



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON
ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO
DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE
AZÁNGARO, PUNO, 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ
2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON
ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO
DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE
AZÁNGARO, PUNO, 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

: 
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Mgtr. WILFREDO DAVID SUPTO PACORI

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCION-P17



UNIVERSIDAD ANDINA
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN P17
NÉSTOR CÁCERES VELLÁSQUEZ

RESOLUCIÓN DECANAL N° 857-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 14 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-6181 presentado por el (la) Bachiller: **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

ARTICULO TERCERO . - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 21 de agosto del 2025
- * **HORA** : 08:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELLÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP 32730

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELLÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

RESOLUCIÓN DECANAL N° 406-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 1735 por el señor (a): **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 203- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 024- 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 024- 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la), Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

D. OSCAR V. VAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP: 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (s)



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

RESOLUCIÓN DECANAL N° 483-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 20 de junio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 6057, presentado el o (la) Bachiller **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 421 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 153-2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 153-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. LEONEL SUASACA PELINCO**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Edwin Pazillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo 2024
Interesado (a)



18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.



Metadatos Complementarios UANCV



Título de la tesis	
DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71225983
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-6750-9132
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371570
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	EILFREDO DAVID SUPO PACORI

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02428673
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Azángaro Distrito: Arapa</p> <ul style="list-style-type: none">- Latitud: S 70° 07' 5''- Longitud: O 15° 9' 28''  <p>https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1-3NgJmklWZNaQ2SWEWppySpigNjsGnc&usp=sharing</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2024 – abril 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
- Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01



UNIVERSIDAD ANDRÉS BÉLLEZ VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NICO HELADIO RODRIGUEZ DOCO, identificado con DNI Nro. 71225987 en mi condición de egresado de:

- [X] Escuela Profesional
[] Programa de Segunda Especialidad,
[] Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la [X] Tesis o [] Trabajo de Investigación, [] Trabajo Académico denominada:

" DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGIA EOLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE DRAPA DE LA PROVINCIA DE AZÓNGARO, PUNO, 2024. "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 28 de NOVIEMBRE del 2025

Handwritten signature of the advisor with the word 'ASESOR' written below it.

Handwritten signature of the student with a horizontal line underneath and the text 'FIRMA (obligatoria)' below the line.



Huella



DEDICATORIA

A mis padres, por ser el motor de mi vida, por apoyarme con esfuerzo y dedicación en cada meta que me planté, por los valores que me enseñaron, por el tiempo que me dedicaron, por su amor incondicional, por apoyarme a pesar de las dificultades y sobre todo por ser principalmente mi fuente que me inspiro a seguir creciendo y siendo mejor cada día.

Nico



AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios por la vida y permitirme seguir adelante cada día, por darme la valentía y ánimo de seguir esforzándome para cumplir esta meta, indispensable. Agradecer a mi familia por el apoyo incondicional y dedicación. También agradecer particularmente al Dr. Leonel Suasaca Pelinco por su amabilidad y tiempo para guiarme y concluir este trabajo de investigación.

El autor



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPÍTULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. Análisis de la situación problemática.....	12
1.2. Planteamiento del problema	14
1.2.1. Problema general	14
1.2.2. Problemas Específicos	14
1.3. Objetivos de la investigación	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Justificación de la investigación.....	15
1.5. Hipótesis de la investigación	16



1.5.1. Hipótesis general.....	16
1.5.2. Hipótesis específicas.....	16
1.6. Variables.....	17
1.6.1. Variable independiente.....	17
1.6.2. Variable dependiente.....	17
1.7. Operacionalización de variables.....	17
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	21
2.1.3. Antecedentes locales.....	23
2.2. Marco teórico.....	26
2.2.1. Energías renovables.....	26
2.2.2. Energía eólica.....	27
2.2.3. Sistema eólico solar para bombeo de agua con fines de riego.....	29
2.2.4. Bombeo eólico.....	33
2.3. Marco conceptual.....	43
CAPÍTULO III.....	46
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.1. Enfoque de la investigación.....	46



3.2. Tipo de la investigación	46
3.3. Población y muestra	46
3.3.1. Población.....	46
3.3.2. Muestra	47
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.4.2. Instrumentos	47
3.5. Materiales y equipos.....	47
3.6. Ubicación de la zona en estudio	48
3.7. Procedimiento metodológico	49
CAPÍTULO IV	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1. Resultados	59
4.3. Discusión.....	91
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	100



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	17
Tabla 2 Valores de Kc para el diseño de sistemas de riego.....	40
Tabla 3 Información para calcular la profundidad de riego neto.....	51
Tabla 4 Determinar la evapotranspiración de referencia del cultivo de alfalfa.....	73
Tabla 5 Requerimiento hídrico de cultivo de alfalfa.....	78
Tabla 6 Cálculo del caudal de agua.....	80
Tabla 7 Velocidad del viento promedio.....	84



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Sistema de aerogeneradores de fuente eólica.....	27
Figura 2 Configuración a sotavento y barlovento.....	30
Figura 3 Configuraciones de una, dos o tres cuchillas.....	31
Figura 4 Alineación del rotor con la dirección del viento predominante.....	32
Figura 5 Sistema de riego.....	36
Figura 6 Ubicación del área en estudio.....	48
Figura 7 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de enero.....	60
Figura 8 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de febrero.....	61
Figura 9 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de marzo.....	62
Figura 10 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de abril.....	63
Figura 11 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de mayo.....	64
Figura 12 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de junio.....	65
Figura 13 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de julio.....	66
Figura 14 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de agosto.....	67
Figura 15 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de septiembre.....	68
Figura 16 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de octubre.....	69
Figura 17 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de noviembre.....	70
Figura 18 Velocidad y dirección con respecto al brisa del mes de diciembre.....	71
Figura 19 Astas del sistema eólico.....	86
Figura 20 Sistema de bombeo eólico.....	86



RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Diseño de un sistema de bombeo de agua con energía eólica para riego en el distrito de Arapa, provincia de Azángaro, Puno, 2024”, se realizó ante la problemática existente en la zona respecto a la escasez de energía eléctrica y de recursos hídricos para uso agrícola. El objetivo general fue diseñar un sistema de bombeo de agua impulsado por energía eólica que permita el riego sostenible en el distrito de Arapa. La metodología de la investigación fue de tipo aplicada, con enfoque no experimental y diseño descriptivo, sustentada en la recolección de datos climáticos del SENAMHI y en el análisis hidráulico mediante procedimientos analíticos y cálculos técnicos. Se utilizó software especializado como WRPLOT View, Civil 3D y WaterCAD para el procesamiento y modelamiento de datos. Los resultados evidenciaron que la velocidad media del viento oscila entre 3.07 y 4.45 m/s, con dirección predominante noreste–suroeste; el requerimiento hídrico diario para un área de riego de 3 hectáreas fue de 31.60 m³, por lo que se determinó una bomba de 2 HP (1.47 kW) y la necesidad de cuatro aerogeneradores de 0.3986 kW cada uno para su óptimo funcionamiento. En conclusión, el sistema de bombeo eólico diseñado es técnica, económica y ambientalmente viable, garantizando el suministro de agua para riego en el distrito de Arapa y contribuyendo a la sostenibilidad agrícola mediante el aprovechamiento eficiente del recurso viento como fuente de energía renovable.

Palabras clave: energía eólica, sistema de bombeo, riego agrícola, sostenibilidad, diseño hidráulico.



ABSTRACT

This research, entitled "Design of a wind-powered water pumping system for irrigation in the Arapa district, Azángaro province, Puno, 2024," was conducted in response to the existing problems in the area regarding the scarcity of electricity and water resources for agricultural use. The overall objective was to design a wind-powered water pumping system that enables sustainable irrigation in the Arapa district. The research methodology was applied, with a non-experimental approach and descriptive design, supported by the collection of climatic data from SENAMHI and hydraulic analysis using analytical procedures and technical calculations. Specialized software such as WRPLOT View, Civil 3D, and WaterCAD were used for data processing and modeling. The results showed that the average wind speed ranged between 3.07 and 4.45 m/s, with a predominantly northeast-southwest direction. The daily water requirement for a 3-hectare irrigation area was 31.60 m³, leading to the determination of a 2 HP (1.47 kW) pump and the need for four wind turbines of 0.3986 kW each for optimal operation. In conclusion, the designed wind pumping system is technically, economically, and environmentally viable, guaranteeing the supply of irrigation water in the Arapa district and contributing to agricultural sustainability through the efficient use of wind as a renewable energy source.

Keywords: wind energy, pumping system, agricultural irrigation, sustainability, hydraulic design.



INTRODUCCIÓN

La población mundial lleva ya algún tiempo enfrentándose a restricciones energéticas e hídricas como consecuencia del agotamiento de las fuentes de energía tradicionales (Flores, 2018). Productos tradicionales como el petróleo y sus derivados, se utilizan principalmente en operaciones energéticas que transfieren grandes cantidades de agua para su uso en el riego y el consumo humano. (Cerdan, 2021).

Esto desalienta la inversión en programas para suministrar energía a comunidades desatendidas o zonas rurales en algunos países emergentes. Por lo tanto, cuando no hay necesidad de electricidad, se utilizan otras fuentes de energía para bombear agua, como alternativas (Flores, 2018). Además de ser ruidosos y sucios, los sistemas de bombeo de agua diésel y propano, sino también muy costosos debido al valor económico del combustible y la infraestructura necesaria para su funcionamiento. Dicho esto, cabe mencionar que la energía eólica, generada por fuentes de energía renovables como el viento, puede utilizarse para bombear agua, reduciendo así la necesidad de fuentes de energía fósil, incluyendo carbón, gas y diésel. (Valenzuela, 2020).

Tenga en cuenta que, en comparación con una bomba eólica, los gastos de funcionamiento, mantenimiento y sustitución de una bomba diésel son entre dos y cuatro veces mayores. Dado que no requieren un mantenimiento significativo y, además, el coste del combustible es nulo, los sistemas fotovoltaicos suelen ser menos costosos y más respetuosos con el medio ambiente. (Mamani & Cuba, 2019).



Además, hay que tener en cuenta que la disponibilidad limitada de energía conectada a la red en las regiones rurales y aisladas de todo el mundo ofrece la oportunidad de incluir fuentes de energía eólica, especialmente para los sistemas de bombeo. Además, aparte de utilizar energía eólica en lugar de combustibles fósiles, la tecnología es idéntica a la de los sistemas de bombeo de agua estándar (Valenzuela, 2020). A la luz de esta necesidad, se inició el presente estudio titulado « Diseño de un sistema de riego que utiliza energía eólica para bombear agua en el distrito de Arapa, provincia de Azángaro, Puno, 2024». Del mismo modo, a continuación se enumeran los cuatro capítulos que componen este estudio:

El capítulo I, El tema de investigación se expone en la introducción, junto con la hipótesis, la justificación y los objetivos que el estudio pretende alcanzar.

El capítulo II, proporciona argumentos relacionados con el tema de investigación, citas del estudio, fundamentos teóricos y el marco jurídico que sirvió de base para este trabajo.

El capítulo III, donde se describe la metodología de investigación, incluyendo la población y la muestra, las metodologías, el procesamiento de la información, las técnicas y los instrumentos, así como el tipo y el diseño del estudio.

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados, y su discusión respectivamente. Finalmente, las conclusiones con recomendaciones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

Actualmente en el mundo el cambio climático constituye una emergencia debido a que se ha acrecentado por el uso indiscriminado de recursos no renovables; por ello es que resulta imprescindible una cooperación (Arteaga, 2024); Además, la rivalidad entre países por el control y el acceso a estos recursos ha provocado enfrentamientos violentos y tensiones geopolíticas como resultado de su dependencia; la relación de Rusia con Ucrania es una clara ilustración de esto, particularmente en el contexto de los suministros de gas natural. (Castellon & Avila, 2024); Además, es esencial tener en cuenta que la actual crisis energética mundial. (Reyes, 2024). Como consecuencia de ello. (León, 2023). Para profundizar en este hecho, la electricidad convencional y los combustibles fósiles continúan dominando hoy en día, lo que da como resultado la generación de electricidad a lo largo del tiempo. (Clemente, 2024); ante ello surgen los



sistemas con energía eólica; de las cuales ofrece multitud de ventajas, (Bermeo & Silva, 2022).

En Perú, se utilizan frecuentemente Estos motores suelen ser sobredimensionados y funcionan principalmente con combustibles fósiles (petróleo, gasolina), lo que incrementa. Además, la combustión de estos combustibles libera gases tóxicos a la atmósfera, como CO₂, SO₂, NOx y Pb, lo que contribuye a la contaminación atmosférica local. (Dávalos, 2019), Aunque los combustibles fósiles son abundantes y generalmente dañinos para el medio ambiente, han contribuido en gran medida al suministro de alimentos del mundo. (Reyes, 2024); así mismo, muchas familias cuentan con Método para bombear agua, pero los pobladores son de recursos económicos muy bajos; y por ende todo ello repercute en el no funcionamiento de sus sistemas bombeo para riego (Pérez, 2024).

Existe un problema persistente de energía. Se necesita una red eléctrica para transportar agua a las zonas de riego. Debido a los costos de bombear agua a un embalse para su distribución, esto no es sostenible dada La situación actual de la población. Además, la frecuente falta de precipitaciones provocada por el cambio climático genera problemas de humedad del suelo y menores rendimientos agrícolas. Por lo tanto, la producción de energía eólica, como el lugar de la investigación, y producir energía eólica con una potencia que se ajuste a sus necesidades.



1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo realizar el diseño un sistema de bombeo de agua con energía eólica para riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la velocidad y dirección del viento para el diseño del aerogenerador en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024?
- ¿Cuánto es el requerimiento hídrico para el área de riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024?
- ¿Cuál será la potencia de la bomba y la potencia del aerogenerador para el sistema de bombeo de agua en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024?
- ¿Es sostenible el uso del lago como fuente de captación de agua para el sistema de bombeo eólico en el distrito de Arapa, provincia de Azángaro, Puno, 2024?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema de bombeo de agua con energía eólica para riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el potencial eólico mediante registros disponibles de la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024.



- Determinar el requerimiento hídrico necesario para el área de riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024
- Calcular la potencia de la bomba de agua y la potencia del aerogenerador para el sistema de bombeo de agua con energía eólica en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024.
- Analizar la sostenibilidad del uso del lago como fuente de captación de agua para el sistema de bombeo de agua con energía eólica en el distrito de Arapa, provincia de Azángaro, Puno, 2024.

1.4. Justificación de la investigación

En la región de Puno, y en específico en el distrito de Arapa, existe la ausencia de recursos hídricos por las sequías que se están suscitando últimamente, originado por el cambio climático; y en consecuencia a ello se genera que grandes áreas de terreno no generen productos agrícolas; de igual manera y las condiciones climáticas característicos del altiplano puneño en época de estiaje, no favorece el crecimiento de los cultivos; por ello es necesario realizar sistemas de riego para la subsistencia de los cultivos.

En cuanto al **aspecto social** se justifica en el hecho de que la ejecución de del diseño mejorará las circunstancias de vida, las perspectivas de empleo y el desarrollo comunitario de los residentes de la región de estudio, así como de otros lugares cercanos. En consecuencia, supone elevar el nivel de vida de todos.

También se justifica en el **aspecto económico**, tiene ahora un coste inicial más elevado que otros tipos de sistemas. Lo interesante es que, al no haber gastos recurrentes, el gasto inicial se recupera a mitad de la vida útil de la instalación. Sin



embargo, para el agricultor supondrá un aumento del rendimiento agrícola, lo que incrementará sus ingresos por venta de productos.

Asimismo, se justifica en el **aspecto ambiental**, dado que un sistema eólico de cultivos utiliza al viento para generar energía limpia y respetuosa con el medio ambiente, puede reducir la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera cuando se utilizan motobombas en los sistemas de riego.

