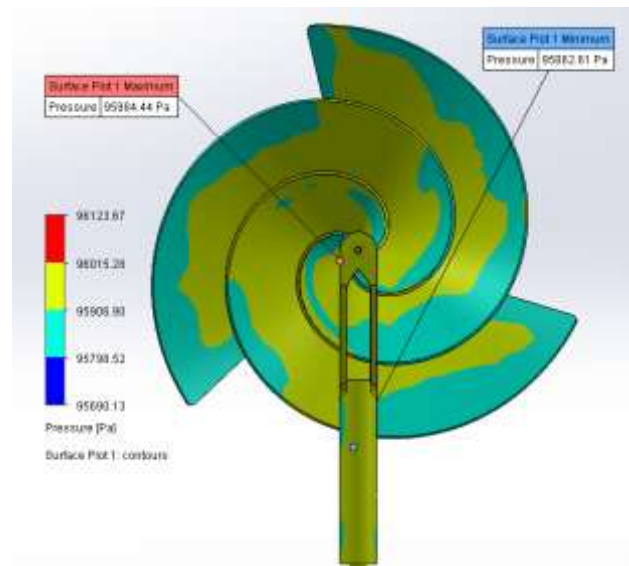


Figura 34. Presión sobre el rotor a 2.70 m/s de velocidad.

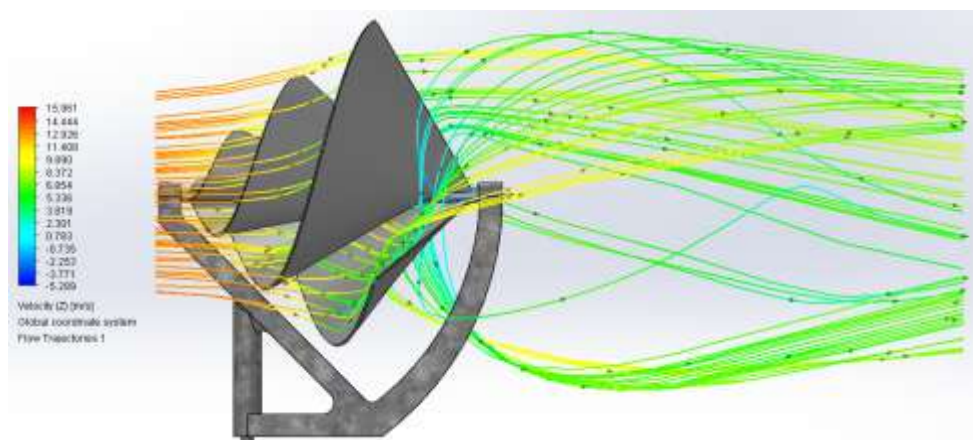


Figura 35. Vista lateral del paso de viento a 13.5 m/s .

Para determinar la viabilidad energética del SEA se tiene que realizar la contrastación con el sistema implementado por el MINEM, en este caso los sistemas RER 1, para este caso se realizó la simulación del sistema tomando en cuenta los componentes del sistema en este caso: el módulo fotovoltaico, acumulador de energía y controlador/regulador de corriente (Energy box, Figura 36). En la Tabla 11 podemos verificar las características técnicas de los diferentes componentes. En la simulación se usó PVsyst, el cual es un software informático utilizado en todo el mundo para el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos.

Tabla 11

Características técnicas del sistema RER 1.

Componente	Descripción	Características
Modulo Fotovoltaico	Marca	TOPRAY SOLAR
	Modelo	TPS1078(36)-120W-POLY
	Potencia Máxima (Pmax)	120 W (0-3%)
	Voltaje nominal (Vmp)	18.0 V
	Corriente nominal (Imp)	6.66 A
	Voltaje de circuito abierto	22.32 V
	Corriente de corto circuito	7.2 A
	Voltaje máximo del sistema	1000 V
	Condición de prueba	AM1.5, 1000 W / m ² , 25 °C
Acumulador de energía	Tipo	Cristal de plomo
	Capacidad	12 V -100 Ah C100
	Voltaje máximo de ingreso	29 Vcc
	Corriente máximo de ingreso	10 A
Controlador de carga	Potencia Máximo de ingreso	160 W
	CC salida	12 Vcc
	Voltaje de carga profundo	14.4 Vcc
	Voltaje de mantenimiento	13.7 Vcc

En el ensayo del sistema fotovoltaico aislado se tomó como referencia la misma ubicación del centro poblado de Mayupampa y tomando los componentes RER 1, en los resultados obtenidos (Tabla 12) se muestra que hay déficit de energía de 62.80 kWh al año (Figura 37), el informe completo se encuentra en el Anexo 2.

Tabla 12*Resultados energéticos RER 1 - C.P. Mayupampa.*

Meses	Irradiación Global kWh / m^2	Energía solar disponible kWh / m^2	Energía Faltante kWh	Energía suministrada al usuario kWh	Necesidad energética usuario kWh	Fracción solar
Enero	162.8	12.47	6.92	11.81	18.72	0.63
Febrero	151.2	12.53	5.63	11.28	16.91	0.67
Marzo	163.7	13.46	6.36	12.37	18.72	0.66
Abril	157.8	14.08	5.09	13.04	18.12	0.72
Mayo	164.9	15.79	3.86	14.87	18.72	0.79
Junio	155.7	16.29	2.9	15.21	18.12	0.84
Julio	161.2	15.63	4.41	14.31	18.72	0.76
Agosto	169.6	15.65	3.77	14.96	18.12	0.79
Setiembre	174.9	14.00	5.25	12.87	18.72	0.71
Octubre	183.2	13.84	5.99	12.73	18.12	0.68
Noviembre	181.8	13.46	5.69	12.42	18.72	0.69
Diciembre	175.1	12.83	6.92	11.80	18.12	0.63
AÑO	2001.9	170.02	62.80	157.67	220.46	0.72

Realizando la comparación para ambos sistemas, el establecido y ejecutado de los sistemas RER 1 y el sistema eólico aislado RESPECT modelo AWM-1500D, se determinó que el SEA es superior al SFV ya que se tiene una diferencia de 408.22 $kWh / año$ mientras que el SEA obtiene 170.02 $kWh / año$, con una diferencia del 238.2 $kWh / año$ a favor del SEA (ver Figura 38).

**Figura 36.** Energy Box del SFD RER 1.

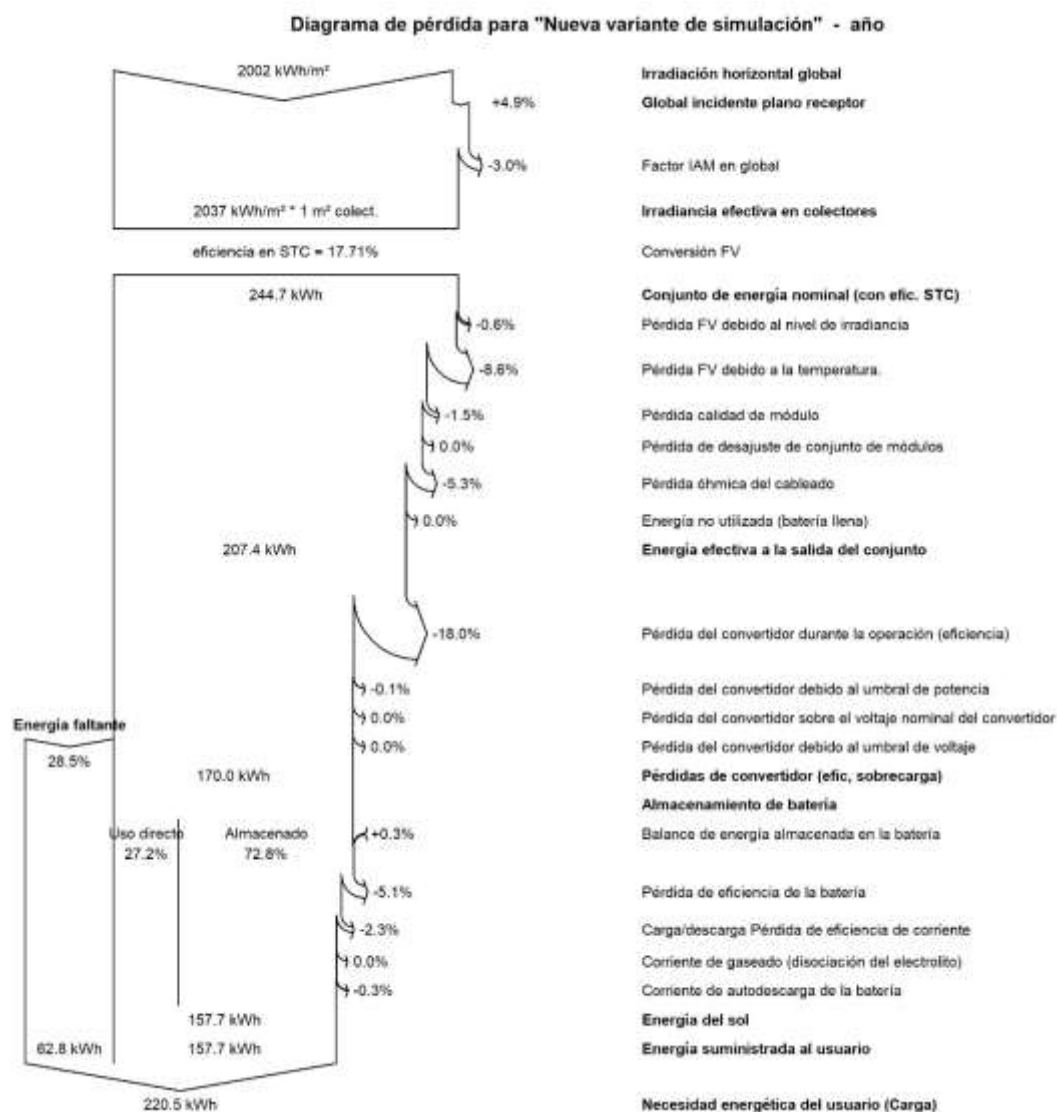


Figura 37. Déficit de energía del SFV RER 1 C.P. Mayupampa.

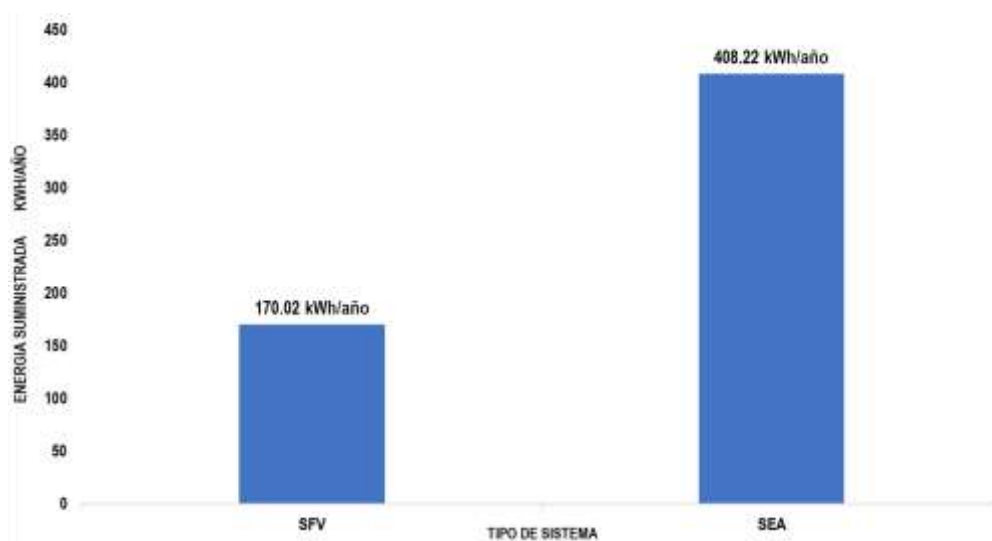


Figura 38. Energía suministrada en kWh/año por tipo de sistema.

La Tabla 13 establece los principales componentes del sistema eólico aislado, igualmente se presentan las fichas técnicas en el Anexo 3.

Tabla 13

Componentes del sistema eólico aislado.

Componente	Descripción	Características técnicas
AEROGENERADOR	Potencia eléctrica	500.00 W
RESPECT AWM-1500D	Área de rotor	1.77 m ²
	Velocidad de arranque	3.00 m/s
RITAR DG12-200	Tipo	Gel de ciclo profundo
	Capacidad	12 Vcc -200 Ah
CONTROLADOR	Voltaje de arranque	14.5 V
JECTSE 12/24V	Voltaje de frenado	29 V
300/600W	Voltaje nominal	12/24 V
	Grado de protección	IP 67
	Voltaje de entrada	12.00 Vcc
INVERSOR PHOENIX	Potencia de Salida	500.00 VA
DC/AC 12V 500W	Potencia Pico de Salida	900.00 W
	Tensión/frecuencia CA salida	230VCA - 60Hz +/- 0,1%

El diagrama de flujo del sistema eólico aislado se muestra en la Figura 39, el plano del diagrama unifilar y el diagrama eléctrico del sistema se establecen en el Anexo 4.