Finalmente, en el **aspecto técnico** el diseño del mecanismo de bombeo de agua impulsado por el viento se sustenta en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) de energía eólica (basadas en IEC 61400), las NTP de bombas hidráulicas (serie 339 y 399), las NTP de riego presurizado (serie 399.600), el Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011, y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, normas E.020, E.030 y E.060) aplicables al diseño estructural de la torre del aerogenerador. Asimismo, se considera la R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI para el cálculo del requerimiento hídrico.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

El diseño de un sistema de bombeo con energía eólica permitirá la extracción de agua para riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El potencial eólico es suficiente para viabilizar el sistema de bombeo de agua en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno



- El cálculo del requerimiento hidráulico permitirá definir el caudal y la altura manométrica que requiere el sistema de bombeo de agua en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno
- La potencia de la bomba y la potencia de aerogenerador garantizará el suministro de agua suficiente para riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024
- El uso del lago como fuente de captación es sostenible para el sistema de bombeo eólico en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024

1.6. Variables

En el presente estudio se plantean dos variables

1.6.1. Variable independiente

- ✓ Hidráulica y riego
- ✓ Recurso eólico

1.6.2. Variable dependiente

- ✓ Características de la bomba de agua
- ✓ Aerogenerador

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE DIMENSIÓN	INDICADOR	UND DE MEDIDA	INSTRUMENTOS /TECNICAS
Hidráulica y riego	-Caudal de diseño.	Caudal	m ³ /s; L/s Aforo volumétrico



	-Altura dinámica total.	TDH	m	Tablas de pérdidas
Recurso eólico	Velocidad del viento.	Velocidad media	m/s	Datos SENAMHI
	Dirección del viento.	Dirección predominante	Nominal	Datos SENAMHI
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UND DE MEDIDA	INSTRUMENTOS /TECNICAS
Características de la bomba	Potencia hidráulica requerida	Potencia hidráulica	m ³ /s	Calculo analítico
	Rendimiento de la bomba	Eficiencia de bomba	% (1-100)	Curva de fabricante
	Potencia eléctrica	Potencia eléctrica	watts	Amperímetro
Aerogenerador	Capacidad instalada	Número de aerogeneradores	Entero	Calculo analítico
	Potencia nominal total	Potencia nominal	Kwatts	Ficha del fabricante
	Energía disponible esperada	Energía estimada	Kwh	Amperímetro



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Ruiz, Leonardo, & Elvis (2022), Mediante el análisis de parámetros cuantitativos, se determinaron densidad de población, temperatura media, humedad relativa y velocidad del viento, la composición de los hogares y la ocupación del área. También se evaluaron los recursos hídricos superficiales de la región y las necesidades de agua. Para la unidad de bombeo sugerida, se eligió una bomba de pistón impulsada por una turbina eólica multipala fabricada en el país. Estas turbinas eólicas vienen en una variedad de diseños y tienen diámetros de entre 2,0 y 3,0 metros. En un banco de pruebas especialmente diseñado, la turbina eólica, que tiene 15 palas y un diámetro de 2,0 metros, se evaluó experimentalmente. Se llevaron a cabo tres ciclos de prueba: dos en los que el flujo permaneció rotacional pero se evaluó, y uno en el que se aseguró el



flujo axial en la entrada de la turbina eólica mediante un enderezador de flujo. El trazado de las curvas características del aerogenerador y la obtención de datos sobre sus características mecánicas y aerodinámicas fueron posibles gracias a la instrumentación adecuada del túnel de viento. Se demuestra cómo, a partir de estos hallazgos, se pueden obtener curvas características para aerogeneradores de tipo similar con diámetros mayores. Se seleccionó la transmisión entre la bomba y el aerogenerador. Además, se seleccionaron el tanque de almacenamiento de agua bombeada y la torre del aerogenerador. El proyecto concluye con un breve estudio económico del aerogenerador.

Paredes & Villavicencio (2019), Los diferentes elementos y características que influyen en los sistemas de generación eólica observados en estas superficies — que se determinan mediante una investigación de campo utilizando una estación meteorológica y pueden verse afectados por movimientos de aire que modifican los campos de presión. e investigación bibliográfica. Para aplicar y desarrollar una central eléctrica ideal que pueda satisfacer la demanda energética de un sistema de bombeo de agua que abastece a unos 700 residentes del barrio Mac, es necesario evaluar la presencia de brisas locales constantes a lo largo de ciclos diarios o estacionales adecuados. La empresa de distribución eléctrica tiene dificultades para suministrar electricidad al sistema de bombeo debido a su ubicación remota, y la ampliación de la infraestructura resultaría costosa. Gracias Aprovechamiento de la energía eólica, se pueden construir proyectos de producción eólica en localidades rurales sin acceso a la electricidad. Esto permite ahorrar gastos a largo plazo en contraste con la nómina y el gasto inicial necesario para la implementación de la red. Para lograrlo, es necesario examinar el potencial eólico de las



colinas de Milin para determinar las condiciones aerodinámicas que transformen con mayor eficacia Convertir la energía cinética de la corriente de aire en energía eléctrica, lo que resulta en la mayor.

Guachalla (2018), Se examinó el diseño de una turbina eólica de pequeña capacidad que utiliza una bomba centrífuga, junto con sus fundamentos matemáticos. Se estudiaron el diseño técnico y la demanda de energía eólica. La velocidad del viento utilizada se seleccionó mediante un enfoque analítico. Después de distribuir las tuberías para el riego por inundación del pastizal, se examinó el caudal del sistema de bombeo de agua hacia la instalación de almacenamiento. Finalmente, se realizó un análisis de costos para lograr este objetivo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Pari (2023), El emplazamiento fue elegido por sus excepcionales recursos eólicos, sin parangón en la provincia de Tarma. El objetivo de la agroindustrialización es mejorar el nivel de vida de la población en general mediante la mejora del riego agrícola mediante el uso de tecnologías de bombeo. Del mismo modo, se proponen sistemas de generación de energía eólica como medio para obtener energía renovable que no daña el medio ambiente. El método explicativo y el carácter práctico de este trabajo lo distinguen de otros. Los datos relativos a la energía eléctrica se recopilaron mediante el uso de dispositivos sofisticados y una observación minuciosa. Los resultados mostraron que, tras 6 horas de funcionamiento, las turbinas eólicas produjeron 5877,51 Wh/día, lo que es más que suficiente para satisfacer los 3360 Wh/día que requiere la bomba sumergible. La potencia útil proporcionada por las turbinas eólicas fue de 979,58 vatios.



Arcila & Chilcon (2023), Utilizamos análisis estadísticos para determinar el tamaño que deberían tener la turbina eólica y la bomba en el distrito de Chongoyape, provincia de Chiclayo, al norte de Perú, para los años 2018, 2019, 2020 y 2021. El viento soplaba principalmente desde el suroeste con una velocidad media de 2,9 metros por segundo. La turbina eólica de eje horizontal se diseñó teniendo en cuenta la velocidad media del viento. Las dimensiones del rotor son 3 metros de diámetro, 16 palas, 93,52 W de potencia y 1,93 rad/s de velocidad. La potencia de la bomba es de 87,84 W y su caudal es de 2828,88 l/h..

Cajusol (2019), debido a los costos y problemas ambientales asociados con el uso de una bomba de motor para riego. Los resultados de los cálculos muestran que la cantidad de agua requerida para riego en la finca San Juan varía por mes, Febrero es el mes con mayor necesidad de agua, como se puede observar en la tabla 10 (248.51 m³ por día) y junio el que menos requiere (123.77 m³ por día). El conjunto de datos sobre radiación solar de la NASA indica un valor mínimo de 4,89 kWh/m²/día. Se recopilaron datos por hora sobre la velocidad del viento para los meses de junio y noviembre, siendo el primero el mes con la velocidad más baja y el segundo el mes con la velocidad más alta. Según las cifras, en junio la energía eólica representa el 9,20 % de la energía total que necesita el sistema de bombeo y en noviembre representa el 38,6 %.

Cespedes & Vásquez (2019), Para regar los cultivos de papaya, se propuso bombear agua del río Utcubamba a un tanque de almacenamiento de acero de 20 m³ en la parte alta. Actualmente, según los residentes locales, se necesita regar 10 hectáreas de papaya en esta zona. Ahora sabemos que podemos resolver este problema. La energía eólica, objeto de este proyecto, es el estudio socioeconómico y la demostración



de su rentabilidad. Mediante mediciones manuales y automatizadas, hemos comenzado nuestra investigación sobre la fuerza potencial que el viento podría proporcionarnos, así como sus características, incluyendo la capacidad de bombeo de aguaEl tipo de riego y el caudal necesario. El diseño de la bomba eólica, su rentabilidad a lo largo del tiempo en comparación con fuentes de energía adicionales, así como el mantenimiento que se realiza para prevenir y rectificarlas demuestran que actualmente contamos con una fuente inagotable de recursos hídricos.

2.1.3. Antecedentes locales

Turpo (2023), Las tomas de agua del sector Chilliwucho, situadas a siete kilómetros de distancia entre sí, son el principal objeto de análisis de los recursos hídricos y eólicos del estudio. Tras revisar los resultados de este análisis, se sugiere conectar una microcentral eólica de 20 kW a la red de distribución (la red eléctrica) para que pueda bombear 6 litros/s de agua. Alrededor de 1200 personas viven en la aldea de Isivilla, y esta solución está pensada para satisfacer sus necesidades.

Sánchez (2022), En vista de ello, nuestro estudio tiene como objetivo encontrar una alternativa, concretamente una que sea menos perjudicial para el ecosistema, dada la abundancia de viento en esta región. En este estudio se demostró que pueden generar suficiente viento para hacer funcionar la bomba sumergible en la región productora de maíz gracias a la turbina eólica. Para elegir las piezas de la instalación de suministro eléctrico y el sistema de bombeo, se realizaron cálculos utilizando la técnica del marco teórico. Según el estudio económico, la inversión se puede recuperar en un año y tres



meses. Después, se puede ahorrar dinero en el uso de GLP, ya que se utilizará energía eólica en su lugar.

Choque (2018), La producción de energía eólica no es viable en esta región, ya que la energía total proporcionada por la turbina a partir de la velocidad del viento es inferior a la del panel solar, que es de 4750 Wh/día. La producción de energía eólica no es viable en esta ubicación, según los resultados de las evaluaciones de los recursos solares y eólicos, que muestran una radiación solar media anual de 6,94 kWh/m²/día y una velocidad media anual del viento de 3,01 m/s. La evaluación técnica del sistema elegido incluye un sistema de abastecimiento de agua solar fotovoltaico, una población de 158 personas y un caudal medio diario de 0,17 l/s. Los componentes del sistema, que incluyen un depósito de impulsión de 15 m³ y una línea de impulsión de 570,87 m que conecta la estación de bombeo con el depósito de apoyo para la regulación y el almacenamiento, están diseñados con tuberías de PVC SAP C-10 de 2 pulgadas. Debido a su amplio rango de tensión de funcionamiento (30-300 V CC) y su alta capacidad de corriente (8,4 A), se seleccionó el motor eléctrico de la bomba sumergible Grundfos SQF 3A-10. Según las especificaciones eléctricas del módulo solar IS-150/12, la corriente máxima es de 8,7 A.. Por lo tanto, solo se puede realizar una conexión en serie entre los módulos fotovoltaicos. El gráfico tiene en cuenta el caudal de bombeo actual y la altura dinámica total de 65,73 metros. La potencia se seleccionó utilizando un caudal de 2,95 m³/h. De ello podemos deducir que la bomba necesita alrededor de 1290 W para funcionar. Es necesario modificar la potencia de salida del generador solar con precisión para adaptarse a las alternativas disponibles en el mercado. Para este proyecto se están evaluando los módulos solares modelo IS-150/12 de ISOFOTON.



Cada módulo tiene 150 Wp y unas características eléctricas de 1650 Wp (1000 W/m², célula a 25 °C, AM 1,5). En situaciones en las que no se necesita el suministro de agua o cuando es necesario realizar reparaciones, este interruptor puede Para conectar y desconectar manualmente la fuente de alimentación del sistema mediante un controlador IO 101 SQFlex. Con una inversión inicial de 130 713,00 soles y una garantía de funcionamiento y mantenimiento de más de 20 años, Todo el sistema solar fotovoltaico de suministro de agua potable se incluyó en el estudio de evaluación económica del proyecto. precios de 325 075,75 soles en lugar del precio inicial de S/ cuando se utilizan fuentes de energía tradicionales. La energía solar fotovoltaica es más práctica a largo plazo que la energía convencional, Incluye 633 806,64 soles en gastos de mantenimiento y energía durante un período de 20 años, lo que supone un ahorro de 138 441,36. Los costes de la producción de energía convencional ascendieron a 0,86 S/kWh, mientras que los de la producción de energía solar fueron de 0,46 S/kWh. Según las evaluaciones técnicas y económicas del estudio, la energía solar es la mejor alternativa al sistema convencional para bombear agua potable a parte de la comunidad de Fharata Copani. Esto se debe a que la energía solar requiere menos inversión financiera para su mantenimiento a lo largo de su vida útil y tiene requisitos de funcionamiento y mantenimiento más sencillos.

Andrade & Quispe (2016), Este estudio examinará el diseño y el funcionamiento de Una instalación solar eólica que puede proporcionar de los equipos de bombeo de agua. El sistema consta de cuatro generadores alimentados con energía solar y una turbina eólica. Diez hogares de Chinumani podrán utilizar esta técnica para sustituir su actual método de riego manual, que consiste en cavar surcos, por el riego mediante



tuberías. Este estudio incluirá componentes tanto teóricos como aplicados. Para mejorar el diseño agronómico, es necesario estudiar primero todos los componentes del sistema propuesto. Estos componentes incluyen un sistema hidráulico para bombear agua, un sistema de riego y un sistema de energía solar eólica para la producción de energía. Por último, con el fin de garantizar su uso y funcionamiento en la agricultura de la localidad de Chinumani, distrito de Yunguyo, todos estos resultados se verificarán mediante programas informáticos como Homer 2, entre otros. Para asegurarnos de que el sistema funcione correctamente, también evaluaremos la viabilidad económica del sistema eólico-solar proyectado en comparación con un sistema convencional de bombeo de agua para riego.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Energías renovables

Estos son recursos que se producen incesantemente y nunca se agotan. Pueden utilizarse con la frecuencia que se desee, dada su fuente inagotable. Las fuentes de energía más conocidas son la solar y la eólica, mientras que la energía maremotriz y la geotérmica son menos conocidas. (Cespedes & Vásquez, 2019).

Las energías más útiles hoy en día son los combustibles utilizados en la industria, la automoción, la minería, la pesca y otras industrias que afectan tanto al medio ambiente como a la salud humana. Además, la oferta de estas energías es limitada. Por lo tanto, Encontrar y desarrollar fuentes de energía respetuosas con el medio ambiente es un reto global. (Espitia, 2020).

2.2.2. Energía eólica

Esta Es uno de los primeros tipos de energía. Inicialmente se utilizó para propulsar barcos, moler grano y bombear agua. Transforma el flujo de aire en energía mecánica y la utiliza para generar electricidad. (Maque, 2023).

Proviene del viento, que transforma Energía cinética generada por la corriente de aire en otras formas de energía utilizadas en una variedad de actividades terrestres. (Caita, 2014)

Figura 1 Sistema de aerogeneradores de fuente eólica



Nota. Obtenida (Agosto, 2011).

2.2.2.1. Ventajas y desventajas de la energía eólica

Céspedes & Vásquez (2019), describe algunas ventajas y desventajas de la energía eólica:

Ventajas

- Se restaura de forma continua.
- Es interminable.
- Existente en la tierra.
- Es más económica conforme aumenta la tecnología.



- Accede al desarrollo, respetando el medio ambiente.

Son fuentes más baratas a diferencia de otras fuentes de energías tradicionales como una central térmica con la utilización del carbón (Ramírez, 2019).

Al generar electricidad sin un procedimiento de combustión o una fase de conversión térmica, visto desde un tema medioambiental, es un método muy propicio por ser pulcro. La generación de corriente eléctrica no tiene incidencias hacia la particularidad del suelo, ya que no provoca ningún contaminante referente a este medio. No origina residuos secundarios peligrosos (Ramírez, 2019).

Desventajas

- El vapor de agua y los gases se combinan para formar el aire, con peso específico que comprende elaborar máquinas enormes de una altura igual o similar a la de un edificio de diez pisos. En cuanto a las dimensiones totales de los álabes, alcanza a un aproximado de veinte metros; por lo tanto, es cara la producción.
- Provoca una distorsión visual del lugar, debido a las particularidades que presentan las máquinas, la implementación de energía eólica puede producir un cambio sobre el paisaje que deberá ser evaluado según cada localidad.
- El sonido creado por la rotación del rotor es un aspecto perjudicial.
- La selección del parque eólico puede afectar a las aves. Se debe tener cuidado por el peligro de matanza al colisionar con los álabes



2.2.3. Sistema eólico solar para bombeo de agua con fines de riego.

Según Andrade & Quispe (2016), Las siguientes piezas conforman un sistema de energía eólica que bombea agua para el riego:

2.2.3.1. Aerogenerador

Lo que llamamos «energía eólica» es en realidad la energía que puede generar una determinada cantidad de aire en movimiento. Al girar su eje, las turbinas eólicas convierten esta energía en electricidad. (Arricibita, 2015).

En general, un aerogenerador puede producir una cantidad significativa de energía a velocidades de viento moderadas y requiere menos mantenimiento que un panel fotovoltaico. El estudio de viabilidad del sistema, al evaluar el recurso eólico disponible, presenta el mayor obstáculo para el uso de estos generadores como medio para producir energía debido a su alta variabilidad, que puede resultar en fluctuaciones significativas en la producción de energía. (Arricibita, 2015).

2.2.3.2. Funcionamiento general

Una turbina eólica capta la energía del movimiento de cierta cantidad de aire a través de sus aspas y la transforma en movimiento de rotación sobre un eje. Los generadores eléctricos, en cambio, convierten el par del eje en energía eléctrica. (Andrade & Quispe, 2016).

Eje horizontal

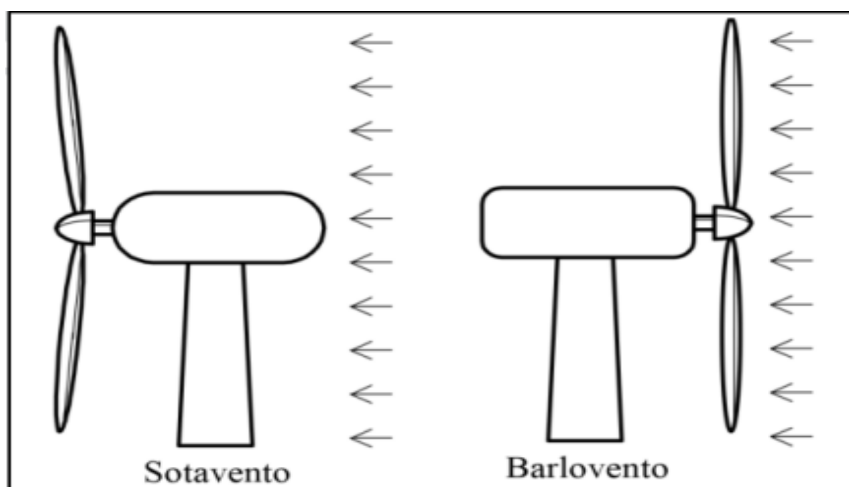
Con orientación a barlovento, el rotor se orienta directamente hacia el viento frente a la torre; con orientación a sotavento, se orienta hacia el viento desde detrás de la torre.

En el segundo caso, el rotor es capaz de posicionarse automáticamente en relación con la dirección del viento. (Andrade & Quispe, 2016).

Eje vertical

Debido a su simetría, estas turbinas están siempre orientadas hacia el viento y no se ven afectadas por fuertes turbulencias.

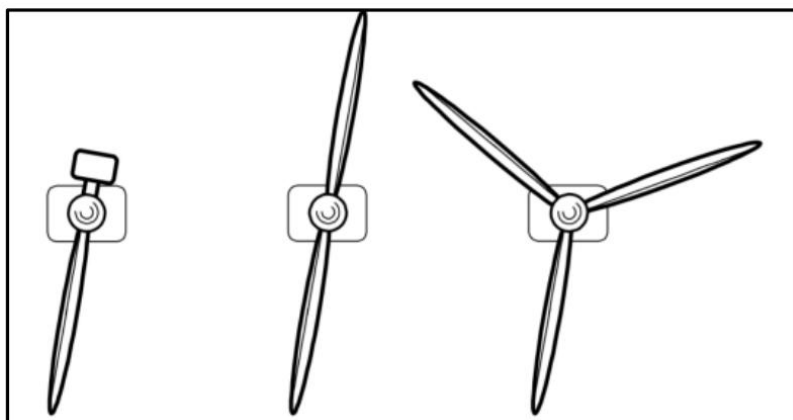
Figura 2 Configuración a sotavento y barlovento.



Nota. Obtenida (Andrade & Quispe, 2016)

Por otro lado, las turbinas eólicas de rotor horizontal utilizadas en la minienergía eólica generalmente carecen de un sistema de orientación, ya que sus rotores están orientados contra el viento. Por ello, pueden girar 360 grados para adaptarse a los cambios de dirección del viento y optimizar la producción.

Figura 3 Configuración monopala, bipala y tripala.



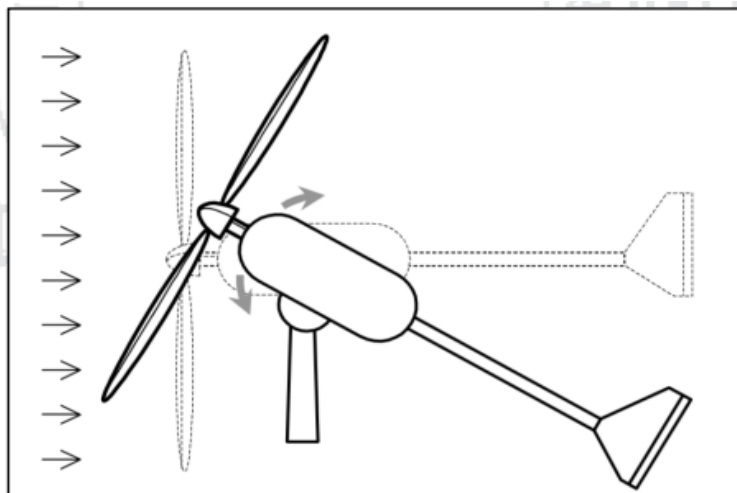
Nota. Obtenida (Andrade & Quispe, 2016)

La mayoría de los aerogeneradores tienen tres palas porque, a pesar de ser ligeramente más caros que los de dos, soportan menos estrés y son menos propensos a la fatiga. En comparación con los aerogeneradores de tres palas, los de una sola pala presentan las mismas desventajas que los de dos palas, pero son más económicos.

2.2.3.3. Operación

Cuando se determina la velocidad del viento dentro de un rango admisible —entre la velocidad de arranque y la velocidad de arranque—, el aerogenerador puede generar energía. La tasa prevista a la que la demanda energética superará a la generación de energía durante el funcionamiento se denomina velocidad de arranque o de arranque, y la velocidad de corte es la velocidad a la que se considera que la turbina eólica no podrá soportar las tensiones dinámicas que el viento ejerce sobre su estructura.

Figura 4 Orientación del rotor con la dirección del viento predominante.



Nota. Obtenida (Andrade & Quispe, 2016)

Al determinar Para determinar qué aerogenerador es el más adecuado para una zona determinada, hay que tener en cuenta otros factores además de la potencia nominal del modelo. Por ejemplo, es fundamental determinar con precisión el recurso eólico actual para determinar la cantidad de electricidad producida al año. Por lo tanto, la selección del aerogenerador más adecuado para la ubicación se puede realizar con mayor precisión Si uno es consciente de la distribución estadística que representa el régimen eólico actual del sitio.

2.2.3.4. Instalación

Instalar Una turbina eólica energéticamente eficiente es comparativamente sencillo. Para empezar, debe instalarse a una altura significativa para beneficiarse de velocidades más rápidas. Para ello, se cementará y anclará a un poste metálico. Además, se debe contar con un sistema para subir y bajar el aerogenerador si es necesario.



2.2.4. Bombeo eólico

Un típico molino de viento americano de múltiples palas, en el que el par impulsa la bomba mecánica, o una turbina eólica eléctrica que se conecta directamente a una Bomba diseñada para funcionar a una frecuencia comparable a la del generador, son las dos aplicaciones del bombeo de agua con energía eólica. (Sandoval, 2018).

2.2.4.1. Bombeo con aerobomba

El eje de una bomba sumergible es accionado directamente por la energía eólica. Para conservar el agua extraída, se puede utilizar un tanque. Este método se refiere a condiciones en las que la velocidad media del viento es inferior a 4,77 m/s.; es económico y se puede fabricar localmente. (Sandoval, 2018).

2.2.4.2. Bombeo directo

Dependiendo de la velocidad del viento, el molino utiliza electricidad para accionar una bomba. (Sandoval, 2018).

2.2.4.3. Sistema eólico para “bombeo de agua”

Una bomba eólica es un molino de viento de alto par y baja velocidad, comúnmente utilizado en zonas rurales. El bombeo de aguas subterráneas es su principal aplicación. Estas máquinas utilizan una parte giratoria de múltiples palas que se extiende desde un eje horizontal con entre 6 y 24 palas, según el tipo y el diámetro; los diámetros suelen oscilar entre 1,6 y 6 m. La parte giratoria Está situada en lo alto de una torre lo suficientemente alta como para captar el viento. La rueda se orienta hacia el viento mediante una veleta alta que se asemeja a un timón. (Sandoval, 2018).



2.2.4.4. Bombeo mecánico del agua

Una de las formas de bombear agua es utilizando una bomba de pistón, la cual provoca succión en la tubería sumergida y expulsión a un tanque de almacenamiento. (Sandoval, 2018).

Para lograr esto, la bomba debe estar conectada a un dispositivo. Generalmente, es mejor bombear lentamente para que el agua fluya con mayor fluidez por las tuberías. Por lo tanto, Es necesario un par inicial elevado para superar la inercia del equipo, pero no es necesaria una velocidad de rotación del rotor elevada en el uso mecánico de los sistemas eólicos para el bombeo de agua. (Sandoval, 2018).

Estos requisitos se cumplen con las turbinas eólicas convencionales de múltiples palas, debido a su fuerte par inicial y su capacidad para funcionar con vientos muy débiles. (Sandoval, 2018).

2.2.5. Sistema de riego

Arizaca (2022), Define Conjunto de piezas que componen un sistema de riego que distribuyen el agua por toda la parcela y la transportan hasta la fuente. Los tres componentes del sistema son el sistema de producción agrícola de riego, la infraestructura y la organización que lo gestiona y mantiene. Para que los proyectos de riego tengan sentido y funcionen, estos tres componentes deben estar presentes.

2.2.5.1. Componentes del sistema de riego

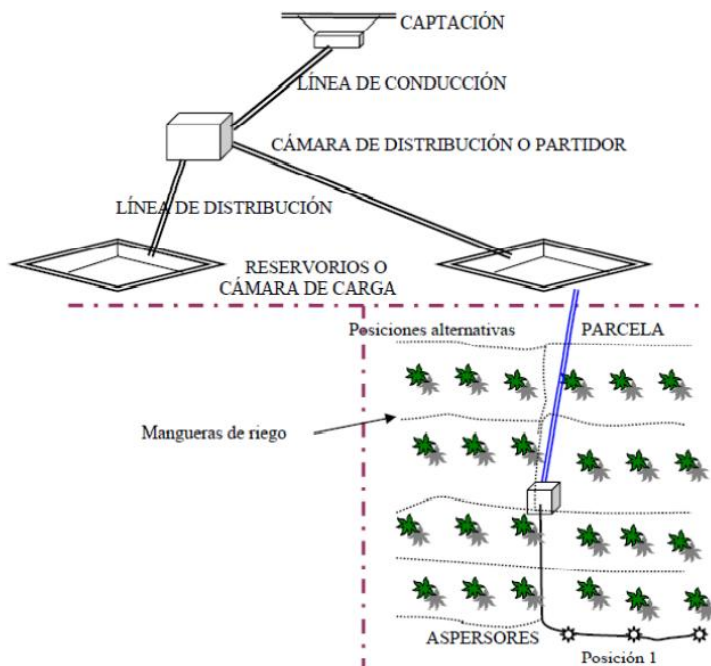
Según Arizaca (2022), explica los distintos componentes del sistema de riego.



- a) **Captación-**. El agua de los ríos, manantiales y otras fuentes de agua es desviada por esta construcción hidráulica y transportada a la tierra.
- b) **Línea de conducción o impulsión-**. El agua se redirige desde ríos, manantiales y otras fuentes de agua mediante este sistema hidráulico y la lleva a la tierra.
- c) **Reservorio-**. El depósito controla la Relación entre el caudal real de los aspersores y el caudal preestablecido obtenido por el sector de riego de ese sector. Cualquier disparidad que pueda existir entre ambos, será absorbida por el depósito. También sirve como cámara de carga del sistema, donde se mantiene la presión en todo momento.
- d) **Red de distribución-**. El flujo del sistema se distribuye a los distintos sectores de riego a través de los siguientes canales abiertos o canalizados. Otras características que podemos emplear en los sistemas canalizados son válvulas de control, válvulas de drenaje, válvulas de aire y cámaras de alivio de presión.
- e) **Válvula de control-**. Una válvula de control es uno de estos accesorios. que controlan la distribución del agua en todo el sistema, ya sea abriéndose y cerrándose o regulando el caudal. El origen de las redes primaria y secundaria está marcado por estas válvulas. También existen otras válvulas ubicadas estratégicamente en Varias ubicaciones dentro de la red primaria o secundaria para proteger el sistema de riego en caso de mantenimiento o averías.

- f) **Línea de riego**-. La línea de riego fija distribuye el agua por toda la zona de riego y conecta las líneas móviles presurizadas con los hidrantes. Está fabricado con tuberías subterráneas de PVC con diámetros diseñados para proporcionar suficiente presión a los aspersores de cada hidrante.

Figura 5 Sistema de riego



Nota. Obtenida (Arizaca, 2022)

2.2.5.2. Requerimiento hídrico para el funcionamiento de un sistema de riego

Cómo está diseñado el sistema de riego depende en gran medida de cálculos agronómicos. Verificar que la red hidráulica del sistema pueda satisfacer cuánta agua necesita el cultivo en el momento álgido de la temporada de crecimiento, a la vez que humedece el volumen de suelo necesario para su desarrollo, se denomina diseño agronómico. Este procedimiento consta de dos fases: (Palomino, 2016).

La cantidad de agua que necesitan las plantas se puede calcular observando sus tasas de evapotranspiración y sus tasas de retención de agua. Para organizar el tiempo



y la cantidad de riego, es fundamental comprender estas necesidades antes de desarrollar sistemas para recoger, distribuir y aplicar el agua. Cuando las plantas herbáceas cubren una gran superficie y el suelo es muy rico en agua, este proceso se denomina evapotranspiración.

Determinar la dosis, frecuencia y momento del riego: Las necesidades de riego suelen expresarse en términos de profundidad del agua a lo largo del tiempo. Por ejemplo, mm/día. Con el fin de dimensionar la red de agua en circunstancias críticas, es fundamental estimar la cantidad de agua que debe administrarse durante el ciclo de cultivo, especialmente la demanda máxima o pico. Un conocimiento deficiente de las necesidades hídricas del cultivo puede llevar a una reducción significativa de las mismas durante el período de demanda máxima. Tanto la lámina de riego como el intervalo de riego están directamente relacionados. A medida que aumenta la frecuencia de riego, los intervalos de riego se acortan. Como los cultivos en cuestión requieren menos agua durante este tiempo, la profundidad de riego necesaria también disminuye.

a) Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o)

Esta es la evapotranspiración del cultivo de referencia cuando no hay restricciones hídricas. El área de referencia es un cultivo ficticio de pasto de altura uniforme, bien regado y que crece en condiciones ideales. Los parámetros climáticos (temperatura mínima, máxima y media, humedad relativa, radiación solar extraterrestre, viento, horas de sol, etc.) son los únicos elementos que influyen en la ETP; no se tienen en cuenta las características del cultivo ni las condiciones del suelo. (Arizaca, 2022).



- **Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ETo)**

El método Penman-Monteith es el más representativo de los diversos enfoques para estimar la evapotranspiración potencial. Esto se debe a que los demás enfoques empíricos presentan desviaciones significativas y, como resultado, sobreestiman o subestiman la cantidad de agua requerida. (Llatas, 2018).

Método de Penman-Monteith-. De la ecuación original de Penman-Monteith se deriva la técnica de Penman-Monteith para estimar la ETo. Con este enfoque, se reducen los errores del anterior y las cifras que proporciona se ajustan más a los datos reales sobre el uso del agua en diferentes cultivos. Para crear esta técnica, primero definimos el cultivo de referencia como un cultivo imaginario. (Llatas, 2018).

La fórmula de referencia de evapotranspiración, Para calcular la ETo, se utiliza la técnica de Penman-Monteith. Esta fórmula tiene en cuenta condiciones meteorológicas como la insolación, la humedad, la temperatura del aire y la velocidad del viento. Si desea que sus datos climáticos sean precisos, debe medirlos o traducirlos a una altura de dos metros sobre un enorme campo de césped verde totalmente irrigado. Esto se representa mediante la siguiente ecuación: (Llatas, 2018).

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)}$$

Donde:

El valor estándar de evapotranspiración es



ET_o (mm da^{-1}). La radiación neta en la superficie del cultivo se denomina R_n (MJ m^{-2}).

G es el flujo de calor en el suelo

(MJ m^{-2}), T es la temperatura media del aire a dos metros de altura

($^{\circ}\text{C}$), u es la velocidad del viento a dos metros de altura

(m s^{-1}). La presión de vapor de saturación

(kPa) se denomina e_s . e es la presión de vapor real (kPa),

representa la constante psicrométrica y es la pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

b) Necesidad de cálculo de la demanda de agua

Según Llatas (2018), Menciona que Una estimación precisa de la cantidad de agua necesaria sirve de base para el diseño del sistema de riego, que a su vez proporciona una respuesta suficiente a las necesidades hídricas de las plantas, lo que finalmente se verá reflejado en las propiedades visuales del área afectada.

Así mismo la FAO (2007), La evapotranspiración de los cultivos (ET_c) se denomina a veces evapotranspiración real o consumo de agua de los cultivos. Es la cantidad real de agua utilizada por un determinado cultivo durante el período de tiempo considerado. La siguiente es la fórmula para la evapotranspiración del cultivo:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración de cultivo



K_c : Coeficiente del cultivo

ET_0 : Evapotranspiración del cultivo de referencia

c) Coeficiente de Cultivo

Según Palomino (2016), Se menciona que el coeficiente de cultivo (K_c) representa la relación entre la evapotranspiración probable del cultivo de referencia y la del cultivo objetivo. El coeficiente de cultivo (K_c) es una medida de la capacidad única de la planta para extraer agua de la tierra a medida que crece; su valor varía según las características individuales de la planta. La temporada de crecimiento de la mayoría de los cultivos anuales consta de cuatro etapas distintas.