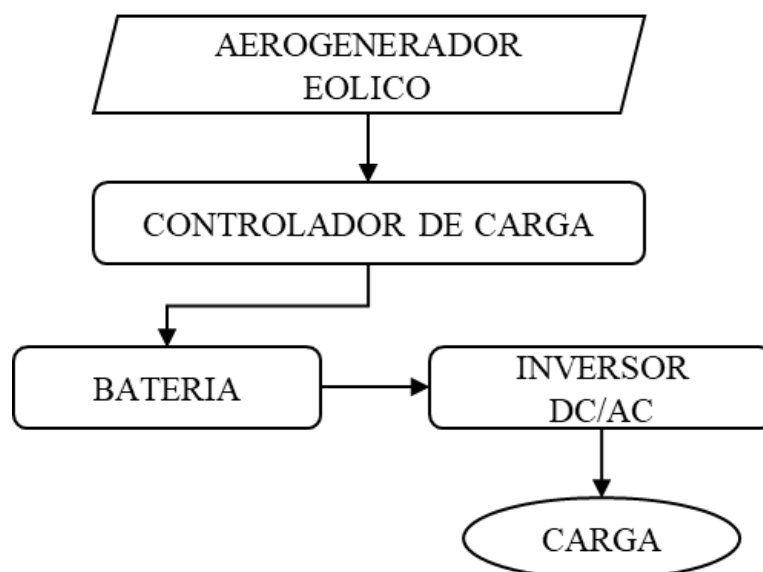


Figura 39. Diagrama de flujo del sistema eólico aislado.

3.7 Análisis económico del SEA

El análisis económico de la PCH Accopata permitirá determinar la viabilidad de su implementación en el tiempo. Para ello, se emplearán como herramientas de cálculo el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), cuyos parámetros se determinan a partir del valor de la inversión inicial.

3.7.1 Inversión de la implementación del SEA

El monto económico por unidad de instalación del sistema es de S/. 8,882.13 (ocho mil ochocientos ochenta y dos y 13/100 nuevos soles) (ver Anexo 5), los cuales están divididos en las siguientes partidas con conceptos tales como:

- Equipos
- Mano de obra
- Materiales
- Componente civil
- Transporte
- Personal

El objetivo de este análisis económico es determinar si la ejecución del proyecto es conveniente para la sociedad en su conjunto mediante sus indicadores, para determinarlos se empleará la tasa social de descuento como 8% ya que la vida útil del sistema eólico es de 20 años, dato otorgado por el ministerio de economía y finanzas (MEF) mediante el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (INVIERTE.PE). esta determinación se da en consecuencia de que si bien es cierto la investigación académica es fundamental para generar conocimiento, un proyecto de inversión pública busca utilizar ese conocimiento para generar beneficios concretos para la población.

En la evaluación de un proyecto de inversión que tiene un enfoque social prima la apreciación de los beneficios y costos para la sociedad maximizando el bienestar colectivo, así mismo, en esta evaluación de social se utilizan los precios sociales. Los parámetros para determinar los indicadores económicos se contemplan en la Tabla 14.

Para determinar el costo de la energía se tomará como referencia los montos facturados de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red (RER 1) por la empresa ERGON Perú, tomando en cuenta que el encargo especial entre el Ministerio De Energía y Minas y las empresas de distribución eléctricas es de 15 años (D.S. 036-2014-EM), tomara los montos promedios facturados y estimados desde el 2018 al 2032, teniendo como resultado una facturación anual promedio de S/ 834.43 y como resultado de 15 años un total de S/. 12,516.43 (ver Figura 40). El precio unitario contemplado en el recibo RER 1 es de S/ 6.71 por kWh (ver Anexo 06).

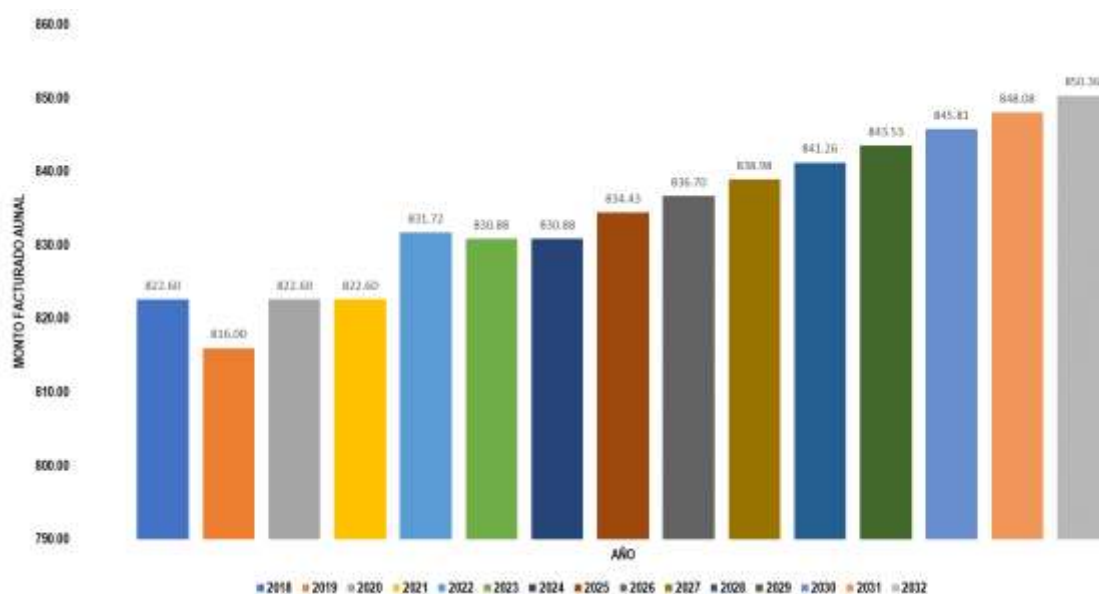


Figura 40. Diagrama de flujo del sistema eólico aislado.

Tabla 14

Parámetros para determinar el VAN, TIR, PRI.

Parámetros	Unidad	Valor
Potencia del SEA	w	200.00
Potencia del Inversor	W	500.00
Inversión por unidad de sistema	S/.	8,882.13
Productividad	kWh/año	408.22
Tasa social de descuento	%	8.00
Costo de la energía	S/. /kWh	6.71
Tiempo de vida	años	20.00

3.7.2 Valor Actual Neto (VAN)

Mete (2014), define al Valor Actual Neto como: “el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos”.

El tratamiento a emplear es realizar el descuento los flujos de efectivo ajustados utilizando la tasa de descuento elegida para obtener sus valores actuales. Luego, reste el costo de inversión inicial de la suma de los valores actuales de los flujos de efectivo que se espera percibir.

Si el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es positivo, indica que se espera que el proyecto genere un rendimiento superior a la tasa de descuento y puede considerarse financieramente viable. Por el contrario, si el VAN es negativo, sugiere que se espera que el proyecto produzca un rendimiento inferior a la tasa de descuento y puede que no sea económicamente factible, su expresión matemática se define como:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+TSD)^n} \quad (5)$$

Donde:

Q_n : Flujo de caja.

I_0 : Valor de desembolso inicial de la inversión.

n : Número de años considerados.

TSD : Tasa de expectativa.

3.7.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es uno de los criterios utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Rocabert (2007) define a la TIR como: “el crecimiento del capital en términos relativos y determina la tasa de crecimiento del capital por período”. Nos da una medida relativa de la rentabilidad dada en porcentaje, más aún, Taco & Gutierrez (2018) indican que considerar a la TIR como medida de rentabilidad podría ocasionar que la toma de decisiones en una inversión sea incorrecta; de hecho, en base a estudios realizados indican que entre el VAN y el TIR la mejor medida de rendimiento es el VAN.

El TIR se tiene la siguiente frase algebraica:

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (6)$$

Donde “r” es igual al TIR.

3.7.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El método de Payback es un método de evaluación de inversiones que calcula el tiempo que tarda una inversión en recuperar su costo. Entre las ventajas se encuentra que es fácil de entender y calcular, lo que lo hace útil para tomar decisiones rápidas. Además, se enfoca en la liquidez del proyecto, lo que es importante para entidades públicas que tienen limitaciones de efectivo. Sin embargo, tiene limitaciones en la medición de la rentabilidad y su sesgo contra proyectos a largo plazo. También ignora los flujos de efectivo posteriores al período de recuperación y el valor temporal del dinero. A pesar de las críticas, el método de PayBack sigue siendo ampliamente utilizado.

Es importante tener en cuenta que el PayBack por sí solo no proporciona una medida completa de la rentabilidad de un proyecto. No tiene en cuenta los flujos de efectivo generados después del período de recuperación, ni considera la tasa de descuento o el valor temporal del dinero. Por lo tanto, es recomendable utilizar el PayBack en conjunto con otras métricas de evaluación, como el Valor Actual Neto (VAN) o la tasa interna de retorno (TIR), para obtener una imagen más completa de la rentabilidad y viabilidad del proyecto.

La siguiente expresión representa la fórmula del PRI:

$$PRI = a + \frac{(b-c)}{d} \quad (7)$$

Donde:

- a : Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.
- b : Inversión inicial.
- c : Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión
- d : Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados del sistema energético

Al analizar el estudio de la viabilidad del sistema energético eólico aislado para cubrir la demanda energética básica de una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa, distrito de Patambuco se determinó que el recurso eólico en Mayupampa es suficiente para cubrir la demanda energética básica de una vivienda unifamiliar, así mismo, en la Tabla 15 se establece los principales factores que resuelven que el SEA posee una sólida viabilidad técnica. En consecuencia, con la implementación del sistema de energía renovable no convencional eólico, se cumple el objetivo general.

Tabla 15

Resultados del sistema energético.

Descripción	Unidad de medida	Valor
Velocidad media del viento	m/s	5.015
Recurso energético	W/m^2	113.77
Aerogenerador a emplear	RESPECT AWM-1500D	
Diámetro de rotor	m	1.50
Energía eléctrica producida	$kWh/año$	408.22
Energía almacenada máxima aprovechable	$kWh/día$	2.40

4.2 Resultado del análisis del recurso eólico

4.2.1 Resultados de los principales parámetros del recurso eólico

Con la estimación del recurso eólico en el centro poblado de Mayupampa se resuelve la factibilidad en la utilización de sistemas eólicos aislados de la red en zonas tropicales. Así mismo, los principales parámetros resultan favorables e idóneos para el alcance del objetivo específico 01.

En la Tabla 16, se tiene un resumen de los factores como la frecuencia, factor de forma, factor de escala y demás parámetros que resuelven la validez del presente estudio de investigación.

Tabla 16*Resultados de los principales parámetros del recurso eólico.*

Descripción	Unidad de medida	Valor
Frecuencia	%	Max 10 NE Min 30 NE
Factor de forma	-	1.82
Factor de escala	m/s	5.65
Perfil de cizalladura	α	0.236
Densidad de aire	kg/m^3	0.843
Velocidad media	m/s	5.015
Velocidad máxima	m/s	13.25
Potencial eólico	W/m^2	113.77

4.3 Resultados de la simulación CFD del aerogenerador

La elección del aerogenerador eólico de baja potencia RESPECT AWM-1500D se en razón del requerimiento de la evaluación de diversos criterios técnicos. La velocidad del viento y la altura del soporte son claves para su viabilidad. La potencia nominal debe cubrir la demanda energética del usuario. Se considero el aerogenerador de eje horizontal con un diámetro de rotor de 1.5 m, la necesidad

Al desarrollar la simulación CFD del aerogenerador comercial de tipo Off-Grid de la marca RESPECT modelo AWM-1500D se realizó el estudio del comportamiento del viento mediante con Flow Simulation, se evaluó el comportamiento de la presión en el rotor induciendo la velocidad mínima desde $2.7 m/s$ hasta $13.5 m/s$ donde el material de Plástico reforzado con fibra de vidrio del rotor no sufre ninguna fatiga por el esfuerzo cortante (ver Tabla 17), por lo tanto, se resuelve el objetivo específico número 02.