- **Fase inicial:** incluye el tiempo desde la siembra y la emergencia hasta que el 10 % del suelo queda cubierto con biomasa del cultivo.
- **Fase de desarrollo:** Esta fase abarca desde el momento en que el 10 % de la cubierta vegetal está cubierta por biomasa agrícola hasta que la cubierta vegetal ha terminado de crecer, o hasta que la cubierta efectiva se sitúa entre el 70 % y el 89 %.
- **Fase de media temporada:** entre la conclusión del crecimiento del cultivo y el inicio de la maduración del cultivo
- **Fase de final de temporada:** Desde el inicio del desarrollo del cultivo hasta la cosecha o la madurez completa.

Tabla 2 Valores K_c para fines de diseño de sistemas de riego



PASTOS	Kc ini.		Kc fin	
	H*	S*	H	S
Alfalfa	0.50	0.40	0.85	1.00
Leguminosas	0.55	0.55	1.00	1.05
Pasto para heno	0.60	0.55	0.80	0.90
Pasto bajo pastoreo	0.55	0.50	0.95	1.00

H* = clima húmedo S* = clima húmedo

Nota. Obtenida de (FAO, 2007)

d) Parámetros de riego

Jara & Ramos (2018), Indican que para obtener parámetros de riego en términos de diseño y tamaño de los equipos de riego, se requiere información agrotécnica, incluyendo:

- CC = contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (% en peso).
- PM = porcentaje en peso del contenido de humedad del suelo en el punto de marchitez.
- Da = densidad aparente (g/cm³).
- Z = profundidad radicular efectiva (m).
- DT = porcentaje de declive tolerable, déficit de manejo o agotamiento del agua del suelo para lograr un mejor equilibrio económico. • Ea = eficiencia esperada de la aplicación. • A = superficie total a regar.
- Trd = tiempo diario asignado para el riego. • DL = días sin riego durante un ciclo de riego.



1) Lamina neta de riego (L_n)

Llatas (2018), Esto demuestra que la capa neta depende de las propiedades físicas del suelo, que determinan su capacidad de almacenamiento hasta las raíces de las plantas y se calcula mediante la siguiente expresión.

2) Lamina bruta de riego (L_b)

Teniendo en cuenta Profundidad neta, demanda de evapotranspiración y gestión del agua del suelo durante el período de máxima demanda, la profundidad bruta es la profundidad de agua que es necesario reponer después de cada riego. (Jara & Ramos, 2018).

3) Intensidad de la aplicación (I_a)

Se conoce la lámina bruta de riego (L_b), cuyo valor indica la cantidad de humedad necesaria para reponer la que el cultivo ha consumido, así como los factores ambientales a lo largo del tiempo. Sin embargo, dado que el sistema de riego aplica esta lámina, era necesario conocer Los milímetros por hora de la intensidad de aplicación (I_a). (Jara & Ramos, 2018).

4) Tiempo de riego (T_r)

La duración del riego dependerá de la dosis bruta que se pretenda dar (L_b) y de la intensidad de la aplicación (I_a). (Jara & Ramos, 2018).



5) Volumen y Caudal de riego .

El volumen de agua que entra en un emisor o fluye por una tubería a un caudal determinado se denomina caudal. El número de emisores necesarios y la zonificación del riego dependerán de las necesidades hídricas de las especies cultivadas, la superficie del jardín y el caudal en la toma de agua del sistema de riego. (Llatas, 2018).

6) Programación de turnos de riego

Durante un turno de riego, La programación de turnos determina qué parcelas deben regarse al mismo tiempo y qué válvulas deben abrirse. El diseño del sistema de riego suele especificar el orden en que se abren las válvulas, dependiendo de si se deben activar todas las válvulas o si se debe regar toda la zona del proyecto. El análisis técnico de esta programación es crucial para garantizar el funcionamiento hidráulico del sistema. En cualquier otro caso, la uniformidad del agua podría verse comprometida por la baja presión en algunas áreas del proyecto. (Llatas, 2018)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Diseño de un sistema de bombeo

El diseño de un sistema de bombeo es el proceso de planificación, dimensionamiento de los componente hidráulicos, mecánicos y energéticos para poder acarrear agua u otros líquidos a su destino predeterminado.

2.3.2. Sistema de bombeo eólico



Un sistema de bombeo eólico es una instalación en la que la turbina eólica se alimenta principalmente de energía eólica y producir energía eléctrica necesaria con el fin de encender el motor eléctrico y así poder bombear agua al destino establecido

2.3.3. Energía eólica

Un tipo de energía renovable que se produce aprovechando el viento es la energía eólica. Mediante aerogeneradores, la energía cinética del viento se transforma en energía mecánica y eléctrica.

2.3.4. Sistema de riego

El sistema de estructuras que permite aplicar agua a las plantas en un área específica; los componentes exactos de este sistema variarán en función del tipo de riego utilizado, que puede ser Riego por goteo, aspersión, microaspersión o riego superficial.

2.3.5. Necesidad hídrica del cultivo

Muestra la cantidad de agua que necesita el cultivo para crecer de la mejor manera posible. Es la cantidad total de agua necesaria para el desarrollo celular y la evapotranspiración de un cultivo concreto en un entorno determinado, desde la siembra hasta la cosecha. determinado, cuando las precipitaciones o el riego son suficientes para mantener la humedad del suelo, sin limitar el crecimiento ni el rendimiento de la planta. (Peralta & Castillo, 2016).



2.3.6. Bomba

Un fluido puede obtener energía en a través de un transformador de energía, que transforma la energía mecánica en diversas formas, como presión, posición o velocidad. Una bomba y un actuador, ya sea un motor eléctrico o un motor de combustión interna, conforman el sistema. (Peña, 2014).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

Este tipo de investigación no es de naturaleza experimental, ya que no incluye la manipulación intencionada de variables, sino más bien la observación de acontecimientos en su hábitat natural. (Hernández & Mendoza, 2014).

3.2. Tipo de la investigación

Además de aportar una gran cantidad de información nueva que enriquece el campo, este tipo de estudio es de aplicativa, ya que aplica el conocimiento en beneficio de los grupos involucrados en estos procesos y de la sociedad en su grupo. El objeto de la investigación aplicada en las ciencias prácticas es utilizar lo ya conocido de inmediato. (Baena, 2017).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población



La población en estudio está representada por toda la extensión del distrito de Arapa que contempla 329.85 km².

3.3.2. Muestra

A decisión del investigador, se ha tenido en cuenta una muestra no probabilística; ante ello la muestra es una extensión de 3hectareas para riego, en el distrito de Arapa.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

- Revisión bibliográfica
- Observacional

3.4.2. Instrumentos

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Civil 3D
- WaterCAD

3.5. Materiales y equipos

A continuación se incluye una lista de los materiales y herramientas necesarios para realizar el estudio.

a) Materiales

- ✓ Materiales de escritorio
- ✓ Cuaderno de apuntes

b) Equipos

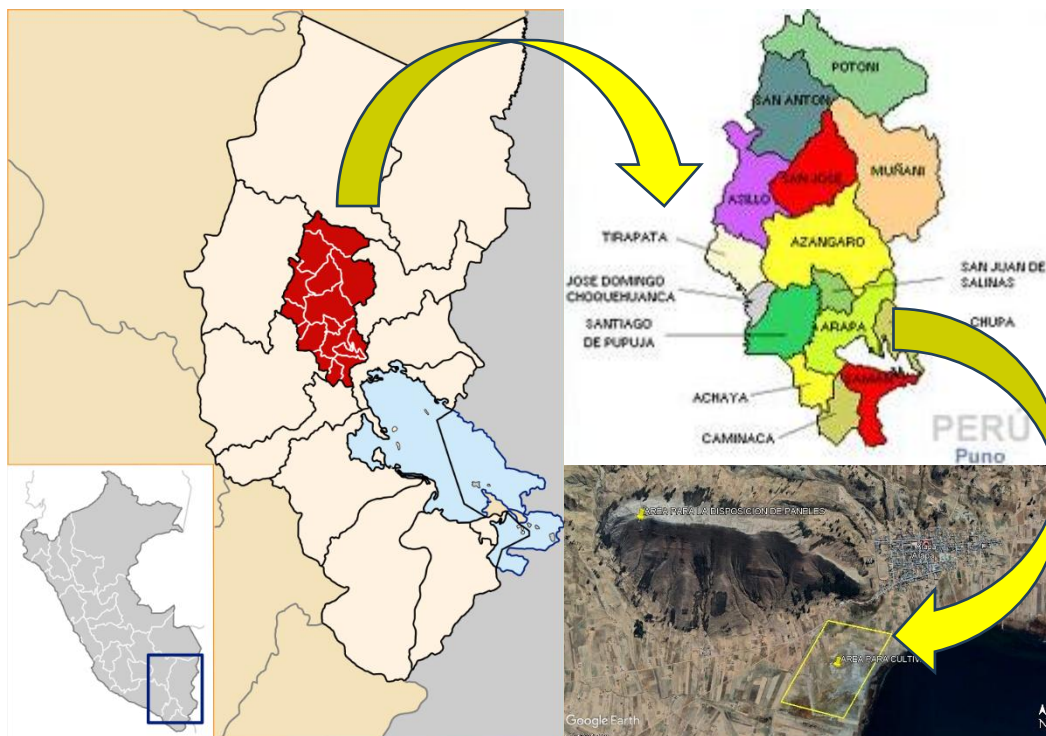
- ✓ Cámara digital.

- ✓ Laptop.
- ✓ Motocicleta.
- ✓ Calculadora.
- ✓ Navegador Satelital GPS.
- ✓ Cronometro.

3.6. Ubicación de la zona en estudio

El proyecto se llevará a cabo en la región de Arapa, en la provincia de Azángaro, que se encuentra a 3881 metros sobre el nivel del mar y tiene las siguientes coordenadas geográficas: latitud: 15° 8'18.30« S, longitud: 70° 6'47.62» O.

Figura 6 *Ubicación del área en estudio*





3.7. Procedimiento metodológico

3.8. Analizar el potencial eólico mediante registros disponibles de la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024

Para determinar la velocidad del viento y dirección del viento; se realizará la descarga de datos de la estación mas representativa de la zona en estudio del sitio web del SENAMHI para seguidamente importar los datos WRPLOT view; y conocer la dirección predominante del viento y la velocidad concerniente a cada mes

3.8.1. Determinar el requerimiento hídrico necesario para riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024

Para el cumplimiento del presente objetivo, se estableció el área de riego para determinar del requerimiento hídrico o calculo agronómico tal como lo recomienda la R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI; mediante los siguientes procedimientos:

1. Evapotranspiración del cultivo

La siguiente fórmula se utiliza para determinar la evapotranspiración de los cultivos, o la cantidad de agua que necesitan los cultivos.

$$Etc = ETo * Kc$$

Donde:

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)



Kc: Coeficiente único de cultivo

Además de aportar una gran cantidad de información nueva que enriquece el campo, este tipo de investigación es de naturaleza aplicada, ya que aplica el conocimiento en beneficio de los grupos involucrados en estos procesos y de la sociedad en general. El objetivo de la investigación aplicada en las ciencias prácticas es utilizar lo ya conocido de inmediato.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2)}$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día)

T: Temperatura media del aire a dos metros de altura (°C)

μ₂: Velocidad del viento a dos metros de altura (m/s)

es: Presión de vapor de saturación (kPa).

ea: Presión real de vapor (kPa)

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C) y

γ: Constante psicrométrica (kPa/°C).

2. Lamina neta de riego (Ln)

Según Jara y Ramos (2018), continúe aplicando la siguiente ecuación.:



$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da$$

Donde:

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

h: Altura de la raíz (m)

c: Coeficiente de agotamiento (%)

da: Densidad aparente (g/cm³)

Tabla 3 Datos para la determinación de la lámina neta de riego

Textura	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	12	5	1.13
Franco arenoso	16	7	1.42
Franco	31	13	1.58
Franco arcilloso	41	17	1.58
Arcilloso	48	19	2.23

Nota. Obtenida de (Arizaca, 2022)

3. Lamina bruta de riego (Lb)

La hoja de riego (Lb), que tiene en cuenta las pérdidas del sistema, se ajusta utilizando estos datos y la siguiente fórmula:

$$Lb = Ln / Ef$$

Donde:



ln: Lamina neta de riego (mm)

Ef : Eficiencia de riego

4. Intervalo o frecuencia de riego

Utilizando la fórmula, podemos obtener la frecuencia de riego, que es el periodo más largo que puede transcurrir entre dos riegos consecutivos:

$$I = Ln/ETc$$

Donde:

Ln : Lamina neta de riego (mm)

ETc : Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

5. Demanda de agua requerida para riego

$$Da = A * Lb$$

Donde:

A: Área de riego (m²)

lb : Lamina bruta de riego (m)

6. Caudal de agua requerido para riego

$$Q = \frac{Da}{Tr*3600}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

D_a : Demanda de agua (m³)

T_r : Tiempo de riego (s)

3.8.2. Calcular la potencia de la bomba de agua y la potencia del aerogenerador para el sistema de bombeo de agua con energía eólica en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024

Posteriormente luego de determinar el requerimiento hídrico del área de riego, se realizará los siguientes cálculos para determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, tomando en consideración los que indica (Alvarado & Medina, 2022):

a) Determinación del caudal de la fuente de agua

Se determinará el caudal del pozo, utilizando la técnica de prueba con bomba, que mide el área del pozo y la velocidad de desplazamiento desde la altura dinámica hasta la altura estática del pozo de agua mediante la siguiente ecuación.

$$Q = A_p * V_d$$

Donde:

Q : Caudal (m³/s)

A_p : Área del pozo (m²)

V_d : Velocidad de desplazamiento del agua (m/s)

$$V_d = \frac{D}{T}$$

Donde:

V_d : Velocidad de desplazamiento del agua (m/s)



D : Distancia de desplazamiento (m)

T : Tiempo de desplazamiento (s)

Este método se repetirá cinco veces para obtener datos más precisos sobre el caudal; debiendo ser superior al caudal requerido por el sistema.

b) Cálculo hidráulico del sistema de bombeo

1. Diámetro de tubería de impulsión

Para determinar el diámetro de la tubería de descarga se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb}$$

Donde:

D: Diámetro de tubería (pulgadas)

X: Horas de bombeo de agua

Qb: Caudal de bombeo

1. Caudal de bombeo

$$Qb = \frac{Vta}{T}$$

Donde:

Vta: Volumen del tanque (según calculo agronómico)

T: Tiempo (horas)

2. Potencia de bombeo



La expresión para el cálculo de la potencia se efectuó de la siguiente manera:

$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta}$$

Donde:

Pb: Potencia de la bomba (HP)

Qb: Caudal de bombeo

HDT: Altura hidrodinámica total

Qb: Eficiencia de la bomba (%)

c) Cálculo del sistema eólico

1. Potencia eólica

Dado que 4,91 metros es un tamaño de rotor comercialmente viable según el fabricante de aerogeneradores «ALFASOLAR», utilizaremos esta medida como punto de partida para determinar el diámetro del rotor del aerogenerador. Después de eso:

$$A = \pi * D^2$$

Donde:

A: Área barrida del rotor (m²)

D: Diámetro del rotor (m)

Reemplazando:



$$P_{eolic} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Donde:

P_{eolic} : Potencia eólica (W)

ρ : Densidad del aire (kg/m^s)

v : Velocidad del viento (m/s)

2. Potencia mecánica del rotor

Primeramente, dimensionaremos el Entre los diámetros de rotor de las turbinas eólicas, el más práctico es el de 4,91 metros, ya que es el tamaño utilizado por fabricantes de turbinas eólicas comerciales como «ALFASOLAR»:

$$P_{mec\ rot} = C_p(P_{eolic})$$

Donde:

$P_{mec\ rot}$: Potencia mecánica del rotor

C_p : coeficiente de potencia 0.59 (para generación de energía eléctrica)

3. Potencia eléctrica

$$P_{elec} = P_{mec\ rot} * R_{sm}$$

Donde:



P_{elec} : Potencia eléctrica (w)

R_{sm} : rendimiento del sistema mecánico 0.95

Energía del aerogenerador

$$E_a = P_{elec} * H_t * R_{se}$$

Donde:

E_a : Energía del aerogenerador

H_t : Hora de trabajo (horas)

R_{se} : Rendimiento del sistema eléctrico 0.95

d) Determinar la reserva eléctrica y número inversores en aerogenerador

Baterías- El voltaje de una batería, que es la suma de sus celdas individuales conectadas en serie para formar un valor estándar como 12 o 24 voltios, no debe superar el 70 % de su capacidad nominal, tal y como indica la fábrica Solostocks:

Capacidad total de baterías

$$C_t = \frac{C_B * 1.2 * n^\circ}{V * pd}$$

Donde:

C_t : Capacidad total de las baterías (Wh/día)



C_B : Capacidad de batería

n° : Número de días de autonomía de la batería = 2(reserva)

V : Voltaje de la batería (voltios)

1. 2: Margen de seguridad de carga

pd : Profundidad de descarga máxima diaria de la batería 20%



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

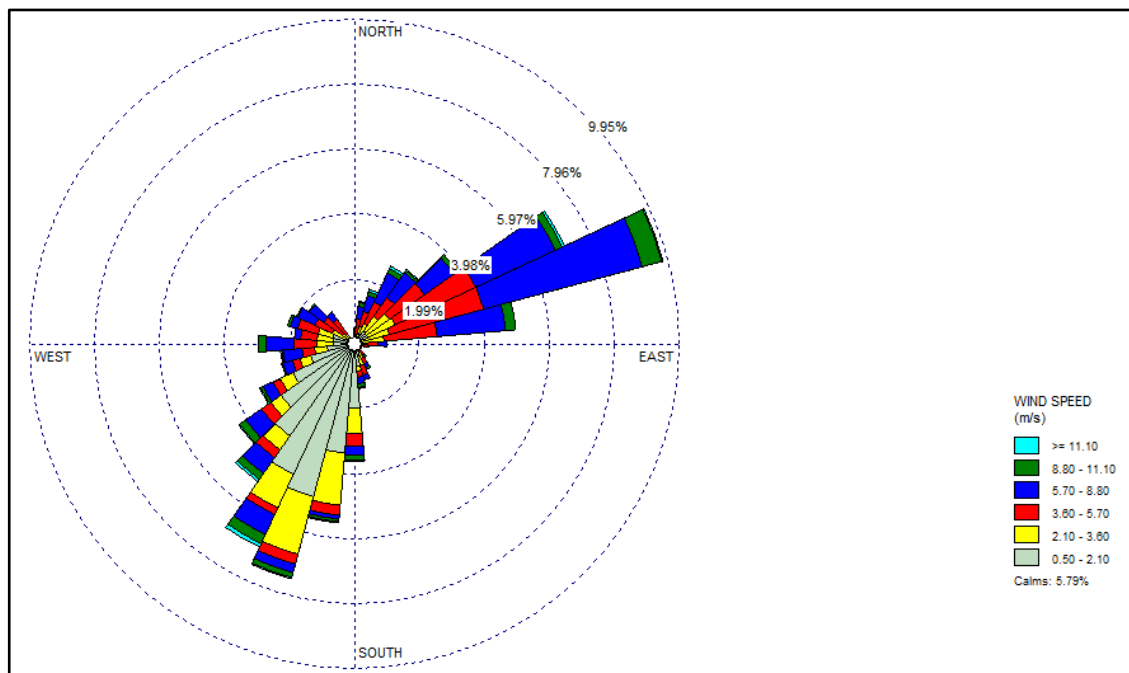
4.2. Analizar el potencial eólico mediante registros disponibles de la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024

- a) Se solicita información meteorológica a SENAMHI mediante TUSNE de la estación meteorológica más cercana al proyecto. (ESTACIÓN ARAPA Dep. PUNO-AZANGARO Lat:15°10'42.86"S Long:70°6'32.56"W alt.:3837msnm. CODIGO:115035.
- b) Los datos proporcionados de SENAMHI se procesan en Microsoft Excel.
- c) Se importan todos los datos al programa de WRplot. Y se generan rosas de viento.

En la figura 7, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de enero, indicando que la velocidad promedio es de 4.45m/s; así mismo la

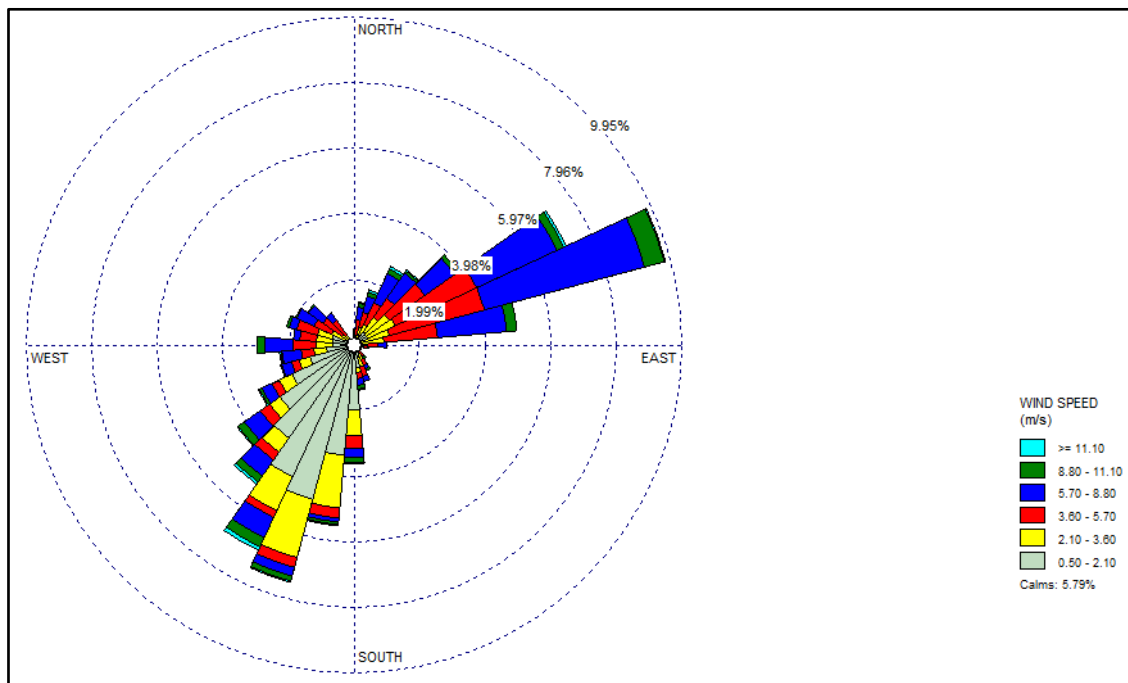
dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 7 Velocidad y dirección del viento del mes de enero



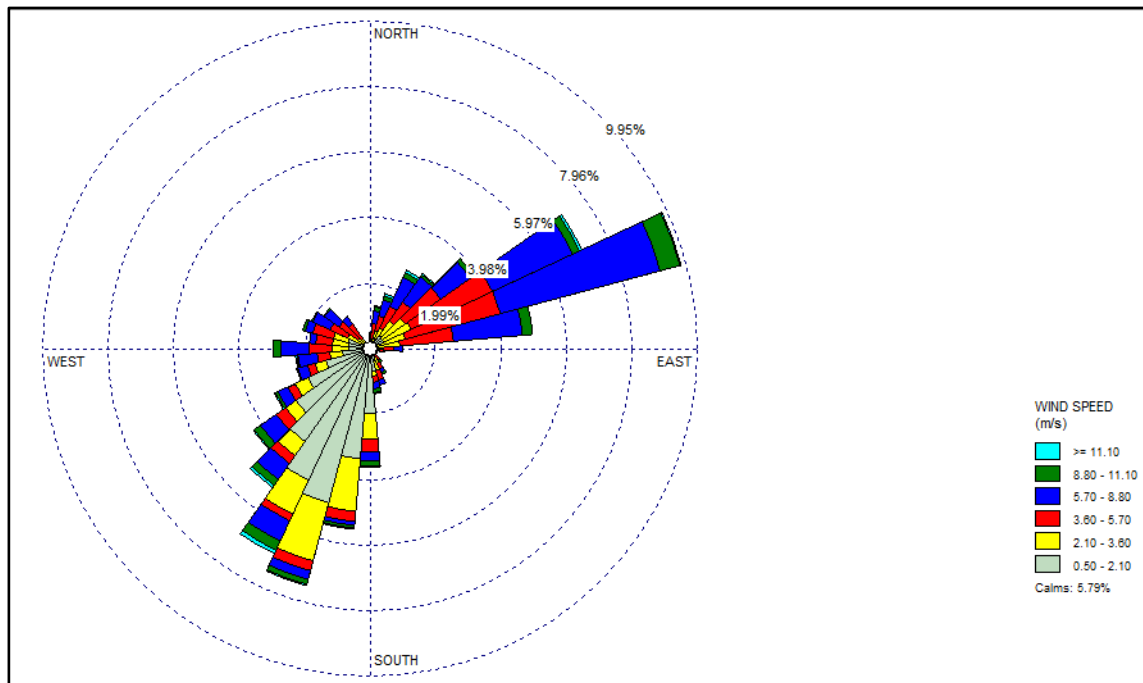
En la figura 8, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de febrero, indicando que la velocidad promedio es de 3.72m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 8 *Velocidad y dirección del viento del mes de febrero*



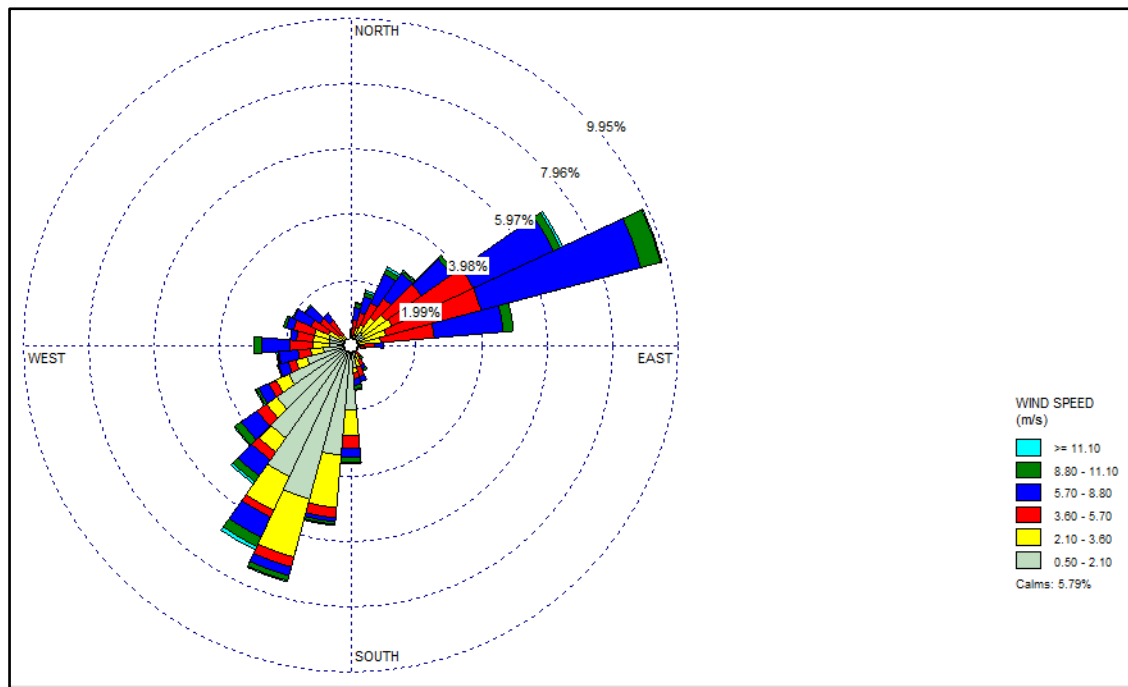
En la figura 9, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de marzo, indicando que la velocidad promedio es de 3.72m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 9 Velocidad y *dirección del viento del mes de marzo*



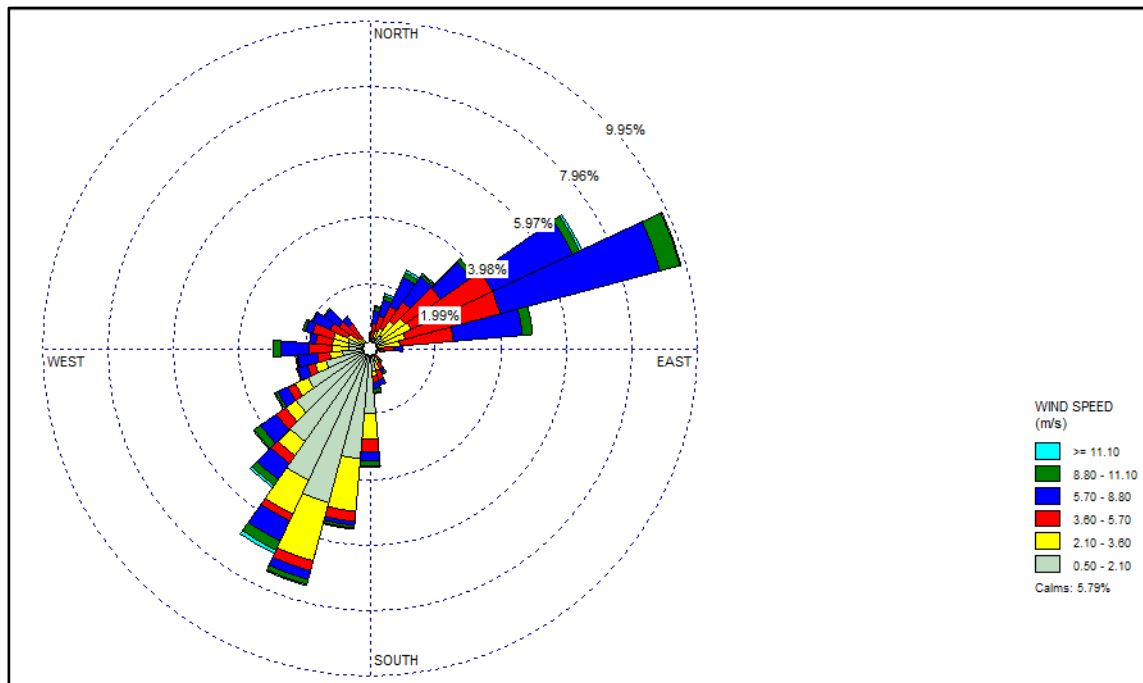
En la figura 10, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de abril, indicando que la velocidad promedio es de 3.07m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 10 Velocidad y *dirección del viento del mes de abril*



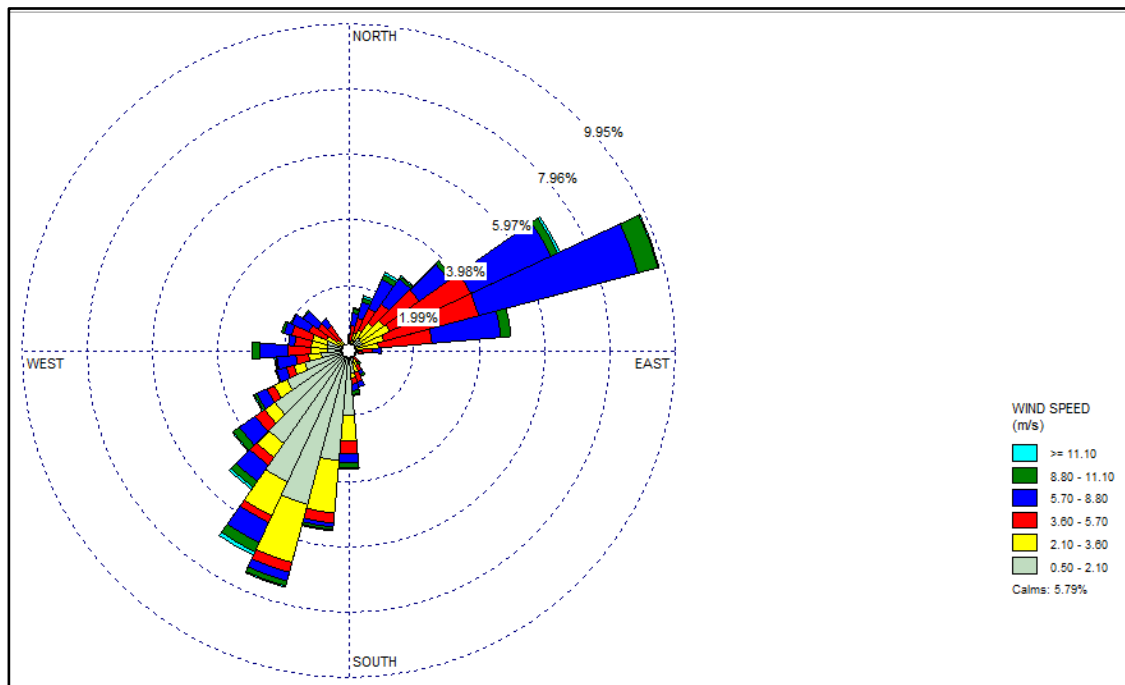
En la figura 11, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de mayo, indicando que la velocidad promedio es de 3.28m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 11 Velocidad y *dirección del viento del mes de mayo*