Tabla 17*Resultados Comportamiento del rotor - Presión VS velocidad.*

Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
2.70	65984.44
5.02	65934.02
13.5	66012.94

4.4 Resultados del análisis económico

Con la implementación del SEA se puede obtener hasta 408.22 *kWh/año*, para determinar la viabilidad se estimará el ahorro económico tomando en cuenta la facturación anual de los SFV de tipo RER 1 establecido en el contrato de servicio para el suministro de electricidad con recursos energéticos renovables en áreas no conectadas a red y la fijación del cargo RER autónomo dado por el consejo directivo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) desde 2018-2024 (ver Tabla 18), siendo los dos últimos años dada a conocer de manera previa en audiencias públicas.

Teniendo en cuenta la energía disponible para el usuario 1.2 *kWh/día* (con descarga del 50% de capacidad del acumulador de energía) con 34.02 *kWh/mes*, se realizó un recalcu de monto facturado para el usuario final ya que con el SFV RER 1 se realiza un pago no mayor a los S/.10.00 siendo subvencionado el resto del monto (80%) por el FOSE, este recalcu haciende a un aumento del 15% por lo cual los nuevos montos a pagar por el usuario será entre S/.11.74 a S/.16.38, tales montos no repercute de manera significativa a la economía del usuario.

Tabla 18

Cargo RER Autónomo para Áreas No Conectadas a Red (S//mes) - con IGV.

Zona	Año	Tipo 1 – 85 Wp S/ /mes
Sur	2018	58.70
	2019	62.20
	2020	61.28
	2021	67.35
	2022	65.50
	2023	68.16
	2024	63.83

Se evaluará el incremento del 15% anual del cargo RER para la evaluación de los indicadores económicos del sistema eólico aislado, así mismo, se estimará el monto facturado a pagar del usuario después de realizar el descuento FOSE (ver tabla 19). Del mismo modo, en la Tabla 20 se presenta los ingresos y egresos del SEA C.P. Mayupampa.

Tabla 19*Pago mensual del usuario por el SEA.*

Año	Cargo RER Autónomo - Anual	Incremento por la implementación del SEA (15%)	Monto a pagar por el usuario (S/.)
2025	820.38	943.44	13.67
2026	833.90	958.98	13.90
2027	847.41	974.53	14.12
2028	860.93	990.07	14.35

Tabla 20*Ingresos y egresos SEA C.P. Mayupampa.*

Año	Egresos Operación y mantenimiento (S/.)	Ingresos Monto por costo de Energía (S/.)	Flujo de caja (S/.)
			-8882.13
1	24.30	834.36	810.06
2	25.75	884.08	858.33
3	25.37	871.00	845.63
4	27.88	957.38	929.49
5	27.12	931.02	903.90
6	28.22	968.83	940.61
7	26.43	907.28	880.85
8	28.30	971.74	943.44
9	28.77	987.75	958.98
10	29.24	1003.76	974.53
11	29.70	1019.77	990.07
12	30.17	1035.78	1005.61
13	30.63	1051.79	1021.16
14	31.10	1067.80	1036.70
15	31.57	1083.81	1052.24
16	32.03	1099.82	1067.79
17	32.50	1115.83	1083.33
18	32.97	1131.84	1098.87
19	33.43	1147.85	1114.42
20	33.90	1163.86	1129.96

De acuerdo a los valores de los indicadores económicos de la Tabla 21 podemos evidenciar que el VAN es positivo de forma mínima (S/.385.25), aunque ligeramente, en este caso particular, donde el VAN es cercano a cero, el cual indica que es económicamente viable. Al resolver la TIR (1.04), el cual, en este caso es mayor a la tasa de descuento, se presenta una situación positiva. Finalmente, se resuelve que el periodo de recuperación de la inversión es de 9.83 años (ver Figura 41).

El proyecto presenta beneficios sociales ya que existe la posibilidad de permitir la mejora del servicio al acceso de energía eléctrica y así incrementar su nivel de bienestar productivo, es decir, son beneficios que se observan de manera indirecta, en síntesis, con la implementación de los SEA poseen la utilización de artefactos en corriente alterna (a diferencia de los sistemas RER 1) y un mayor rango de utilización de energía

En conclusión, se resuelve que el proyecto genera un retorno justo igual al costo de capital, en otras palabras, no genera ganancias adicionales sobre la tasa de descuento, pero demuestra su viabilidad económica con los indicadores. De esta manera se logra el alcance del objetivo específico 03.

Tabla 21

Resultados de los indicadores económicos.

Indicador Económico	Unidad	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	S/.	385.25
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	8.50
Relación Beneficio Costo	B/C	1.04
Periodo de recuperación de la inversión	años	9.83

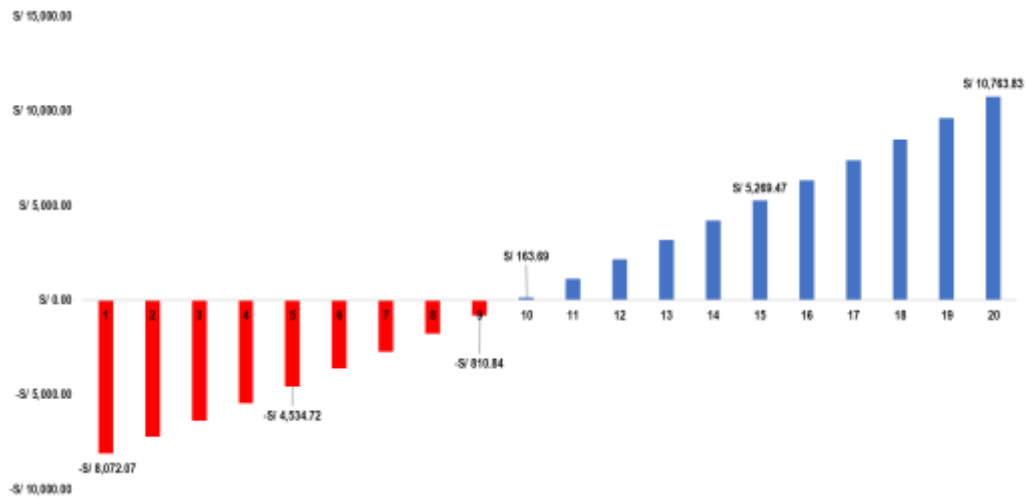


Figura 41. Periodo de recuperación de la inversión del SEA C.P. Mayupampa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el estudio realizado de pre factibilidad de un sistema energético con recurso eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar en el centro poblado de Mayupampa del distrito de Patambuco se resuelve factible a la viabilidad del sistema energético eólico aislado para cubrir la demanda energética básica de una vivienda unifamiliar, el cual es idóneo para cubrir su demanda energética básica, igualmente, con la determinación de los factores del SEA se resuelve que pose viabilidad técnica. Finalmente, el presente estudio evidencia la viabilidad de la utilización de sistemas eólicos aislados de la red en zonas tropicales.

Con la estimación del recurso eólico en el centro poblado de Mayupampa se resuelve que tiene una frecuencia de dirección de viento de 30% del noreste, con una velocidad media de 5.015 m/s , velocidad máxima de 13.25 m/s , potencial eólico de 113.77 W/m^2 , tales valores permiten obtener hasta 408.22 kWh/año de energía disponible para el uso de la vivienda unifamiliar siendo 238.2 kWh/año más que los sistemas RER 1 del Programa masivo fotovoltaico.

La simulación CFD del aerogenerador comercial de tipo Off-Grid de la marca RESPECT modelo AWM-1500D con SOLIDWORKS-Flow Simulation concluye que el rotor del aerogenerador no sufre ningún tipo de fatiga de esfuerzo cortante, el rotor fue sometido a velocidades desde 2.7 m/s hasta 13.5 m/s validando de esta manera el material empleado que es Plástico reforzado con fibra de vidrio.

Al realizar el análisis económico, se resuelve que el sistema eólico aislado resulta viable económicamente, ahora bien, el SEA genera un retorno justo igual al costo de capital, con una inversión por unidad de sistema de S/. 8,882.13 tomando una tasa de interés social de 8% y sus indicadores económicos tales como VAN= S/. 385.25, TIR=8.5%, B/C=1.04, PRI=9.83 años. El SEA resulta atractivo ya que presenta beneficios sociales (mayor energía eléctrica disponible) permitiendo la mejora del servicio al acceso de energía eléctrica y así incrementar su nivel de bienestar.

5.2 Recomendaciones

En el estudio del recurso eólico del sistema eólico aislado de la red para una vivienda unifamiliar, la recolección de datos de viento, dirección, temperatura se realizó de manera directa e indirecta, se recomienda realizar la medición de datos con un equipo estacionario (mínimo 12 meses) para obtener valores exactos.

Se recomienda la implementación del SEA piloto, de esta manera como una evaluación piloto para una evaluación detallada de factores tales como: el costo de la instalación y operación de las turbinas eólicas, la demanda de energía local y la posibilidad de conexión a la red eléctrica, de ser el caso, involucrar a la comunidad local en el proceso de planificación y desarrollo del proyecto.

Se recomienda la investigación y desarrollo del aerogenerador de Arquímedes ya que representa una tecnología innovadora con un gran potencial para contribuir al desarrollo sostenible del Perú la implementación del SEA a través de políticas públicas y programas de incentivos puede ayudar a diversificar la matriz energética del país y promover el acceso a energía limpia en zonas rurales y aisladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acar, C., & Agelin, M. (2018). *Comprehensive Energy Systems* (D. Ibrahim, Ed.; 1st ed.).
- Alianza de Energía y Clima de las Américas (ECPA). (2023). *Promoviendo la cooperación para un futuro energético sostenible en las Américas*. <https://ecpamericas.org/>
- Aljeddani, S. M. A., & Mohammea, M. A. (2023). A novel approach to Weibull distribution for the assessment of wind energy speed. *Alexandria Engineering Journal*, 78, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.07.027>
- Burton, T., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2021a). *Wind Energy Handbook* (3rd ed.). WILEY.
- Cherni, J. A., & Preston, F. (2007). Rural electrification under liberal reforms: the case of Peru. *Journal of Cleaner Production*, 15(2), 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.029>
- Contreras, R., René, L., & Pavez, S. (2021). *Informe regional sobre el ODS 7 de sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe* (CEPAL). www.cepal.org/apps
- Cruz, Y., Valdés, P., & Laffita, A. (2020). Computational Fluid Dynamics: Review and Analysis of Applications in Engineering. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(4), 93–104.
- CULTS. (2023, 19 de diciembre). *Turbina eólica, basada en la hélice de Arquímedes [Fotografía]*. <https://cults3d.com/>
- Dewi, T., Risma, P., & Oktarina, Y. (2019). A Review of Factors Affecting the Efficiency and Output of a PV System Applied in Tropical Climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258, 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/258/1/012039>
- Díaz, J. (2021, 7 de Febrero). *¿Cómo se mide el viento? [Imagen]*. <https://www.tiempo.com/>
- Dirección General de Electrificación Rural (DGER). (2020). *Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER)*. MINEM.
- Energy.Gov. (2017, 6 de Julio). *The Power of Wind [Imagen]*. <https://www.energy.gov/eere/wind/explore-wind-turbine>
- Francis, S., Umesh, V., & Shivakumar, S. (2021). Design and Analysis of Vortex Bladeless Wind Turbine. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5584–5588. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.469>

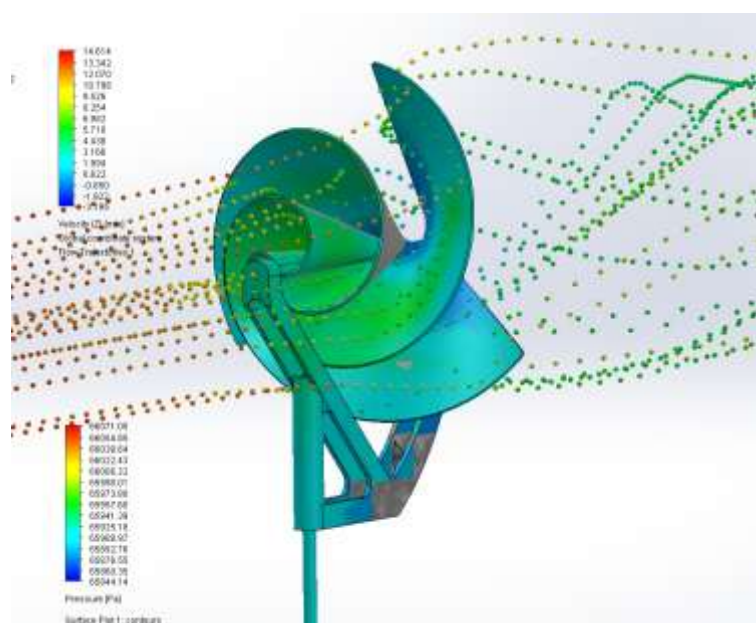
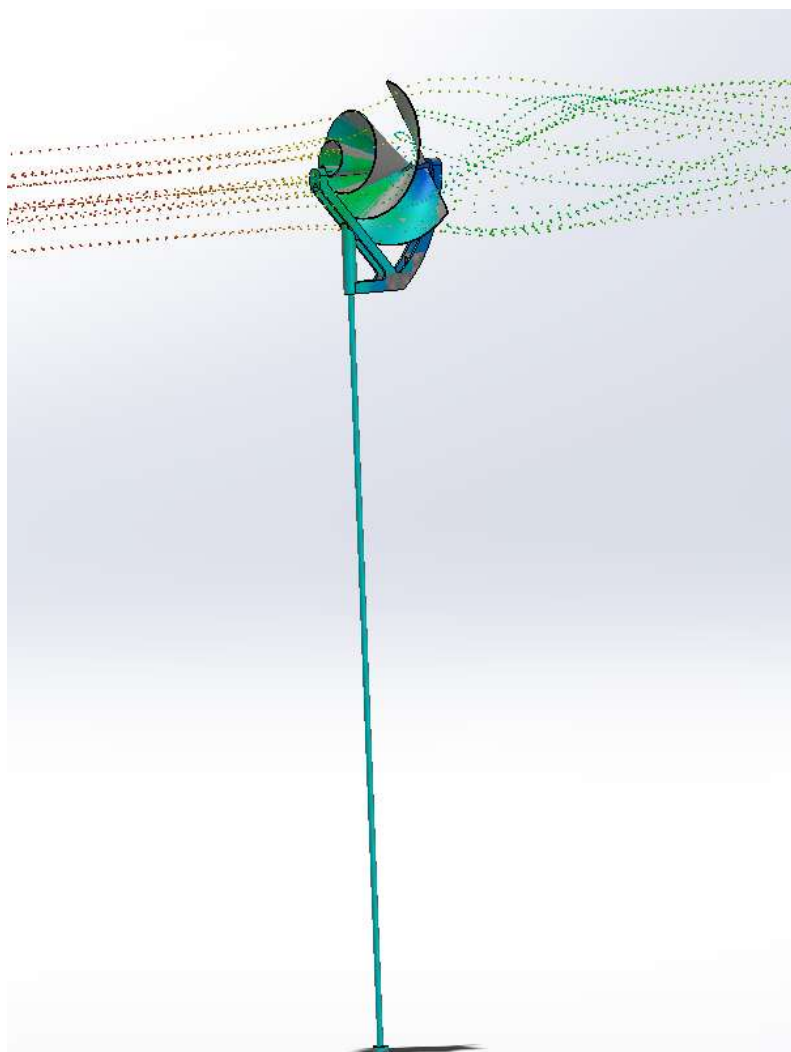
- Franco, I. D., Brayan, T., & Melgarejo, M. (2020). *Desarrollo de una turbina eólica híbrida vertical de baja potencia [Tesis de pregrado]*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Gasch, R., & Twele, J. (2012). *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*. (2nd ed.). Springer.
- Instituto nacional de estadística e informática. (2022). *Acceso a los servicios básicos en el Perú 2021*. INEI.
- Jordán, J. (2009). *Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en su asentamiento humano para San Juan de Marcona [Tesis de pregrado]*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Juanpera, M., Domenech, B., Ferrer-Martí, L., Garzón, A., & Pastor, R. (2021). Renewable based electrification for remote locations. Does short-term success endure over time? A case study in Peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111177>
- Kamran, M. (2022). *Fundamentals of Smart Grid Systems* (1st ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-02193-3>
- Li, S. W., Tse, K. T., Weerasuriya, A. U., & Chan, P. W. (2014). Estimation of turbulence intensities under strong wind conditions via turbulent kinetic energy dissipation rates. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 131, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2014.04.008>
- Lujano, J. M., Bernal, J. L., Dufo, R., & Domínguez, J. A. (2011). *Forecast of Hourly Average Wind Speed Using ARMA Model with Discrete Probability Transformation* (pp. 1003–1010). https://doi.org/10.1007/978-3-642-21765-4_125
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2004). Wind energy explained theory, design and application. In *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION* (2nd ed., Issue 2). WILEY. www.wiley.com/go/wind_energy
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. In *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION* (2nd ed., Issue 2). WILEY. www.wiley.com/go/wind_energy

- Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Decreto Supremo N° 064-2010-EM*. Diario Oficial El Peruano.
- Murillo, J., & Cabezas, C. (2017). *Evaluación de materiales alternos para la fabricación de pequeñas turbinas eólicas en Colombia [Tesis de pregrado]*. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
- Narkwatchara, P., Ratanatamskul, C., & Chandrachai, A. (2020). Effects of particulate matters and climate condition on photovoltaic system efficiency in tropical climate region. *Energy Reports*, 6, 2577–2586. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.09.016>
- NASA Image Collection. (2021, 2 de Setiembre). *Dispersómetro SeaWinds [Imagen]*. <https://www.alamy.es/>
- OLADE. (2022). *Generación Eléctrica por fuente*. <https://sielac.olade.org/>
- OMPI. (2024, April 10). *Modelo Vortex Tacoma [Fotografía]*. www.wipo.int
- Ordúz, O., & Suárez, J. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia [Tesis de pregrado]*. Universidad Industrial De Santander.
- Pérez, I. A., García, M. A., Sánchez, M. L., & de Torre, B. (2004). Analysis of height variations of sodar-derived wind speeds in Northern Spain. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92(10), 875–894. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2004.05.002>
- Refaie, A. G., Abdel Hameed, H. S., Nawar, M. A. A., Attai, Y. A., & Mohamed, M. H. (2021). Qualitative and quantitative assessments of an Archimedes Spiral Wind Turbine performance augmented by A concentrator. *Energy*, 231, 121128. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121128>
- Richmond, G., Montenegro, M., & Otárola, C. (2020). Revisión de los perfiles aerodinámicos apropiados para turbinas eólicas de eje horizontal y de pequeña escala en zonas boscosas. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(1), 233–251. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a22>
- SkaySails Power. (2020). *Airborne Wind Energy Systems [Fotografía]*. https://skysails-group.com/wp-content/uploads/2021/05/SkaySails_Power_Imagebrochure_28-02-2021-1.pdf

- Solari, G. (2019). *Wind Science and Engineering: Origins, Developments, Fundamentals and Advancements* (1st ed.). Springer.
- SrinivasaRao, D., S., & K., K. N. (2018). Design and Analysis of Archimedes Aero-Foil Wind Turbine Blade for Light and Moderate Wind Speeds. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering*, 5(8).
- Sverdrup, K., & Armbrust, V. (2008). *Introduction to the World's Oceans* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Universidad de Delft. (2013, March 15). *Sistema EWICON [Fotografía]*. <https://www.mecanoo.nl/Projects/project/61/Ewicon>
- Villarubia, M. (2011). *Ingeniería de la Energía Eólica* (1st ed.). Marcobombo.
- Yancachajlla, U., Vilca, O. A., & Borja, M. G. (2022). Diseño Aerodinámico de la Pala de una Mini Turbina de Eje Horizontal para Bajas Velocidades del Viento para la Zona Altoandina del Perú. *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON55245.2022.9939673>
- Yizhaq, H., Xu, Z., & Ashkenazy, Y. (2020). The effect of wind speed averaging time on the calculation of sand drift potential: New scaling laws. *Earth and Planetary Science Letters*, 544. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116373>

ANEXOS

Anexo 1 - Turbina eólica RESPECT AWM



Anexo 2 Informe de simulación energética PVsyst sistema RER 1

PVsyst - Simulation report

Standalone system

Project: TESIS_IRINA

Variant: Nueva variante de simulación

Standalone system with batteries

System power: 120 Wp

Patambuco - Perú



Project: TESIS_IRINA

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.6

VC0, Simulation date:
08/04/24 19:10
with V7.4.6

Project summary

Geographical Site

Patambuco

Perú

Situation

Latitude -14.36 °S

Longitude -69.62 °W

Altitude 3317 m

Time zone UTC-5

Project settings

Albedo 0.20

Weather data

Patambuco

NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Sintético

System summary

Standalone system

PV Field Orientation

Fixed plane

Tilt/Azimuth 15 / 0 °

Standalone system with batteries

User's needs

Daily household consumers

Constant over the year

Average 0.6 kWh/Day

System information

PV Array

Nb. of modules

1 unit

Pnom total

120 Wp

Battery pack

Technology

Lead-acid, sealed, Gel

Nb. of units

1 unit

Voltage

12 V

Capacity

100 Ah

Results summary

Useful energy from solar 157.67 kWh/year

Missing Energy 62.79 kWh/year

Excess (unused) 0.00 kWh/year

Specific production 1314 kWh/kWp/year

Available solar energy 170.02 kWh/year

Perf. Ratio PR 62.57 %

Solar Fraction SF 71.52 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	4
Main results	5
Loss diagram	6
Predef. graphs	7



PVsyst V7.4.6

VC0, Simulation date:
08/04/24 19:10
with V7.4.6

General parameters

Standalone system

PV Field Orientation

Orientation

Fixed plane

Tilt/Azimuth 15 / 0 °

User's needs

Daily household consumers

Constant over the year

Average 0.6 kWh/Day

Standalone system with batteries

Sheds configuration

No 3D scene defined

Models used

Transposition

Perez

Diffuse

Perez, Meteonorm

Circumsolar

separate

PV Array Characteristics

PV module

Manufacturer

Generic

Model

KPV-120M-36

(Original PVsyst database)

Unit Nom. Power

120 Wp

Number of PV modules

1 unit

Nominal (STC)

120 Wp

Modules

1 strings x 1 In series

At operating cond. (50°C)

Pmpp

106 Wp

U mpp

17 V

I mpp

6.4 A

Controller

Manufacturer

Generic

Model

SmartSolar MPPT 100/15 12V

Technology

MPPT converter

Temp coeff.

-2.7 mV/°C/Elem.

Converter

Maxi and EURO efficiencies

98.0 / 96.0 %

Battery

Manufacturer

Generic

Model

AcmeG 12V 100 F

Technology

Lead-acid, sealed, Gel

Nb. of units

1 Unit

Discharging min. SOC

20.0 %

Stored energy

1.0 kWh

Battery Pack Characteristics

Voltage

12 V

Nominal Capacity

100 Ah (C10)

Temperature

Fixed 20 °C

Battery Management control

Threshold commands as

SOC calculation

Charging

SOC = 0.90 / 0.75

approx.

13.5 / 12.8 V

Discharging

SOC = 0.20 / 0.45

approx.

11.9 / 12.4 V

Total PV power

Nominal (STC)

0.120 kWp

Total

1 modules

Module area

0.7 m²

Array losses

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance

Uc (const)

20.0 W/m²K

Uv (wind)

0.0 W/m²K/m/s

DC wiring losses

Global array res.

44 mΩ

Loss Fraction

1.5 % at STC

Serie Diode Loss

Voltage drop

0.7 V

Loss Fraction

3.7 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction

1.5 %

Module mismatch losses

Loss Fraction

0.0 % at MPP

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.4.6

VC0, Simulation date:
08/04/24 19:10
with V7.4.6

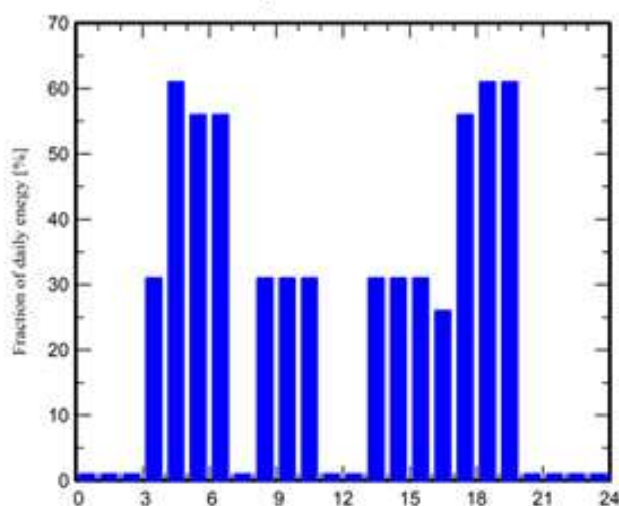
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 0.6 kWh/day

Annual values

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lámparas (LED o fluo)	3	10/lamp	6.0	180
TV / PC / móvil	1	25/app	4.0	100
Electrodomésticos	1	30/app	10.0	300
Consumidores en espera			24.0	24
Total daily energy				604

Hourly distribution





Project: TESIS_IRINA

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.6

VC0, Simulation date:
08/04/24 19:10
with V7.4.6

Main results

System Production

Useful energy from solar 157.67 kWh/year
Available solar energy 170.02 kWh/year
Excess (unused) 0.00 kWh/year