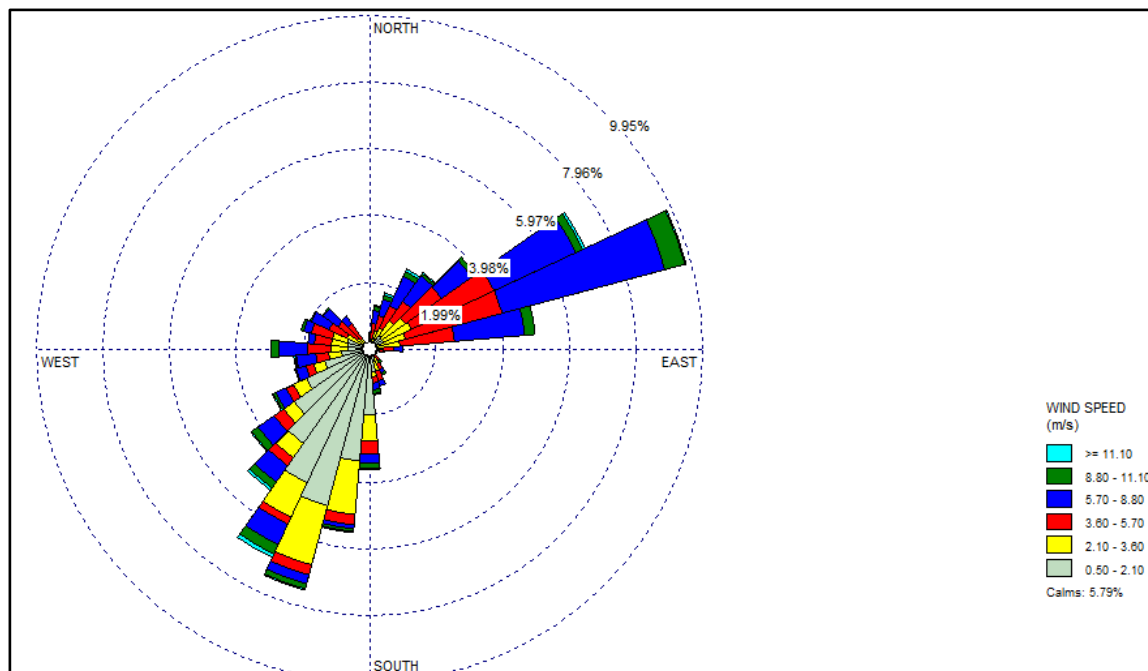
En la figura 12, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de junio, indicando que la velocidad promedio es de 3.14m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 12 Velocidad y *dirección del viento del mes de junio*



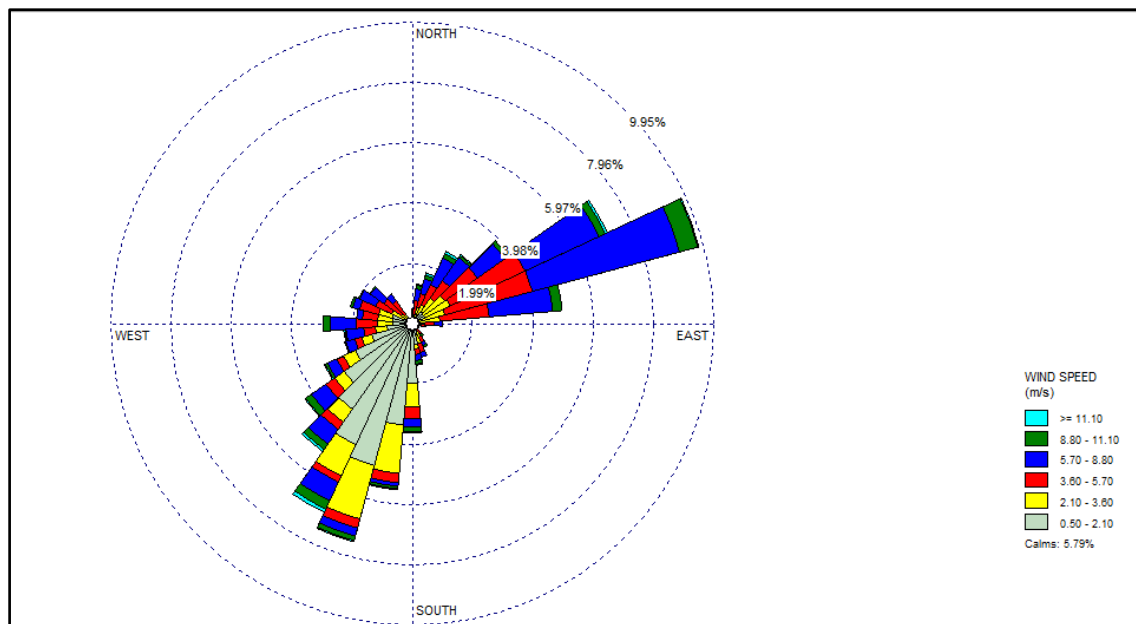
En la figura 13, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de julio, indicando que la velocidad promedio es de 3.29m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 13 Velocidad y dirección del viento del mes de julio



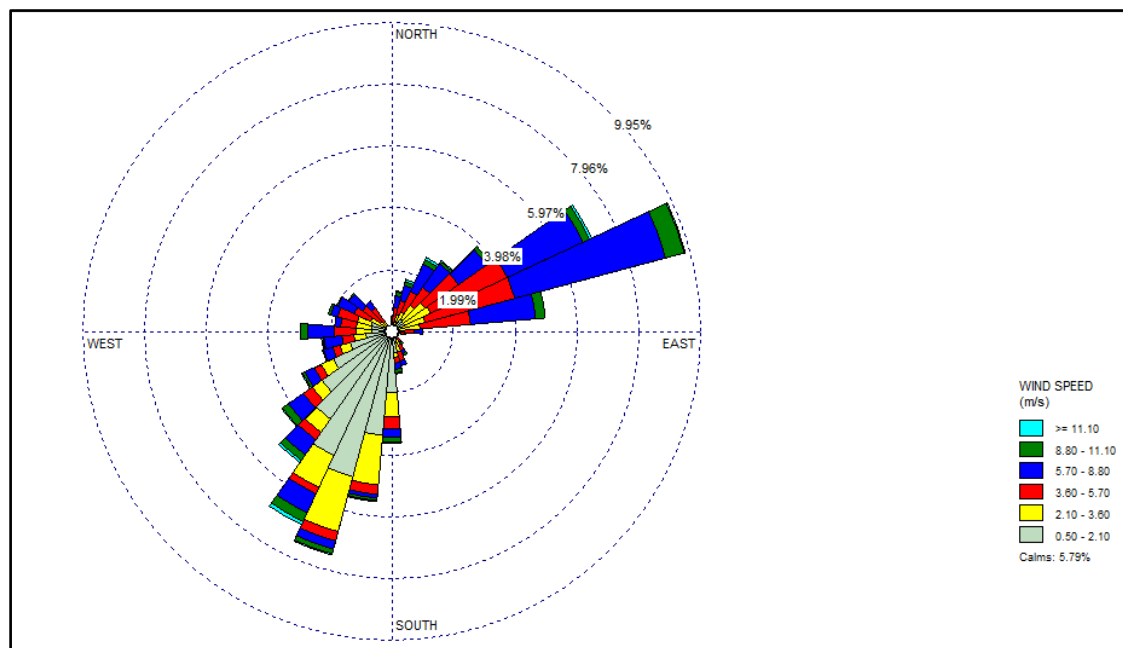
En la figura 14, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de agosto, indicando que la velocidad promedio es de 3.56m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 14 Velocidad y *dirección del viento del mes de agosto*



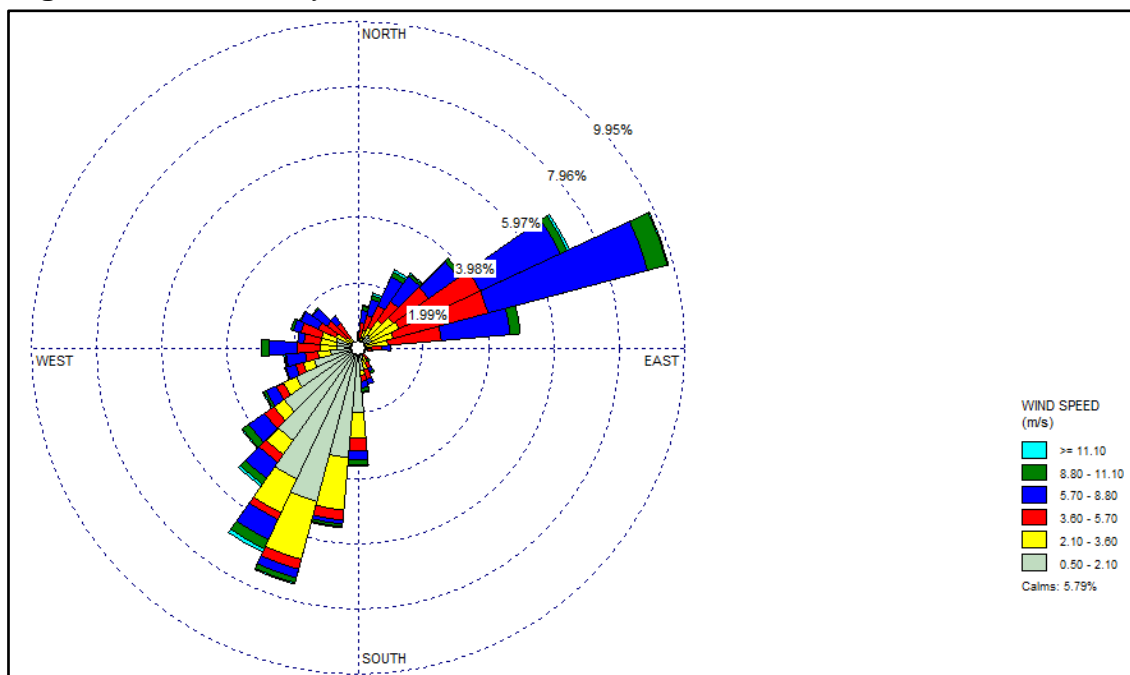
En la figura 15, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de septiembre, indicando que la velocidad promedio es de 4.32m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 15 Velocidad y dirección del viento del mes de septiembre



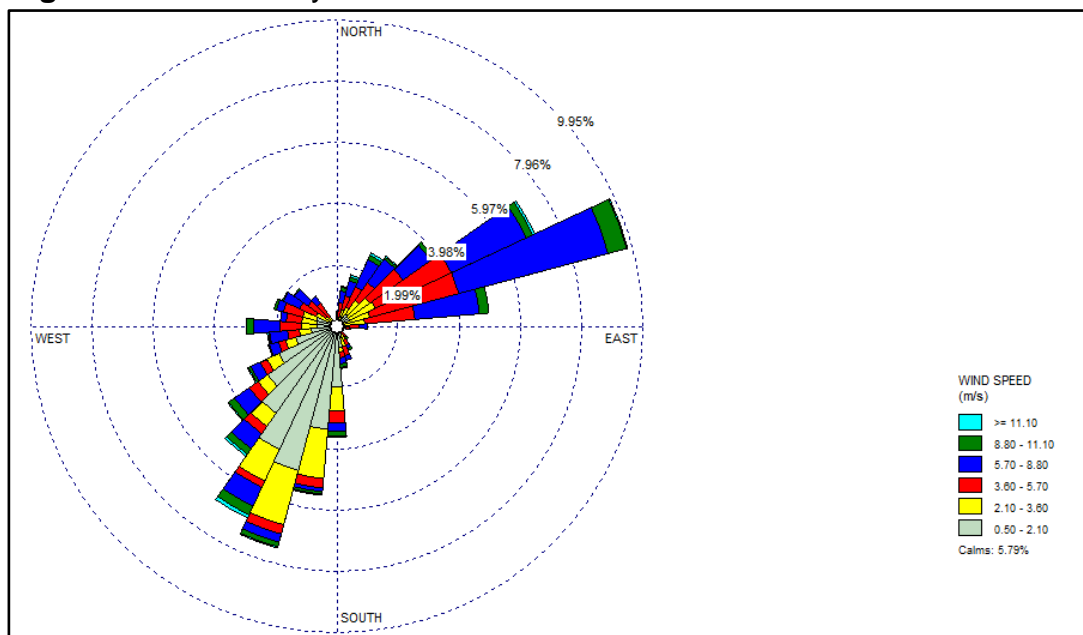
En la figura 16, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de octubre, indicando que la velocidad promedio es de 4.27m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 16 Velocidad y dirección del viento del mes de octubre



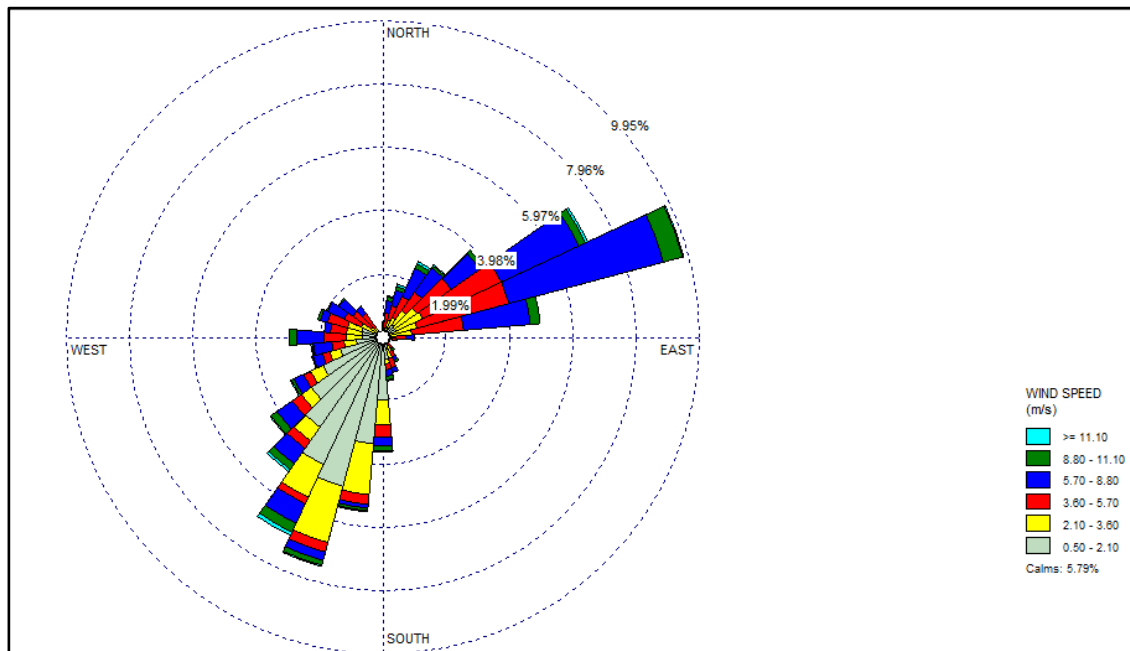
En la figura 17, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de noviembre, indicando que la velocidad promedio es de 4.08m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 17 Velocidad y *dirección del viento del mes de noviembre*



En la figura 18, se aprecia la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa, en el mes de diciembre, indicando que la velocidad promedio es de 3.94m/s; así mismo la dirección del viento en mayor proporción sucede de noreste a suroeste, y en menor proporción sucede de suroeste a noreste, respectivamente.

Figura 18 Velocidad y dirección del viento del mes de diciembre





4.2.1. Determinar el requerimiento hídrico necesario para el área de riego en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024

a) Evapotranspiración del cultivo de referencia

En la tabla 4, La evapotranspiración de referencia para los cultivos de alfalfa (ET_o) se calculó utilizando el método Penman-Monteith, y los resultados muestran que enero tuvo la ET_o más alta del año con 3,07 mm/día, seguido de febrero con 2,87 mm/día, marzo con 2,74 mm/día, abril con 2,67 mm/día, mayo con 2,78 mm/día, junio con 2,58 mm/día (el más bajo del año), julio con 2,70 mm/día de ET_o, agosto con 3,03 mm/día de ET_o, octubre con 3,11 mm/día de ET_o, noviembre con 3,10 mm/día de ET_o y diciembre con 3,02 mm/día de ET_o.



Tabla 4 Cálculo de la evapotranspiración de referencia del cultivo.

Símbolo	Parámetros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
μ_2	Velocidad del viento a 2m. De altura (m/s)	1.46	1.22	1.32	1.22	1.21	1.45	1.53	1.93	1.94	1.94	1.89	1.43
γ	Constante psicrometrica (Kpa/°C)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ	Pendiente de la curva de Presión de vapor (Kpa/°C)	0.16	0.16	0.15	0.15	0.13	0.10	0.10	0.10	0.13	0.12	0.14	0.14
e_s	Presión de vapor de saturación (Kpa)	2.76	2.70	2.61	2.59	2.42	2.07	1.94	2.42	2.47	2.32	2.57	2.47
e_a	Presión real de vapor (Kpa)	2.13	2.17	2.11	2.15	1.98	1.65	1.50	1.95	1.99	1.82	1.97	1.87
R_n	Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m ² /día)	8.91	8.37	7.88	7.92	8.25	7.66	8.52	9.67	9.73	9.27	9.13	8.63
G	Flujo de calor del suelo (MJ/m ² /día)	0.27	0.00	-0.10	-0.08	-0.35	-0.55	-0.15	0.19	0.50	-0.12	0.41	-0.04
T	Temperatura media del aire a 2m de altura (°C)	11.47	11.48	10.77	10.20	7.72	3.78	2.74	4.12	7.67	6.84	9.78	9.52
EVAPOTRANSPIRACION DIARIA	PROMEDIO	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02

Nota. Elaboración basada en el método de Penman-Monteith



Enero, con una ETo de 3,07 mm/día, se incluye en el cálculo hidráulico, ya que es el mes con mayor evapotranspiración de referencia.