Perf. Ratio PR 62.57 %
Solar Fraction SF 71.52 %

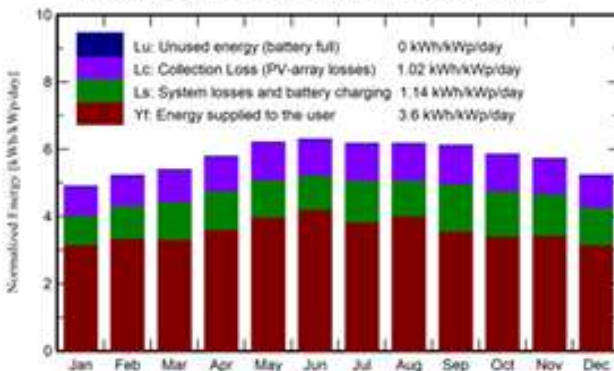
Loss of Load

Time Fraction 0.1 %
Missing Energy 62.79 kWh/year

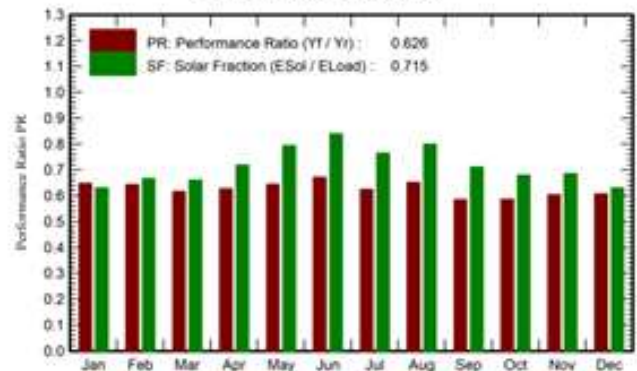
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 90.6 %
Static SOW 91.7 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	162.8	146.0	12.47	0.000	6.917	11.81	18.72	0.631
February	151.2	141.0	12.53	0.000	5.634	11.28	16.91	0.667
March	163.7	162.2	13.46	0.000	6.356	12.37	18.72	0.661
April	157.8	168.6	14.08	0.000	5.085	13.04	18.12	0.719
May	164.9	187.0	15.79	0.000	3.858	14.87	18.72	0.794
June	155.7	183.9	16.29	0.000	2.912	15.21	18.12	0.839
July	161.2	186.4	15.63	0.000	4.410	14.31	18.72	0.764
August	169.6	186.2	15.65	0.000	3.765	14.96	18.72	0.799
September	174.9	178.3	14.00	0.000	5.246	12.87	18.12	0.710
October	183.2	176.0	13.84	0.000	5.994	12.73	18.72	0.680
November	181.8	165.9	13.46	0.000	5.698	12.42	18.12	0.686
December	175.1	156.1	12.83	0.000	6.922	11.80	18.72	0.630
Year	2001.9	2037.4	170.02	0.000	62.795	157.67	220.46	0.715

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
E_Avail Available Solar Energy
EUnused Unused energy (battery full)
E_Miss Missing energy

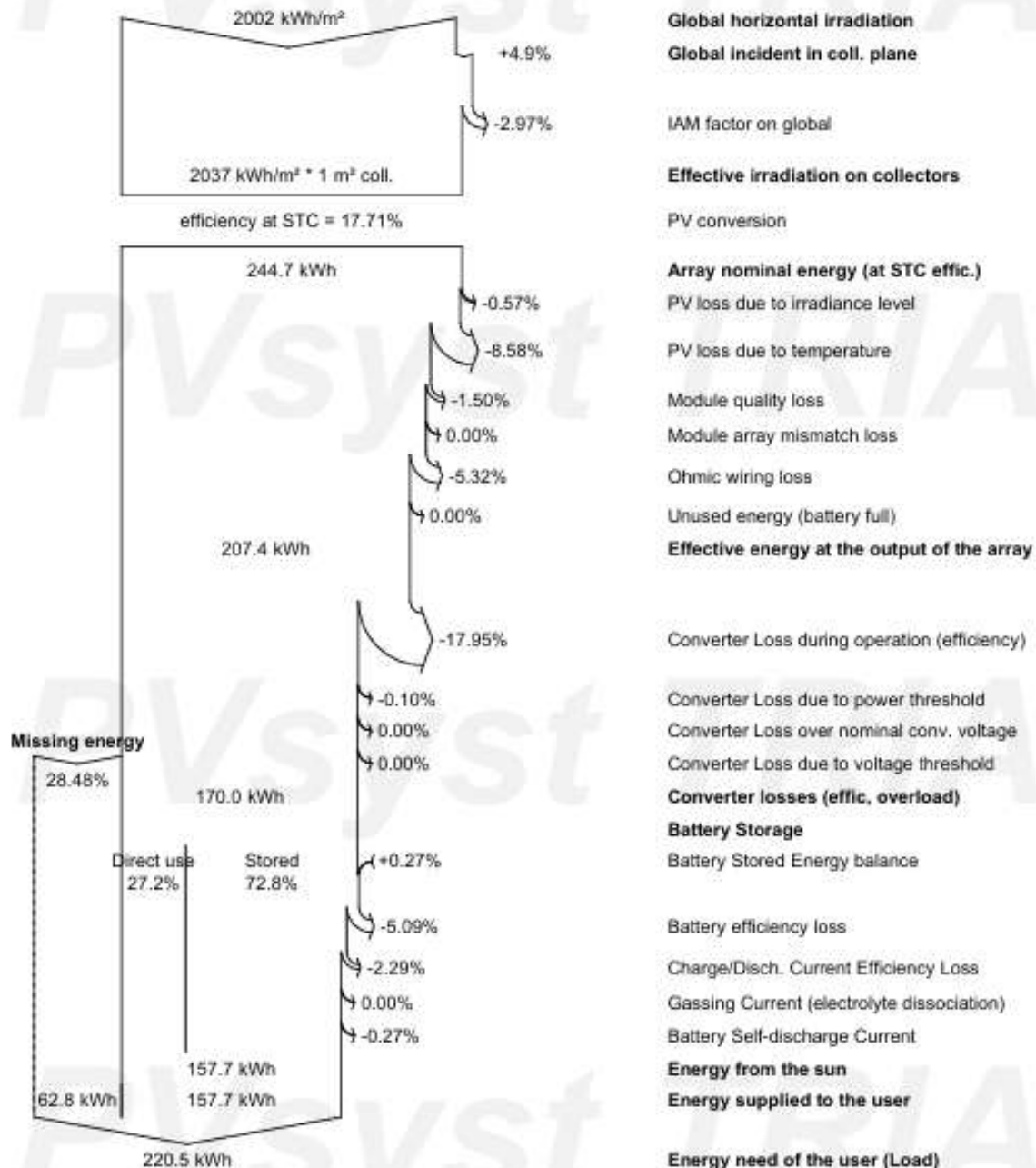
E_User Energy supplied to the user
E_Load Energy need of the user (Load)
SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)



PVsyst V7.4.6

VC0, Simulation date:
08/04/24 19:10
with V7.4.6

Loss diagram



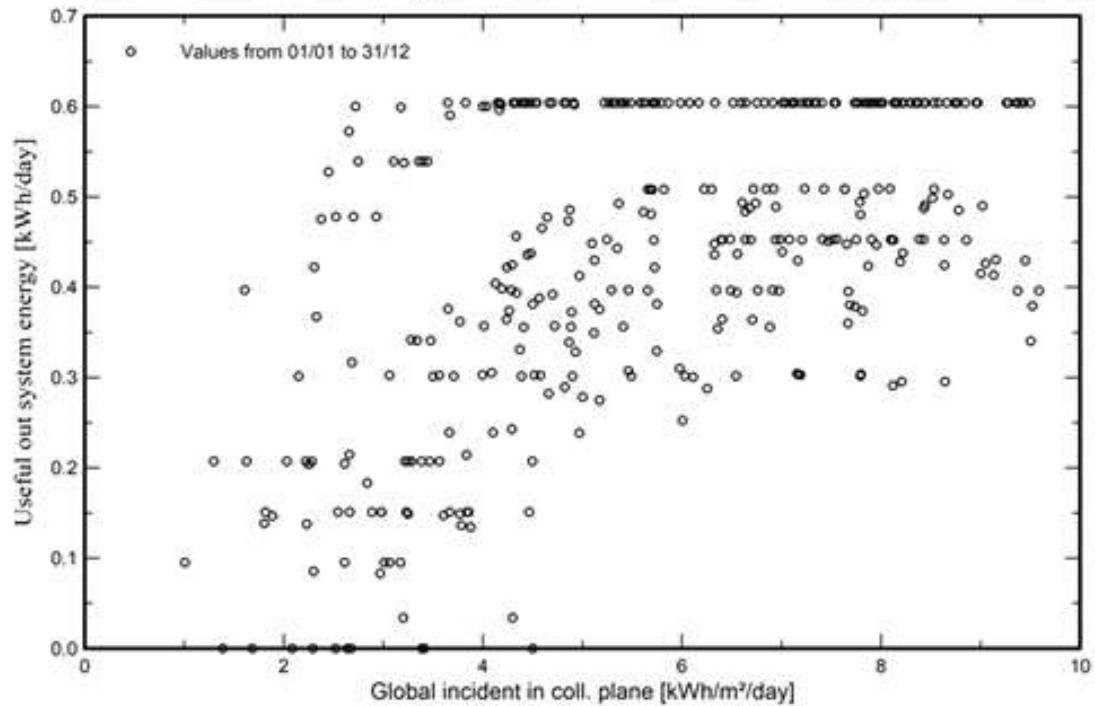


PVsyst V7.4.6

VC0. Simulation date:
08/04/24 19:10
with V7.4.6

Predef. graphs

Diagrama entrada/salida diaria



Anexo 3 Fichas técnicas del sistema eólico aislado.

ARCHIMEDES WIND TURBINE

Energy for you, by you.
A wind turbine everybody can afford!



 **Respect**

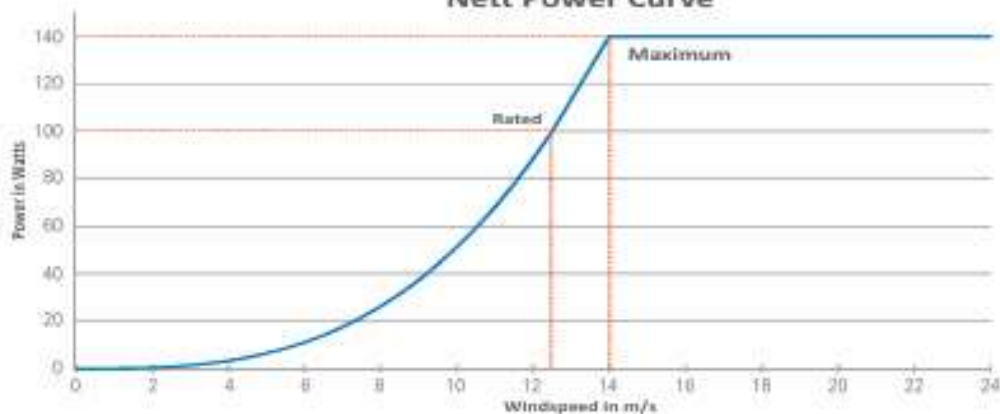
Technical Information Power

THE WIND TURBINE

MODEL NAME		AWM - 750D	AWM - 1500D
POWER	ELECTRIC	100W	550W
	KINETIC	150W	700W
WIND SPEED	CUT IN	3m/s (OPERATING)	
	RATED	12.5m/s	
	CUT OUT	14 m/s	
	SURVIAL	35 m/s	
BLADE RPM	RATED	550	330
	CUT OUT	600	360
SIZE		0.75m(W)×1.1m(L)×1.1m(H)	1.5m(W)×1.9m(L)×1.75m(H)
ROTOR DIAMETER		750 mm	1500 mm
SWEPT AREA		0.44 m ²	1.77 m ²
NET WEIGHT		60Kg	280kg
CONTROL SYSTEM		Mppt control Auto & Manual Braking System	

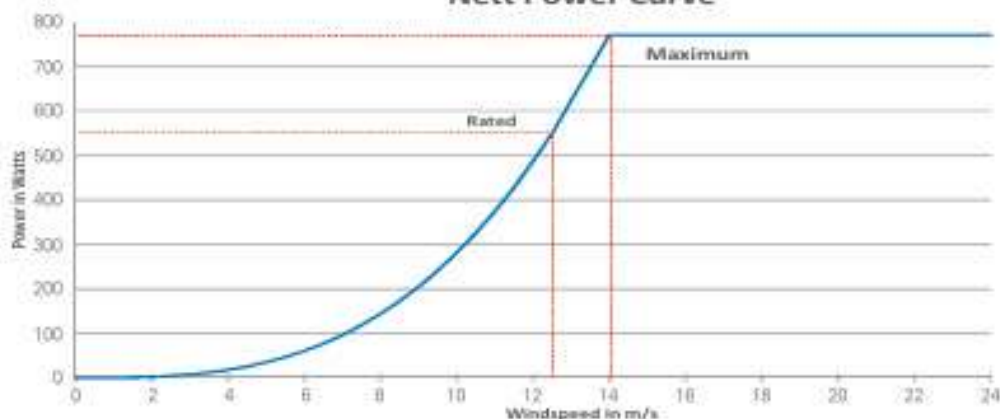
Power Curve

Nett Power Curve



► AWM-750D

Nett Power Curve



► AWM-1500D

Static Wind Loads



AWM-750D

The 0.75 meter diameter with a rated power of 100 w/h and a maximum of 150 w/h



AWM-1500D

The 1.5 meter diameter with a rated power of 550 w/h and a maximum of 700 w/h



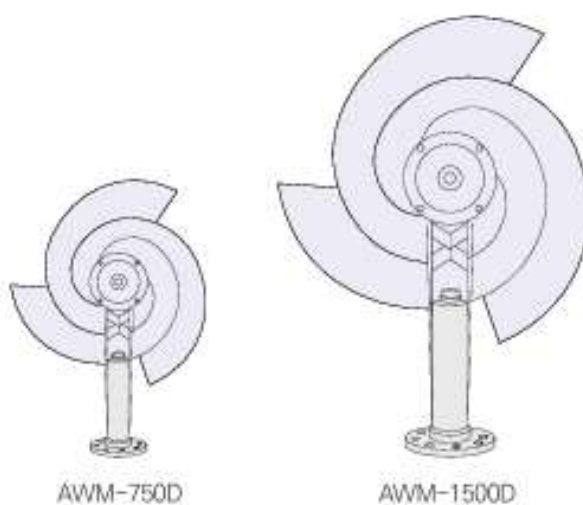
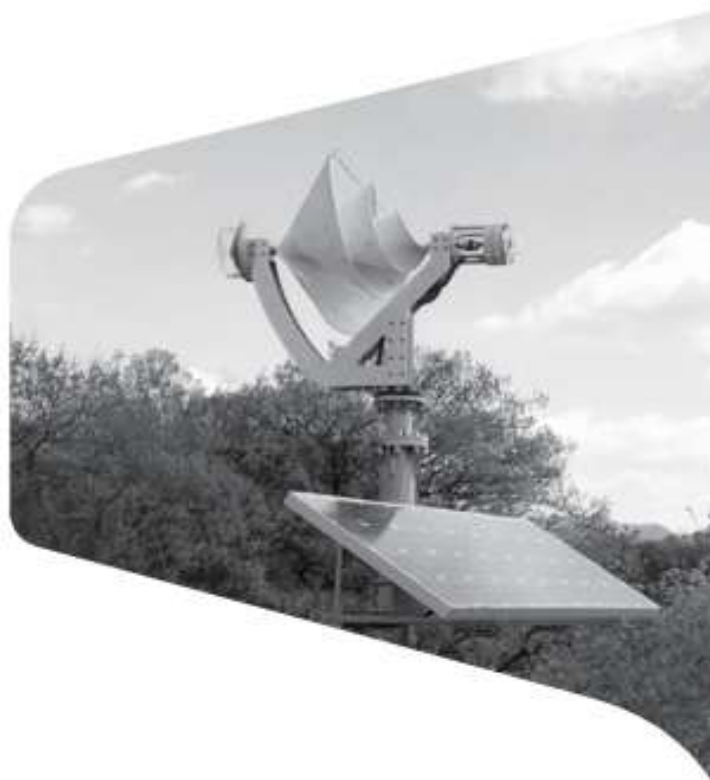
Hybrid Set up with PV

Combined Wind and Solar Energy Systems



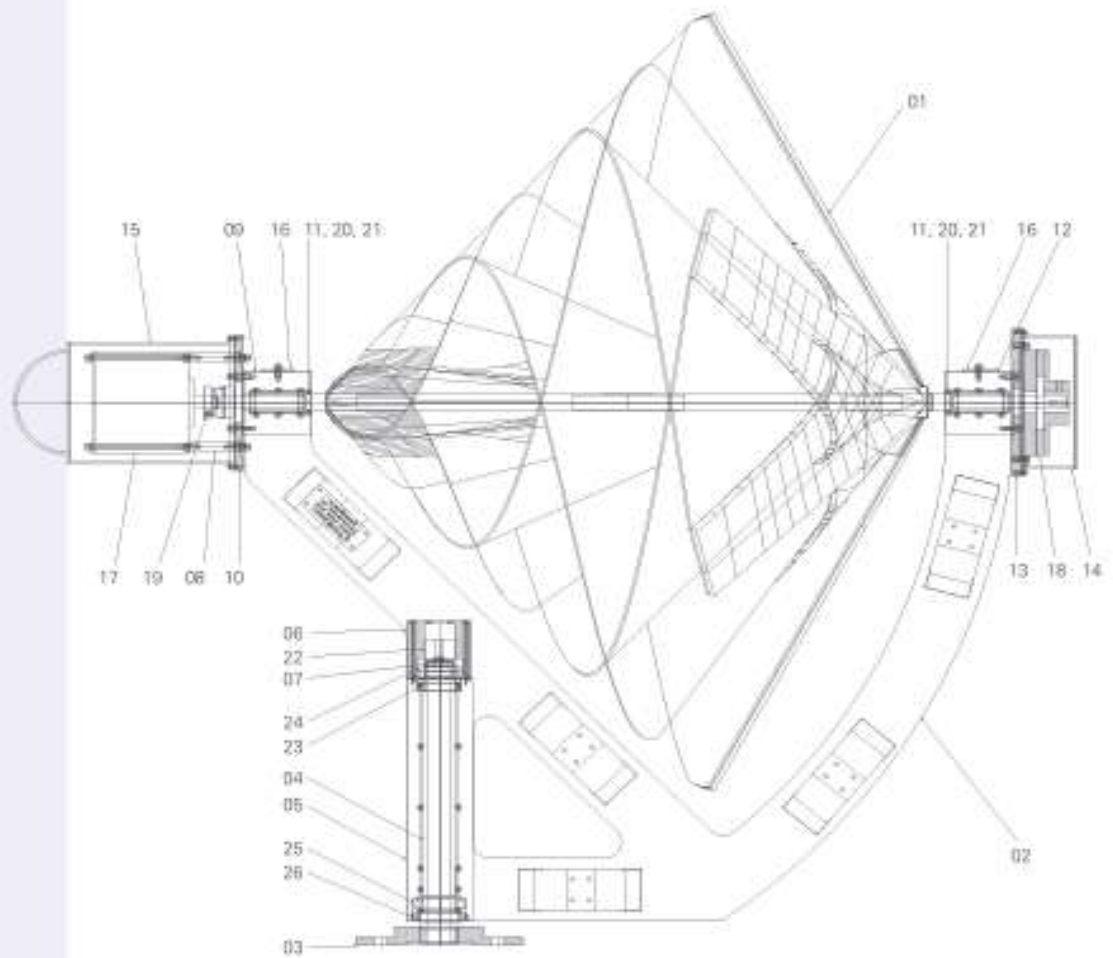
Customizable

Customized products are the one which you can change according to you. In which there is the involvement of the customer in the design of the product.



Division	AWM-750D	AWM-1500D	Unit
Air Density	1.2754	1.2754	kg/m ³
Drag coefficient	0.9	0.9	#
Gust factor	1.5	1.5	#
Maximum windspeed	52.5	52.5	m/s
Cross Area	0.318	1.299	m ²
Maximum Wind Force	755.6	3082.1	Newton

Part Description



Number	Description
1	1.5m AWM Blade
2	Frame
3	Base Plate
4	Yawing Shaft
5	Yawing Shaft Cover
6	Yawing Neck Cover
7	Slip-ring Cover
8	Generator Fixing Shaft
9	Bearing Housing-1
10	Generator Plate
11	Bearing Spacer
12	Bearing Housing-2
13	Brake Plate

Number	Description
14	Brake Cover
15	Generator Cover
16	JIG Plate
17	Generator
18	Brake
19	Coupling
20	Bearing
21	Retainer
22	Slip-ring
23	Bearing
24	Lock Nut
25	Bearing
26	Retainer

Inversores Phoenix

250VA – 1200VA 230V y 120V, 50Hz o 60Hz

www.victronenergy.com



Phoenix 12/375 VE.Direct



Phoenix 12/375 VE.Direct



Puerto de comunicación VE.Direct

El puerto VE.Direct puede conectarse a:

- Un ordenador (se necesita un cable de interfaz VE.Direct a USB)
- Smartphones Apple y Android, tabletas, mackbooks y demás dispositivos (se necesita una mochila VE.Direct a Bluetooth Smart)

Totalmente configurable:

- Niveles de disparo de la alarma y restablecimiento por tensión baja de la batería.
- Niveles de desconexión y reinicio por tensión baja de la batería.
- Desconexión dinámica: nivel de desconexión dependiente de la carga
- Tensión de salida 210 - 245V
- Frecuencia 50 Hz o 60 Hz
- On/off del modo ECO y sensor de nivel del modo ECO

Seguimiento:

- Tensión y corriente de entrada/salida, % de carga y alarmas

Fiabilidad probada

La topología de puente completo más transformador toroidal ha demostrado su fiabilidad a lo largo de muchos años.

Los inversores están a prueba de cortocircuitos y protegidos contra el sobrecalentamiento, ya sea debido a una sobrecarga o a una temperatura ambiente elevada.

Alta potencia de arranque

Necesaria para arrancar cargas como convertidores para lámparas LED, halógenas o herramientas eléctricas.

Modo ECO

En modo ECO, el inversor se pondrá en espera cuando la carga descienda por debajo de un valor predeterminado (carga mínima: 15W). Una vez en espera, el inversor se activará brevemente (ajustable; por defecto: cada 2,5 segundos). Si la carga excede el nivel predeterminado, el inversor permanecerá encendido.

Interruptor on/off remoto

Se puede conectar un interruptor On/Off remoto a un conector bifásico o entre el positivo de la batería y el contacto de la izquierda del conector bifásico.

Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

Para transferir la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Para nuestros inversores de menor potencia recomendamos nuestro conmutador de transferencia automático Filax. El tiempo de conmutación del "Filax" es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.

Disponible con tres tomas de corriente distintas

Schuko



UK



AU/NZ



EC-320
(enchufe macho incluido)



Nema 5-15R



Bornes de tornillo

No se necesitan herramientas especiales para su instalación

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	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont. a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 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 https://www.victronenergy.com/live/ve-direct-phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
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 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	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%				
CARCASA						
Material y color		Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería		Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:		10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	10mm² / AWG8	25/10/10mm² / AWG4/8/8	35/25/25 mm² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC 320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R				
Tipo de protección		IP 21				
Peso		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8,5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)		86 x 165 x 260 3,4 x 6,5 x 10,2	86 x 165 x 260 3,4 x 6,5 x 10,2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4,1 x 8,5 x 12,1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4,6 x 9,1 x 12,9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)
ACCESORIOS						
On/Off remoto		SI				
Conmutador de transferencia automático		Filax				
ESTÁNDARES						
Seguridad		EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC		EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Directiva de automoción		ECE R10-4				
1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 2) Claves de protección: a) cortocircuito de salida b) sobrecarga c) tensión de la batería demasiado alta d) tensión de la batería demasiado baja h) temperatura demasiado alta f) ondulación CC demasiado alta						



Alarma de batería

Indica que la tensión está demasiado alta o demasiado baja por medio de una alarma visual y sonora y de un relé de señalización remota



Mochila VE.Direct a Bluetooth Smart (Debe pedirse por separado)



Monitor de baterías BMV

El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.