Atención: Los datos de la tabla 4 se calcularon utilizando la insolación diaria máxima (n) y la radiación solar extraña Ra. Los datos se recopilaron de acuerdo con las directrices descritas en el libro sobre el Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos. de la FAO (2022). **Anexo 3 y 4.**

b) Evapotranspiración real

$$ETc = ETo * Kc$$

$$ETc = 3.07 * 1.00$$

$$ETc = 3.07 \text{ mm/día}$$

La evapotranspiración del área de riego es de **3.07 mm/día**.

c) Lámina neta de riego (Ln)

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * h * n * da$$

$$Ln = \frac{41 - 17}{100} * 0.10 * 25 * 1.58$$

$$Ln = 0.95 \text{ mm/día}$$

Los cultivos de alfalfa necesitan 0,95 mm de humedad al día, o un déficit neto de riego, para sobrevivir.



d) Eficiencia de aplicación

Según la guía útil para el diseño de sistemas de miniriego de la FAO (2007), establece que la eficiencia de aplicación depende del tipo de riego a aplicar; por ende, para esta investigación se utilizó un sistema de riego por aspersión, por ello la eficiencia de aplicación que le corresponde es de 90%.

e) Lámina bruta de riego (Lb)

$$Lb = \frac{Ln}{Ef}$$

$$Lb = \frac{0.95}{0.90}$$

$$Lb = 1.05 \text{ mm/día}$$

Para reponer la capacidad del campo, el riego por aspersión debe aplicar agua a una tasa de 1,05 mm/día, que es la profundidad bruta de riego para la producción de alfalfa.

f) Intervalo o frecuencia de riego

$$I = \frac{Ln}{ETc}$$

$$I = \frac{0.95}{3.07}$$

$$I = 0.31 \text{ mm/día}$$

Lo que se entiende por frecuencia de riego es el tiempo máximo entre dos riegos consecutivo, ante ello la frecuencia de riego es de **0.29 mm/día**.



g) Tiempo de riego

$$Tr = \frac{Lb}{I}$$

$$Tr = \frac{1.05}{0.29}$$

$$Tr = 0.14 \text{ horas}$$

Se espera que el tiempo sea de 0,14 horas, es decir, 14 minutos de riego con aspersores.

h) Demanda de agua requerida para riego

$$Da = A * Lb$$

$$Da = 30000 * 1.05$$

$$Da = 31.60 \text{ m}^3$$

Como resultado del trabajo la cantidad de agua necesaria para regar una región. aproximada de 30000m² (3Ha), es de **31.60 m³** de agua por día.

i) Caudal de agua necesario para el sistema

$$Q = \frac{Da}{Tr * 3600}$$

$$Q = \frac{31.60}{0.14 * 3600}$$

$$Da = 0.062 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 61.72 \text{ lps}$$



El caudal necesario para abastecer al área de $0.062 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a 61.72 lps y el cálculo hidráulico del sistema de bombeo se llevará a cabo teniendo esto en cuenta.

En la tabla 5, se aprecia del requerimiento hídrico para riego, indicando que para En enero se necesita un caudal de $61,72 \text{ l/s}$, febrero se requiere un caudal de 65.97 l/s , marzo se requiere un caudal de 69.22 l/s , abril se requiere un caudal de 71.03 l/s , mayo se requiere un caudal de 68.24 l/s , junio se requiere un caudal de 73.47 l/s , julio se requiere un caudal de 70.18 l/s , agosto se requiere un caudal de 62.58 l/s , septiembre se requiere un caudal de 61.82 l/s , octubre se requiere un caudal de 60.99 l/s , noviembre se requiere un caudal de 61.08 l/s ; y el mes de diciembre con 62.82 l/s de caudal.



1 **Tabla 5** *Requerimiento hídrico de cultivo de alfalfa*

Símbolo	Parámetros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Eto	Evapotranspiración de Cultivo de referencia	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
Kc	Coeficiente de cultivo (alfalfa)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Etc	Evapotranspiración de Cultivo (mm/día)	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
Ln	Lamina neta de riego (mm/día)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
%	Eficiencia de aplicación (%)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Lb	Lamina bruta de riego (mm/día)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
I	Intervalo o Frecuencia de riego (mm/día)	0.31	0.33	0.35	0.36	0.34	0.37	0.35	0.31	0.31	0.30	0.31	0.31
Tr	Tiempo de riego (Horas)	0.14	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
D	Demanda de agua requerida "158.65m ² " (m ³)	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60
Q	Caudal necesario para el sistema (m ³ /s)	0.062	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Caudal necesario para el sistema (l/s)		61.72	65.97	69.22	71.03	68.24	73.47	70.18	62.58	61.82	60.99	61.08	62.82

2 *Nota.* Elaboración basada en el Manual para el diseño de sistemas de riego

3

4



Estos hallazgos en relación con la investigación que se llevó a cabo por Munive & Pereira (2022), no se asemejan; encontrando que el requerimiento hídrico para El valor estándar de evapotranspiración (ET_o) para 0,5 ha de producción de ñame en el municipio de Carmen de Bolívar es de 109 mm/mes, o 3,63 mm/día, mientras que el coeficiente de cultivo (K_c) oscila entre 0,45 y 0,75, requiriendo un cantidad de agua para los cultivos de 4m³/h; respectivamente; siendo superior al presente estudio; principalmente por la diferente tasa de evapotranspiración, diferente extensión del terreno, y diferentes condiciones climatológicas de la zona; Así mismo con respecto al estudio realizado por Vargas T (2021), también no se asemejan al presente estudio debido a que presento un requerimiento hídrico para riego agrícola en una extensión de 158ha de 0.202 l/s; sin embargo Es evidente que el caudal de la fuente supera el caudal necesario.

Mientras que con respecto a Jara (2021), no presentan las mismas características al presente estudio; manifestando que en su estudio realizo el cálculo del requerimiento hídrico para 7hectareas de cultivos de palto en el distrito de Guadalupe – departamento de La Libertad, El diseño se basa en el mes con mayor consumo de agua, que es de 1029 l/min, sin embargo, varió entre 145 y 1029 l/min, con un promedio de 558 l/min.

Así mismo con respecto al estudio realizado por Arizaca (2022), presentan características con cierta similitud al presente estudio; por ser desarrollada en condiciones del altiplano puneño; en el cual presento La cantidad de agua necesaria para cultivar alfalfa en el área de investigación de 18 000 m² es de 25,60 m³ al día; todo ello inferior al presente estudio; debido a que el cálculo agronómico realizado; es meramente para un invernadero; donde existe otras condiciones climáticas.

Y finalmente con respecto al estudio realizado por (2021), dichos resultados son diferentes, Al analizar la evapotranspiración de referencia de 3,35 mm/día y la precipitación efectiva de 8,84 mm/día, el diseño agronómico estableció que octubre es el mes más crucial. Con una lámina bruta de 88,7 mm, una necesidad de agua de 5 l/s para 2,49 ha de cultivo de alfalfa y una necesidad hídrica del requerimiento de agua del proyecto es de 126,68 mm para un cultivo de 95 mm. y el balance hídrico neto es de 66,6 mm. Esto garantiza que se puedan utilizar aspersores con un alcance de 10 m.

4.2.2. Calcular la potencia de la bomba y la potencia del aerogenerador para el sistema de bombeo de agua con energía eólica en el distrito de Arapa, de la provincia de Azángaro, Puno, 2024.

a) Caudal de la fuente seleccionada

En la tabla 6, se aprecia el caudal de pozo de agua propuesto como captación de agua para el sistema de bombeo; indicando que el caudal existente es de 0.0684m³/s equivalente a 68.40lps; siendo superior al caudal requerido para los cultivos de alfalfa; por ende, el pozo de agua puede garantizar el abastecimiento de agua en base a los requerimientos hídricos de cultivos.

Tabla 6 *Cálculo del caudal de agua*

Prueba	Velocidad de desplazamiento				Caudal	
	Distancia (D)	Tiempo (T)	Velocidad (Vd)	Área del pozo (Ap)	Caudal de aforo (Q)	Caudal asumido (Q)
	m	s	m/s	m ²	m ³ /s	m ³ /s
1	0.2363	5	0.04726	1.452	0.0686	
2	0.2352	5	0.04704	1.452	0.0683	



3	0.2358	5	0.04716	1.452	0.0685	0.0684
4	0.2361	5	0.04722	1.452	0.0686	
5	0.2351	5	0.04702	1.452	0.0683	

b) Caudal de la fuente seleccionada

- **Cálculo del caudal de bombeo**

$$Qb = \frac{Vta}{T}$$

Donde:

Vta: Volumen del tanque (se asume 32m³, según el diseño agronómico)

T: Tiempo (3horas)

Reemplazando:

$$Qb = \frac{32}{3}$$

$$Qb = 10.667m^3/h = 0.00296m^3/s$$

El caudal de bombeo será de 3.20m³/h(0.00296m/s); para lograr colmar el tanque de almacenamiento de 32m³ a un tiempo de 3horas.

- **Cálculo del diámetro de impulsión y succión**

$$D = 1.3 * X^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Qb}$$

Reemplazando:

$$D = 1.3 * \left(\frac{3}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt{0.00296}$$



$$D = 0.042m = 1.65pulg. = 2pulg.$$

El diámetro impulsión será de 2 pulgadas, respectivamente; así mismo según lo normado, Dado que el diámetro de succión siempre será mayor que el diámetro de descarga, se prevé que el diámetro de succión sea de tres pulgadas.

- **Cálculo de la potencia de la bomba**

Hallando la velocidad:

$$V = \frac{4 * Qb}{\pi * D}$$

$$V = \frac{4 * 0.00296}{\pi * (2 * 0.0254)}$$

$$V = 0.074m/s$$

La velocidad de desplazamiento del agua en la tubería de impulsión será de 0.074m/s, respectivamente.

Hallando la altura hidrodinámica total:

$$HDT = Hs + Hi + \Sigma hfs + \Sigma hfi + \frac{v^2}{2g} + Ps$$

Donde:

HDT : Altura hidrodinámica total

Hs : Altura de la tubería de succión (5.00m)

Hi : Altura de la tubería de impulsión (25.00m)



Σh_{fs} : Pérdida de carga de la tubería de succión (0.00 por ser una instalación nueva)

Σh_{fi} : Pérdida de carga de la tubería de impulsión (0.00 por ser una instalación nueva)

V : Velocidad del flujo de agua (0.074m/s)

g : Gravedad de la tierra (9.81 m/s²)

P_s : Presión de salida de agua (5mca)

Reemplazando:

$$HDT = 5 + 25 + 0 + 0 + \frac{0.074^2}{2 * 9.81} + 5$$

$$HDT = 35m. c. a$$

La altura hidrodinámica total será de 35m.c.a., respectivamente.

Reemplazando en la ecuación de potencia de la bomba:

$$Pb = \frac{1000 * Qb * HDT}{75 * \eta}$$

Donde:

η : Eficiencia de la bomba (70%)

Reemplazando:

$$Pb = \frac{1000 * 0.00296 * 35}{75 * 0.70}$$

$$Pb = 1.97HP = 2HP$$

La potencia de la bomba será de 2HP equivalente a 1.47Kw, respectivamente.



c) Cálculo de los sistemas eólicos

- **Velocidad del viento promedio**

En la tabla 7, se aprecia la velocidad del viento promedio, indicando que el valor promedio de los meses de enero a diciembre es de 3.73m/s

Tabla 7 *Velocidad del viento promedio*

Mes	Valor del viento (m/s)
Enero	4.45
Febrero	3.72
Marzo	3.72
Abril	3.07
Mayo	3.28
Junio	3.14
Julio	3.29
Agosto	3.56
Septiembre	4.32
Octubre	4.27
Noviembre	4.08
Diciembre	3.94
Promedio	3.73

Periodo de trabajo del aerogenerador: 15horas (asumido)

Velocidad promedio: 3.73

- **Cálculo de la potencia eólica**

Diámetro del rotor: 4.91m (recomendado)

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 4.91^2}{4}$$

$$A = 13.20m^2$$

Reemplazando



$$P_{eolic} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{eolic} = \left(\frac{1}{2} 1.164 * 13.20 * 3.73^3 \right) / 1000$$

$$P_{eolic} = 0.3986Kw$$

Por ende, cada aparato eólico generará una potencial de 0.3986Kw; por ende, para el funcionamiento de la bomba de 2HP; se requerirá los siguientes aparatos eólicos:

$$Aparato_{eolic} = \frac{Potencia\ de\ la\ bomba}{potencia\ eolica}$$

$$Aparato_{eolic} = \frac{1.47Kw}{0.3986kw}$$

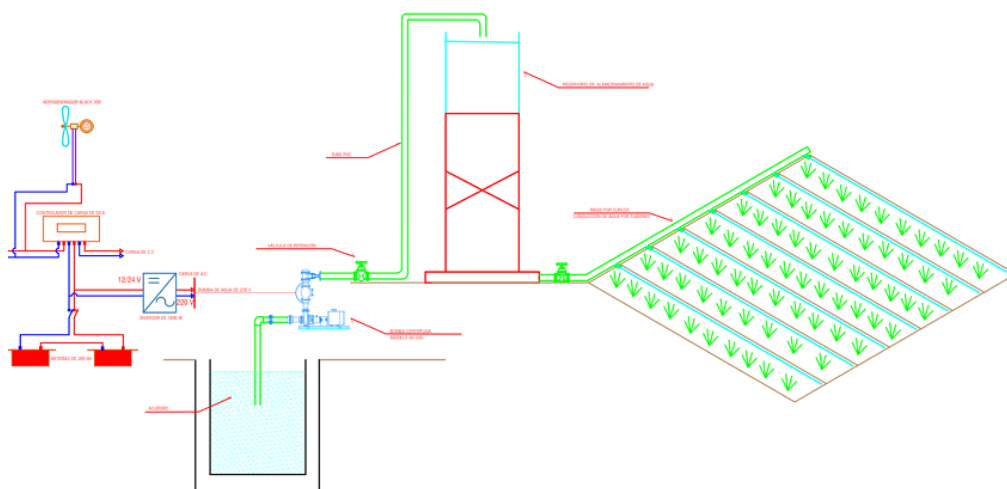
$$Aparato_{eolic} = 3.68 = 4$$

Se requerirá 4 aparatos eólicos para el funcionamiento de la bomba de 2HP

Figura 19 Astas del sistema eólico



Figura 20 Sistema de bombeo eólico



Al diseñar la turbina eólica, se tendrá en cuenta la siguiente información:



- Potencia eólica $\rightarrow P = 10000 \text{ w}$
- Ubicación \rightarrow Sierra
- Perfiles \rightarrow NACA – 4412, 4418 y 4421

Dado que el perfil NACA 4412 es el más accesible en Sudamérica, lo utilizaremos en este caso. Este tipo de perfil es recomendado por la revista científica NEXUS.

- **Cálculo de la potencia mecánica del rotor**

$$P_{mec \text{ rot}} = c_p(Potencia_{eolica})$$

$$P_{mec \text{ rot}} = 0.59(0.3986)$$

$$P_{mec \text{ rot}} = 0.2352$$

- **Cálculo de la potencia eléctrica**

$$P_{elec} = P_{mec.rot} * R_{sm}$$

$$P_{elec} = 0.2352 * 0.95$$

$$P_{elec} = 0.22344W$$

- **Cálculo de la energía del aerogenerador**

$$E_A = P_{elec} * H_t * R_{se}$$

$$E_A = 0.22344 * 12 * 0.95$$

$$E_A = 2.5472Wh$$

- **Cálculo de la capacidad total de baterías**



$$C_t = \frac{5800 * 1.2 * 2}{48 * 0.2}$$

$$C_t = 1450Ah$$

- **Numero de baterías**

$$n^\circ = \frac{1450}{120}$$

$$n^\circ = 12.08=12 \text{ baterias}$$

4.2.2.1. Analizar la sostenibilidad del uso del lago como fuente de captación para el sistema de bombeo eólico en el distrito de Arapa, provincia de Azángaro, Puno, 2024.

- a) Estimar el volumen aproximado del lago

$$V = A.Pm$$

Donde

V: volumen aproximado del lago (m3)

A: área superficial del lago (m2)

Pm: profundidad media del lago (m)



$$V = 116 \times 10^6 \times 18 = 20.88 \times 10^8 \text{ m}^3$$

b) Balance hídrico del lago

$$\Delta S = (P + Q_{\text{entrada}} + R) - (E + Q_{\text{salida}} + B)$$

Donde:

P: precipitación directa sobre el lago (m³/año)

Q_{entrada}: caudal de entrada de riachuelos o escorrentía (m³/año)

R: recarga subterránea (m³/año)

E: evaporación superficial (m³/año)

Q_{salida}: caudal de salida natural o bombeo (m³/año)

B: infiltración hacia el subsuelo (m³/año)

ΔS: variación del almacenamiento (m³/año)

c) Calcular la precipitación y la evaporación

Precipitación directa:

$$P_{\text{vol}} = P_{\text{anual}} \times A$$

P_{anual}: 800 mm/año = 0.8m/año

A: 116x10⁶ m²



$$P_{vol} = 0.8 \times 116 \times 10^6 = 928 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{año}$$

Evaporación:

$$E_{vol} = E_{anual} \times A$$

E_{anual}: 700 mm/año = 0.7 m³/año

$$E_{vol} = 0.7 \times 116 \times 10^6 = 812 \times 10^5$$

d) Comparar bombeo vs recarga

$$Q_{bombeo} < (P + Q_{entrada} + R) - (E + Q_{salida} + B)$$

$$Q_{bombeo} < P_{vol} - E_{vol}$$

$$P_{vol} - E_{vol} = 928 \times 10^5 - 812 \times 10^5 = 1606 \text{ m}^3/\text{año}$$

Entonces el bombeo sería sostenible si la extracción es <1-3% del

Volumen anual renovable.