DG12-200(12V200Ah)



Specification

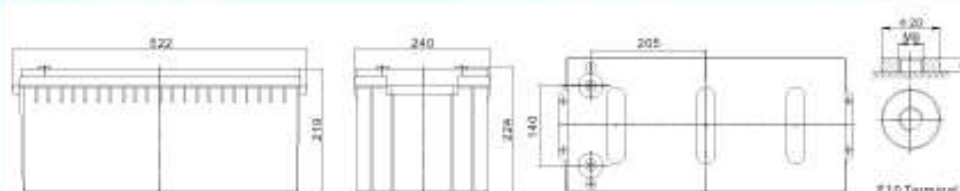
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	200Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 58.0 Kg (Tolerance $\pm 3.0\%$)
Internal Resistance	Approx. 5.2 m Ω
Terminal	F10(M8)/F16(M8)
Max. Discharge Current	2000A (5 sec)
Design Life	15 years (floating charge)
Max. Charging Current	40.0 A
Reference Capacity	C3 136.5AH C5 154.0AH C10 176.0AH C20 200.0AH
Float Charging Voltage	13.6 V~13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.2 V~14.4 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -40°C~60°C Charge: -20°C~50°C Storage: -40°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C $\pm$ 5°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for up to 6 months at 25°C, and then recharging is recommended. Monthly Self-discharge ratio is less than 2% at 20°C. Please charged batteries before using.
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



DG (Deep Cycle GEL) series is pure GEL battery with 15 years floating design life. It is ideal for standby or frequent cyclic discharge applications under extreme environments. By using strong grids, high purity lead and patented GEL electrolyte, the DG series offers excellent recovery capability after deep discharge under frequent cyclic discharge use, and it can offers 2 times cyclic life than the standard series. It is suitable for solar & wind system, marine, deep discharge UPS etc.



Dimensions



Length	522±2mm (20.6 inches)
Width	240±2mm (9.45 inches)
Height	219±2mm (8.62 inches)
Total Height	224±2mm (8.82 inches)
Terminal	Value
M5	6~7 N*m
M6	8~10 N*m
M8	10~12 N*m

Unit: mm

Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

F.V/Time	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	327.4	265.5	174.2	108.6	66.4	49.7	39.7	33.3	22.5	18.6	10.4
1.65V	309.4	253.9	167.3	104.9	64.2	48.2	38.6	32.4	22.3	18.3	10.2
1.70V	284.9	237.8	159.9	101.5	62.1	46.9	37.6	31.6	21.9	18.1	10.1
1.75V	260.7	221.3	152.8	97.8	60.0	45.5	36.6	30.8	21.6	17.8	10.0
1.80V	236.0	204.3	146.1	94.0	57.8	44.1	35.6	30.0	21.2	17.6	9.90
1.85V	192.9	169.5	125.8	84.3	53.0	40.8	33.0	28.0	19.9	16.6	9.40

Constant Power Discharge Characteristics : WPC(25°C)

F.V/Time	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	632.5	527.5	359.6	231.9	142.9	108.0	86.6	72.9	50.0	41.5	23.3
1.65V	601.8	507.0	348.2	225.6	139.1	105.3	84.6	71.3	49.4	41.0	23.0
1.70V	571.1	486.5	336.8	219.3	135.2	102.7	82.6	69.7	48.8	40.5	22.7
1.75V	532.2	459.3	325.2	212.6	131.1	100.0	80.8	68.2	48.3	40.0	22.5
1.80V	490.2	430.1	314.0	205.6	127.0	97.3	78.7	66.7	47.6	39.5	22.3
1.85V	407.7	362.0	273.1	185.5	117.0	90.4	73.5	62.4	44.7	37.3	21.2

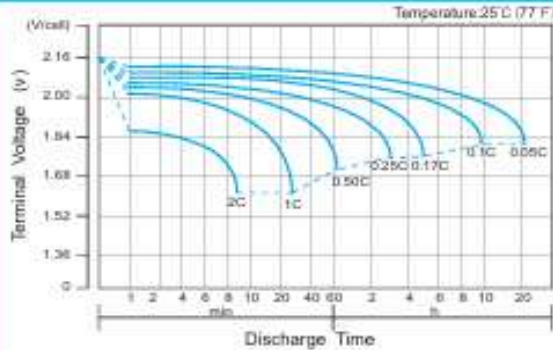
(Note) The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge cycle not the minimum values.

The battery must be fully charged before the capacity test. The C₂₀ should reach 95% after the first cycle and 100% after the third cycle.

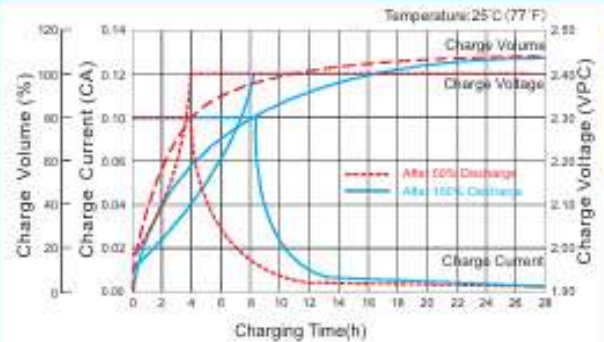
DG12-200(12V200Ah)



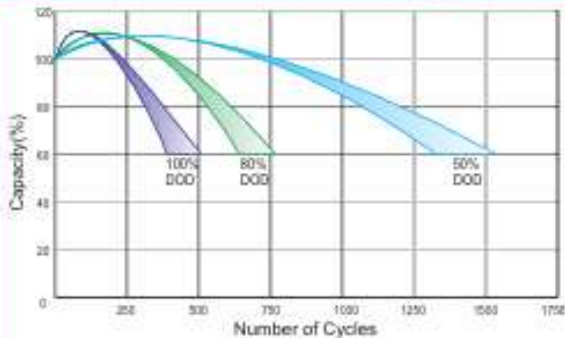
Discharge Characteristics Curve



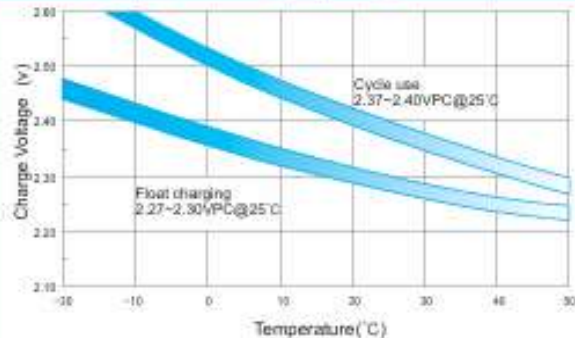
Charge Characteristic Curve for Cycle Use(IU)



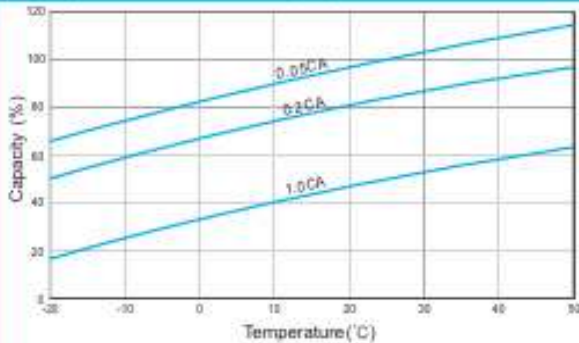
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



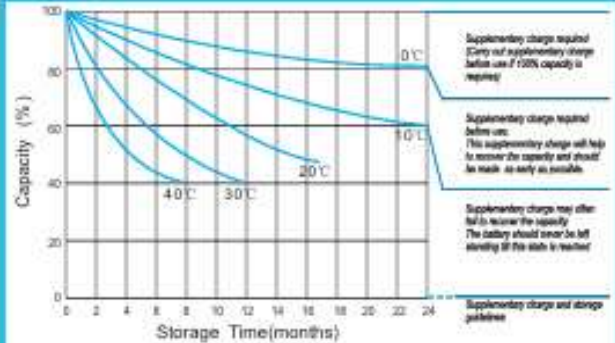
Relationship Between Charging Voltage and Temperature



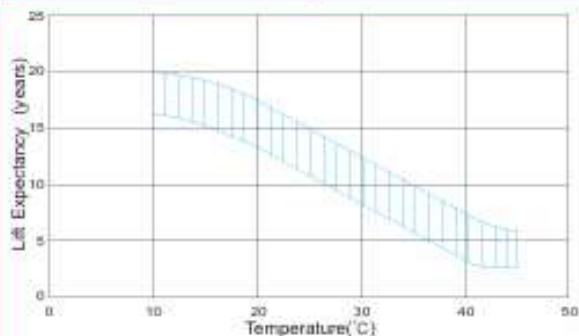
Temperature Effects on Capacity



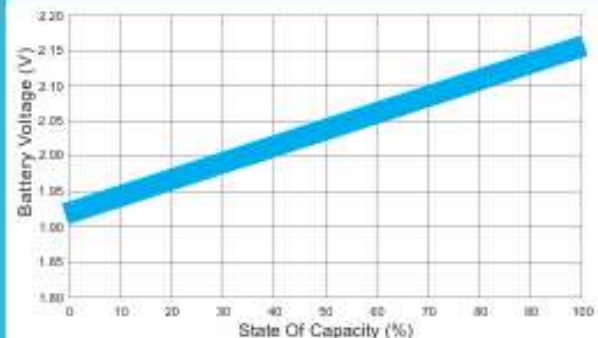
Storage Characteristics



Effect of Temperature on Long Term Life



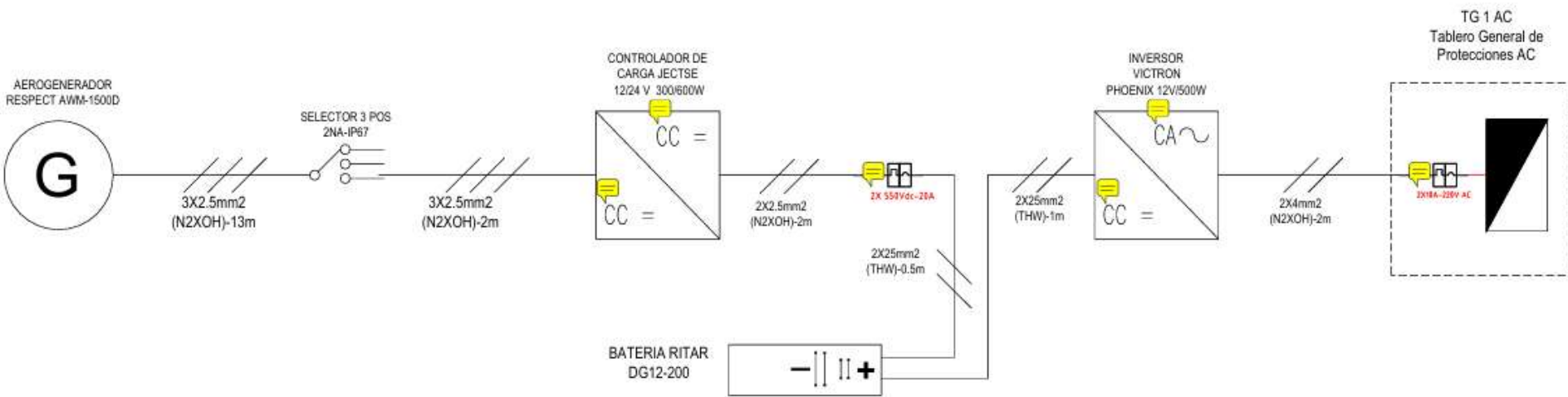
Relationship of OCV And State of Charge(20°C)



(Note) All above information shall be changed without prior notice, Ritar reserves the right to explain and update the latest information.

Anexo 4 Diagrama unifilar y diagrama eléctrico del SEA.

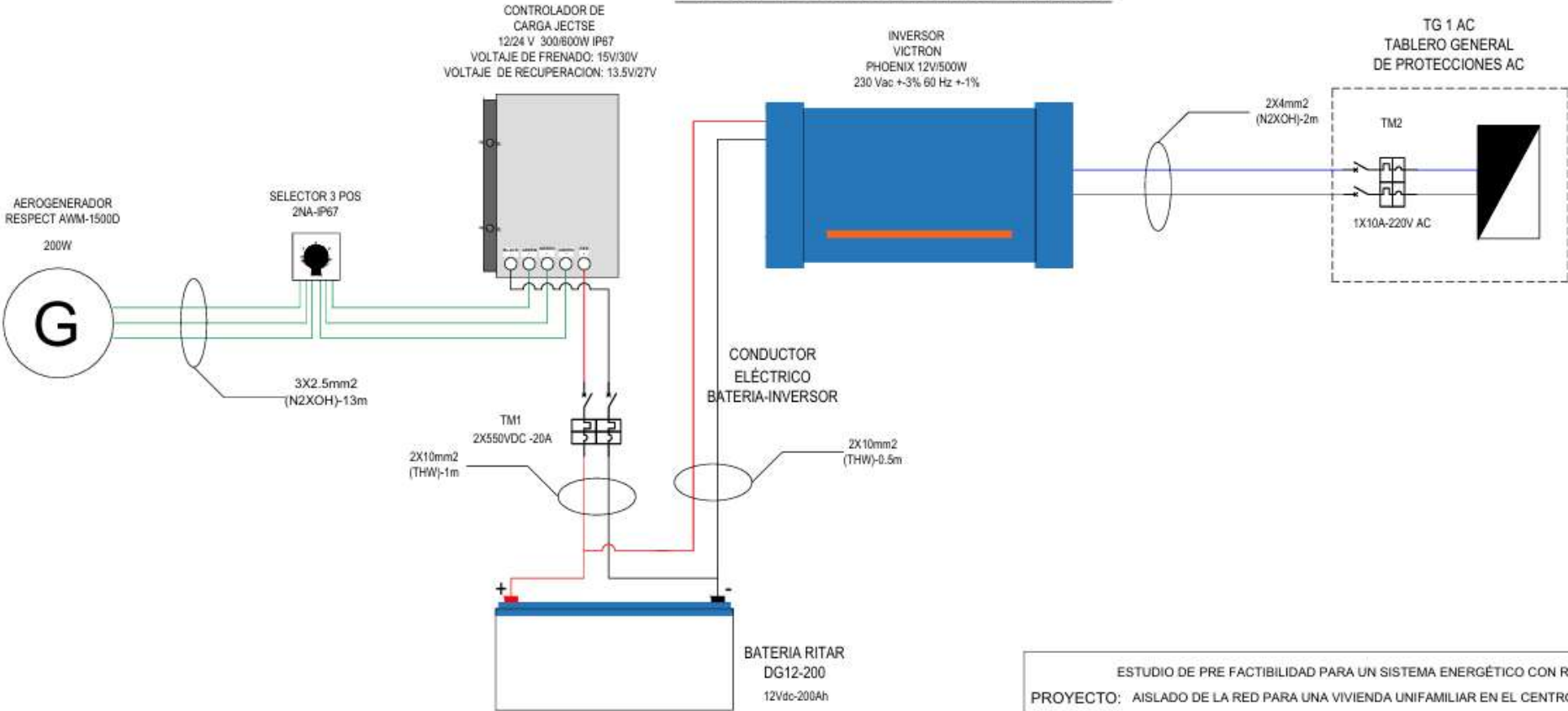
DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA EÓLICO AISLADO DE LA RED C.P. MAYUPAMPA



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	INVERSOR VICTRON PHOENIX 12V/500W
	AEROGENERADOR RESPECT AWM-1500D
	SELECTOR 3 POS 2NA-IP67
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	CONTROLADOR DE CARGA JECTSE 12/24V 300/600W
	TABLERO NORMAL-SERVICIOS GENERALES (TN-SG)

ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO			
PROYECTO: AISLADO DE LA RED PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL CENTRO POBLADO DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, SANDIA EN LA REGIÓN PUNO			
TESISTA:		BACH. IRINA MILENKA LAURA CCOSI	
UBICACIÓN:		C.P. MAYUPAMPA-PATAMBUCO-SANDIA-PUNO	FECHA: ABRIL 2024
PLANO:		DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA EOLICO AISLADO	ESTADO: VALIDO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA		ESCALA:	LÁMINA: 01
		DIBUJO: I.M.L.C.	PLANO: RER-DE-01
		DISEÑO: I.M.L.C.	
		REVISÓ:	
		APROBÓ:	

DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA EÓLICO AISLADO DE LA RED C.P. MAYUPAMPA



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	INVERSOR VICTRON PHOENIX 12V/500W
	AEROGENERADOR RESPECT AWM-1500D
	SELECTOR 3 POS 2NA-IP67
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	CONTROLADOR DE CARGA JECTSE 12/24V 300/600W
	TABLERO NORMAL-SERVICIOS GENERALES (TN-SG)
	BATERIA RITAR 12V7500W

ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO		
PROYECTO: AISLADO DE LA RED PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL CENTRO POBLADO DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO DE PATAMBUCO, SANDIA EN LA REGIÓN PUNO		
TESISTA: BACH. IRINA MILENKA LAURA CCOSI		
UBICACIÓN: C.P. MAYUPAMPA-PATAMBUCO-SANDIA-PUNO		FECHA: ABRIL 2024
PLANO: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA EÓLICO AISLADO		ESTADO: VALIDO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA		ESCALA: LÁMINA: 02
		DIBUJO: I.M.L.C. DISEÑO: I.M.L.C. REVISÓ: APROBÓ:
		PLANO: RER-DE-02

Anexo 5 Presupuesto del sistema eólico aislado C.P. Mayupampa.

Presupuesto

Presupuesto 0404001 ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA UN SISTEMA ENERGÉTICO CON RECURSO EÓLICO AISLADO DE LA RED PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN EL CENTRO POBLADO DE MAYUPAMPA DEL DISTRITO DE PATAMBUCCO, SANDIA EN LA REGIÓN PUNO

Subpresupuesto 001 ELECTRICA
 Cliente LAURA CCOSI, IRINA MILENKA
 Lugar PUNO - SANDIA - PATAMBUCCO

Costo al 09/04/2024

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	EQUIPOS				4,715.78
01.01	AEROGENERADOR RESPECT AWM-1500D				2,690.00
01.01.01	AEROGENERADOR RESPECT AWM-1500D	und	1.00	2,690.00	2,690.00
01.02	ACUMULADOR DE ENERGIA				1,195.45
01.02.01	ACUMULADOR DE ENERGIA 12V 200Ah	und	1.00	1,195.45	1,195.45
01.03	CONTROLADOR DE CARGA				210.00
01.03.01	CONTROLADOR JECTSE 12/24V 300/600W	und	1.00	210.00	210.00
01.04	INVERSOR DE ENERGIA DC/AC 12V 500W				620.33
01.04.01	INVERSOR DE ENERGIA DC/AC 12V 500W	und	1.00	620.33	620.33
02	MANO DE OBRA				673.12
02.01	INSTALACIÓN DEL SISTEMA EOLICO AISLADO				477.76
02.01.01	INSTALACIÓN DEL AEROGENERADOR	und	1.00	116.28	116.28
02.01.02	INSTALACION DEL CONTROLADOR DE CARGA	und	1.00	100.37	100.37
02.01.03	INSTALACION DE ACUMULADOR DE ENERGIA	und	1.00	80.37	80.37
02.01.04	INSTALACION DEL INVERSOR DE ENERGIA	und	1.00	100.37	100.37
02.01.05	INSTALACION DE TABLERO DE 12 POLOS	und	1.00	80.37	80.37
02.02	INSTALACION ELECTRICA DEL SISTEMA				195.36
02.02.01	CABLEADO Y COLOCACION DE ACCESORIOS	gls	1.00	97.68	97.68
02.02.02	TENDIDO DE CABLE CON TUBERIA DE 3/4" X19M	gls	1.00	97.68	97.68
03	MATERIALES				567.57
03.01	MATERIALES SISTEMA EOLICO AISLADO				567.57
03.01.01	CABLE TW 4 mm2	m	30.00	3.10	93.00
03.01.02	CABLE THW 10 mm2	m	3.00	25.51	76.53
03.01.03	TABLEROS DISTRIBUCION CAJA METALICA CON 12 POLOS	und	1.00	26.86	26.86
03.01.04	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2X20 AMP DC	und	1.00	71.15	71.15
03.01.05	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2X10 AMP AC	und	1.00	103.50	103.50
03.01.06	SELECTOR 3 POS. 22MM 2NA IP65	und	1.00	123.58	123.58
03.01.07	CINTA AISLANTE 3/4 X 18M	und	1.00	7.90	7.90
03.01.08	TUBO SAP X3M 3/4"	m	3.00	12.40	37.20
03.01.09	TERMINAL DE COMPRESIÓN CABLE 10MM	und	2.00	4.50	9.00
03.01.10	MANGA TERMOCONTRACTIBLE PARA CABLE 4MM	m	1.00	1.90	1.90
03.01.11	CABLE ESPIRAL 3/4"	m	0.50	5.90	2.95
03.01.12	TERMINAL SOBREMOLDEADO 12AWG	und	8.00	0.50	4.00
04	CIVIL				18.95
04.01	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMENTOS EN TERRENO NORMAL	m3	0.25	43.41	10.85
04.02	CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f'c=210 kg/cm2	m3	0.25	32.39	8.10
05	TRANSPORTE				330.00
05.01	TRANSPORTE DE EQUIPO LMIANO Y HERRAMIENTAS	gls	1.00	330.00	330.00
06	PERSONAL				250.00
06.01	SUPERVISION DE CAMPO	sem	0.20	1,250.00	250.00
	COSTO DIRECTO				6,545.42
	GASTOS GENERALES				981.81
					=====
	SUBTOTAL				7,527.23
	IGV (18%)				1,354.98
					=====
	TOTAL PRESUPUESTO				8,882.13
	SON : OCHO MIL OCHOCIENTOS OCHENTIDOS Y 13/100 NUEVOS SOLES				

Anexo 6 Recibo de un SFD emitido por la empresa ERGON Perú - tipo RER 1.



RUC: 20557294849
Av. República de Panamá 3605-3609-3615-3623 Piso N°24
Urb.El Palomar San Isidro
Teléfono: +51 1 5937702

RECIBO SERVICIO PÚBLICO

Código de Suministro: 00046521-S

N° de Recibo: S012-0000416857

Periodo Facturado: AGOSTO 2022

Datos del Cliente

Usuario/Razón Social: BANEGAS CRUZ MAURO JULIAN

Titular/Representante:

Tipo y N° Documento: DNI - 01250686

Región: SIERRA

Zona: SUR

Departamento: PUNO

Provincia: SAN ROMAN

Distrito: CABANILLAS

Localidad/Ubicación: IXSUYA

Tipo de Servicio Público: 01

Coordenadas: LONG: -70.595178333333 LAT: -15.912311666667

Tipo de Instalación: RER 1

Detalle de Consumo

Lectura Actual: 8.76
Lectura Anterior: 8.76
Consumo del Mes: 8.76 kWh

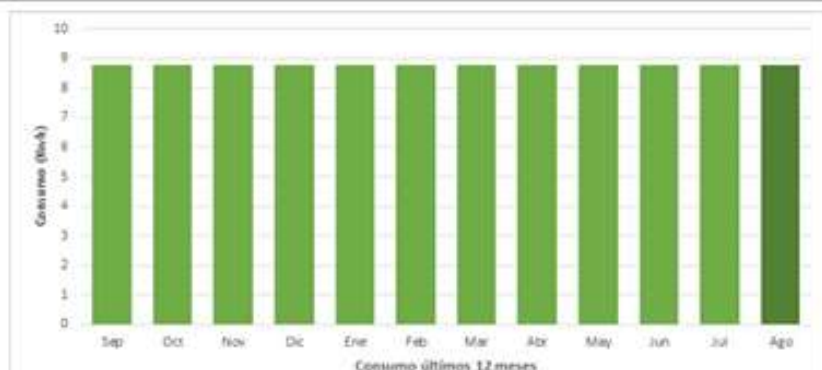
Ciclo de Facturación

Desde: 01/08/2022
Hasta: 31/08/2022

Detalle de Facturación

Tarifa Contratada Tarifa RER Autónoma Tipo 1
Potencia Contratada 85 Wp
Potencia Disponible 120 Wp
Precio Unitario S/ x kWh 6.71

Consumo Histórico



Jun-2022 S/ 10.50 | Jul-2022 S/ 10.50

Tipo de Suministro

Energía Activa S/ 58.74
SUB TOTAL S/ 58.74
IGV S/ 10.57
Descuento Ley FOSE N°27510 y Ley FISE N°29852 S/ -59.29
Redondeo Mes Actual S/ -0.02
Total Mes Actual S/ 10.00
TOTAL A PAGAR S/ 10.00

Mensaje al Cliente

Estimado Usuario, usted tiene una deuda pendiente, consultar con la empresa ELECTROPUNO S.A.A.

Pague a tiempo su recibo para evitar cortes.

Energía limpia y renovable.

El pago por el servicio correspondiente a los meses de marzo a diciembre 2020, fue cubierto por el "BONO ELECTRICIDAD", D.S. N° 074-2020.

Impresión, reparto y cobranza a cargo de la empresa ELECTROPUNO S.A.A. (D.S. N° 036-2014-EM).

Recepción de reclamaciones a cargo de la empresa ELECTROPUNO S.A.A., en los lugares indicados en la información adjunta (D.S. N° 036-2014-EM).

FECHA EMISIÓN

06/09/2022

FECHA VENCIMIENTO

30/09/2022

TOTAL A PAGAR

S/ ***10.00

Son: DIEZ CON 00/100 SOLES

Powered by cmiconsulting.pe

Código de Suministro	00046521-S	Periodo de Facturación	AGOSTO 2022	Usuario/Razón Social	BANEGAS CRUZ MAURO JULIAN	N° de Recibo	S012-0000416857
Total a Pagar	S/ 10.00	Fecha de Vencimiento	30/09/2022	Distrito/Cto. Poblado	CABANILLAS - IXSUYA	Tipo de Instalación	RER 1