4.3. Discusión

Estos resultados son comparables a los de Pari (2023), donde las turbinas eólicas produjeron 979,58 vatios de potencia útil y 5877,51 Wh/día de energía durante seis horas de funcionamiento para satisfacer la demanda de 3360 Wh/día de la bomba sumergible. Esto indica que los sistemas eólicos utilizados para generar electricidad facilitan Agua circulante en Ninantambo, provincia de Tarma.

Asimismo, difieren de los resultados de Arcila y Chilcon (2023), quienes encontraron en su estudio 16 aspas, un rotor de 3 m de diámetro con 1,93 rad/s de velocidad de rotación y 93,52 W de potencia. La potencia de la bomba es de 87,84 W y su caudal es de 2828,88 l/h, lo que la hace adecuada para el bombeo de agua.

Turpo (2023), quien desarrolló un sistema de generación eólica distribuida para bombear agua en la localidad de Isivilla, también comparte algunas similitudes. Para que este sistema bombee agua a un caudal de 6 litros por segundo, se necesita una potencia instalada de 20 kW conectada a la red eléctrica. Aproximadamente 1200 personas viven en la aldea de Isivilla, y esta solución está pensada para satisfacer sus necesidades.

Finalmente, en cuanto a Choque (2018), los resultados no son comparables, revelando una velocidad media anual del viento en el rango de 3,01 m/s. La producción de energía eólica no es viable en esta región, ya que En comparación con los paneles solares, la producción energética total de las turbinas eólicas a partir de la velocidad del viento es menor, que es de 4750 Wh/día.



CONCLUSIONES

PRIMERA: El diseño del sistema de bombeo de agua se determina como energía eólica en el distrito de Arapa permitió comprobar que esta tecnología es viable para mejorar la disponibilidad de agua destinada al riego agrícola. A partir del análisis del recurso eólico del requerimiento hídrico y del dimensionamiento hidráulico, se determinó que el sistema propuesto cubre las necesidades de manera sostenible y económica.

SEGUNDA: Se concluye que el análisis del potencial eólico en el distrito de Arapa permitió determinar velocidades promedio de veinte entre 3.07 m/s y 4.45 m/s con una dirección predominante de noreste a sureste estos resultados evidencian que la zona cuenta con recurso eólico suficiente.

TERCERA: Se concluye para un área de riego de 30000m² (3Ha) será de 31.60 m³ de agua por día; todo ello para garantizar la subsistencia del cultivo; y además el caudal requerido para el sistema será de 61.72lps (0.062 m³/s), estos valores aseguran que el sistema diseñado puede satisfacer de manera eficiente las necesidades de riego.

CUARTA: Se concluye que, a partir del dimensionamiento hidráulico y el análisis del recurso eólico, se requiere una bomba de 2 hp (1.47 kw) para satisfacer el caudal de riego estimado para su operación se determinó la necesidad de 4 aerogeneradores de 0.3986 kw cada uno capaces de generar energía suficiente para el bombeo continuo. Estos resultados demuestran la viabilidad técnica del sistema, garantizando el suministro y optimizado del uso del recurso eólico disponible en el distrito de Arapa.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda implementar un proyecto piloto del sistema de bombeo eólico en una parcela representativa (3 ha) del distrito de Arapa, con un plan de operación y mantenimiento definido, monitoreo de viento, caudal y nivel de reservorio y capacitación a usuarios. Este piloto permitirá validar en campo el diseño propuesto, optimizar el dimensionamiento (aerogenerador, bomba y reservorio), garantizar la continuidad del riego en periodos de menor viento (evaluando, de ser necesario, un respaldo híbrido eólico-solar) y generar evidencia técnica y económica para su escalamiento a otras comunidades agrícolas de la provincia.

SEGUNDA: Se recomienda mantener un monitoreo permanente de la velocidad y dirección del viento en el distrito de Arapa mediante estaciones meteorológicas locales o registros del SENAMHI, a fin de actualizar y validar los datos Obtenidas en la investigación. De esta manera se podrá optimizar la ubicación y altura de los aerogeneradores, garantizando un mejor aprovechamiento del recurso eólico y reduciendo riesgos asociados a la variabilidad estacional del viento.

TERCERA: Los módulos eólicos del sistema de bombeo eólico previsto deben someterse a un mantenimiento periódico para mantenerlos limpios y libres de residuos que puedan acortar su vida útil y reducir su rendimiento.



CUARTA: Los futuros investigadores deberían explorar nuevas técnicas de almacenamiento de energía eléctrica y agua en busca de alternativas. Además, se deberían estudiar sistemas de riego automatizados para mejorar este diseño con el fin de aprovechar mejor la energía eólica e integrar de manera eficiente la generación dispersa.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agusto, C. (2011). *Estudio Técnico Económico para el suministro de electricidad baja potencia, a través de Energía Eólica*. Riobamba.
- Alvarado, Y., & Medina, J. (2022). *Diseño de sistema eólico para generación de energía eléctrica para sistema de bombeo de agua para área de riego 2,250 hectáreas en el sol de tablazo Huanchaco*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- Andrade, J., & Quispe, M. (2016). *Diseño y selección de un sistema eólico solar para la generación de energía eléctrica que mejore el sistema de bombeo de agua con fines de riego en el centro poblado de Chinumani- Yunguyo, 2016*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Antunes, V., Borba, B., & Dias, B. (2018). Analysis of the inclusion of wind-solar power plants in the planning of Brazilian electrical system. *in SBSE 2018 - 7th Brazilian Electrical Systems Symposium, 2018*, 1 - 6.
- Arcila, L., & Chilcon, J. (2023). *Diseño de un sistema de extracción de agua del subsuelo, alimentado por energía eólica para riego en la localidad Chongoyape – Chiclayo – Lambayeque*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
- Arizaca, A. (2022). Energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental Chuquibambilla. *Universidad Nacional del Altiplano*, 1 - 11.
- Arricibita, D. (2015). *Estudio de factibilidad y viabilidad de un sistema híbrido de generación eléctrica aislado con energías renovables en Bolivia*. Pamplona – España.: Universidad Pública de Navarra.
- Arteaga, M. (2024). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la casona de la universidad estatal del sur de Manabí*. Jipijapa: Universidad Estatal del Sur de Manabi.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
Obtenido de
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Bermeo, E., & Silva, A. (2022). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el centro poblado Puerto Tamborapa, distrito Chirinos - San Ignacio*. *Universidad Nacional del Jaén*, 1 - 11.
- Caita, C. (2014). *Diseño y construcción de un mini aerogenerador de eje vertical*. Bogota.



- Cajusol, S. (2019). *Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo San Juan de Cayalti provincia de Chiclayo - Lambayeque*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Castellon, L., & Avila, J. (2024). *Factibilidad de sistema de agua potable con energía fotovoltaica, en el Banano, San Manuel, Cortés*. Honduras: Universidad Tecnológica Centroamericana.
- Cerdan, A. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya, Veracruz, México*. Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía.
- Céspedes, R., & Vásquez, F. (2019). *Diseño de una aerobomba para riego tecnificado, con energía eólica para el sembrío de papaya en la localidad de Acerillo – Bagua – Amazonas*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Choque, D. (2018). *Evaluación del uso de energía solar fotovoltaica-eólica para la impulsión de un sistema de abastecimiento de agua en un centro poblado rural-llave*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Clemente, J. (2024). *Diseño de un sistema dual solar-hidrógeno para abastecimiento de un centro de electromovilidad*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- Dávalos, J. (2019). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío la Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén – Cajamarca*. Jaén: Universidad Nacional del Jaén.
- Espitia, C. (2020). *Estudio de viabilidad técnica y económica de instalar energía eólica y energía termo solar en las viviendas de la ciudad de Puerto Montt*. Chile: Puerto Montt.
- FAO. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*. Honduras: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego*. Honduras: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA).
- FAO. (2022). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. En O. d. Agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje.
- Flores, J. (2018). *Estudio de factibilidad de uso de energía fotovoltaica para abastecer de agua potable al caserío Túpac Amaru, Olmos, 2018*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Guachalla, C. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo de agua alimentado por un aerogenerador para el riego de forraje, comunidad de Villa Puni-Escoma*. Noviembre: Universidad Mayor de San Andrés.



- Hernández, R., & Mendoza, C. (2014). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- Jara, H. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupito – La Libertad*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Jara, J., & Ramos, J. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Jara, J., & Ramos, J. (2018). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- León, T. (2023). *Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas*. Bagua Grande: Universidad Politecnica Amazónica.
- Llatas, E. (2018). *Diseño de un sistema de riego por aspersión automatizado de 22 m³/h para ahorrar consumo de agua en el parque de avenida separadora industrial – Vitarte*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Mamani, W., & Cuba, D. (2019). *Bases teóricas para operatividad del sistema de bombeo de abastecimiento de agua potable con suministro de energía fotovoltaica en Collana-Taraco-Huancane-Puno-2019*. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.
- Maque, P. (2023). *Metodología para el diseño de un mini sistema de generación eólica*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Munive, S., & Pereira, J. (2022). *Diseño de un sistema de bombeo alimentado mediante paneles solares fotovoltaicos para riego en un cultivo de ñame en el municipio del Carmen de Bolívar, Colombia*. *Universidad Antonio Nariño*, 1 - 11.
- Orellana, J. (2015). *Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistema de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector plateado servido por empresa eléctrica regional del sur*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca –Ecuador.
- Palomino, E. (2016). *“Diseño del sistema de riego por aspersión en función a la programación de riego en la comunidad de Urpaypampa”*. 2016: universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Paredes, A., & Villavicencio, L. (2019). *Diseño de una central generadora eólica para un sistema de bombeo hídrico en la comunidad de Maca Atápulo Parroquia*



- Poaló Cantón Latacunga provincia de Cotopaxi. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.*
- Pari, J. (2023). *Estudio de sistemas eólicos para generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo, Tarma, 2022.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Peña, I. (04 de Diciembre de 2014). *Equipos de bombeo para aguas potables e Instalaciones auxiliares.* Obtenido de <https://es.slideshare.net/ivanderp/equipos-de-bombeo-y-obras-auxiliares>
- Peralta, D., & Castillo, M. (2016). *Diseño De Sistema De Riego Por Aspersión Automatizado Con Uso De Energía Renovable Para El Centro Olímpico Juan Pablo Duarte.* Santo Domingo: Universidad Nacional Pedro Henríquez ureña unphu.
- Pérez, M. (2024). *Comparación de tecnologías para edificios de energía neta cero: Sistema reversible de bomba de calor/ciclo Rankine orgánico acoplado a colectores solares y sistema convencional de bomba de calor acoplada a paneles fotovoltaicos.* Concepción: Universidad de Concepción.
- Ramírez, J. (2019). *Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO2 en el poblado rural en la gramita de Casma.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Reyes, C. (2024). *Estudio de viabilidad técnica y económica del uso de la energía solar fotovoltaica y eólica para un sistema de bombeo en el Fundo San Julián, Zona Cerro Apurlec, Distrito de Motupe.* Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Reyes, C. (2024). *Estudio de viabilidad técnica y económica del uso de la energía solar fotovoltaica y eólica para un sistema de bombeo en el Fundo San Julián, Zona Cerro Apurlec, Distrito de Motupe, 2022.* Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Ruiz, O., Leonardo, J., & Elvis, R. (2022). *Diseño de un grupo eólico para bombeo de agua.* Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Sánchez, C. (2022). *Diseño de sistema eólico para generación de energía eléctrica para sistema de bombeo de agua para área de riego 2,250 hectáreas en el sol de tablazo Huanchaco.* Trujillo: Universidad César Vallejo.
- Sandoval, J. (2018). *Diseño de una aerobomba para riego tecnificado, con energía eólica para el sembrío de papaya en la localidad de Acerillo – Bagua – Amazonas.* Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.



- Turpo, D. (2023). *Diseño de un sistema de Generación Distribuida con energía eólica para bombeo de recurso hídrico en el Centro Poblado Isivilla - Puno*. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín .
- Valenzuela, B. (2020). *Determinación del punto de máxima potencia en sistemas de bombeo solar fotovoltaico utilizando el algoritmo perturbación observación P&O*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .
- Vargas, T. (2021). *Propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico para la óptima extracción y bombeo de agua para riego agrícola, en el C.P. aguas calientes*. 2021: Universidad Privada del Norte.
- Vásquez, J., Tamayo, J., & Salvador, J. (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático," Lima-Perú.
- Vilca, J. (2021). *Estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la cuenca Llallimayo*. Puno: Unversidad Nacional del Altiplano de Puno.



ANEXOS



Anexo 1. Plantilla de cálculo de la evapotranspiración de referencia Eto para cultivo

**PARAMETROS DE DISEÑO
EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA (Eto)**

METODO PENMAN-MONTEITH

Simbolo	Parametros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
μ_2	Velocidad del viento a 2m. De altura (m/s)	1.46	1.22	1.32	1.22	1.21	1.45	1.53	1.93	1.94	1.94	1.89	1.43
γ	Constante psicrometrica (Kpa/°C)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Δ	Pendiente de la curva de Presion de vapor (Kpa/°C)	0.16	0.16	0.15	0.15	0.13	0.10	0.10	0.10	0.13	0.12	0.14	0.14
e_s	Presion de vapor de saturacion (Kpa)	2.76	2.70	2.61	2.59	2.42	2.07	1.94	2.42	2.47	2.32	2.57	2.47
e_a	Presion dreal de vapor (Kpa)	2.13	2.17	2.11	2.15	1.98	1.65	1.50	1.95	1.99	1.82	1.97	1.87
R_n	Radiacion neta en la superfie del cultivo (MJ/m2/dia)	8.91	8.37	7.88	7.92	8.25	7.66	8.52	9.67	9.73	9.27	9.13	8.63
G	Flujo de calor del suelo (MJ/m2/dia)	0.27	0.00	-0.10	-0.08	-0.35	-0.55	-0.15	0.19	0.50	-0.12	0.41	-0.04
T	Temperatura media del aire a 2m de altura (°C)	11.47	11.48	10.77	10.20	7.72	3.78	2.74	4.12	7.67	6.84	9.78	9.52
EVAPOTRANSPIRACION PROMEDIO DIARIA		3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
DIA POR MES		31	29	31	30	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.000	30.000	31.000
EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL		95.23	83.34	84.91	80.08	86.13	77.42	83.75	93.91	92.01	96.38	93.12	93.56

Para cuestiones de diseño hidraulico se asume el mes que tuvo mayor evapotranspiracion



Anexo 2. Plantilla de cálculo agronómico para el sistema de riego por aspersión para cultivo

PARAMETROS DE DISEÑO CALCULO AGRONOMICO													
Diseño Agronomico Referencia: Manual para el diseño de sistemas de riego													
Simbolo	Parametros de diseño	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<i>Eto</i>	Evapotranspiracion de Cultivo de referencia	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
<i>Kc</i>	Coefficiente de cultivo (alfalfa)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Etc</i>	Evapotranspiracion de Cultivo (mm/dia)	3.07	2.87	2.74	2.67	2.78	2.58	2.70	3.03	3.07	3.11	3.10	3.02
<i>Ln</i>	Lamina neta de riego (mm/dia)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
%	Eficiencia de aplicación (%)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
<i>Lb</i>	Lamina bruta de riego (mm/dia)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
<i>I</i>	Intervalo o Frecuencia de riego (mm/dia)	0.31	0.33	0.35	0.36	0.34	0.37	0.35	0.31	0.31	0.30	0.31	0.31
<i>Tr</i>	Tiempo de riego (Horas)	0.14	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
<i>D</i>	Demanda de agua requerida "30000m2" (m3)	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60	31.60
<i>Q</i>	Caudal necesario para el sistema (m3/s)	0.062	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Q</i>	Caudal necesario para el sistema (l/s)	61.72	65.97	69.22	71.03	68.24	73.47	70.18	62.58	61.82	60.99	61.08	62.82
TURNOS DE RIEGO		Por cada linea de riego											



Anexo 3. Cuadro de radiación solar extraterrestre (Ra) para diferentes latitudes

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (\text{Ec. 34})$$

Hemisferio Norte												Lat. grad.	Hemisferio Sur											
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
1,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9	66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

¹ Los valores de N durante el día 15^{avo} del mes, proveen una buena estimación (error <1%) de N promediada sobre todos los días del mes. Solamente en casos de latitudes muy elevadas (mayores a 55° N o S) y durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1 %.



Anexo 4. Cuadro de la insolación máxima

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (\text{Ec. 21})$$

(valores en MJ m⁻² día⁻¹)²

Hemisferio Norte												Lat. grad.	Hemisferio Sur											
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	2,6	10,4	23,0	35,2	42,5	39,4	28,0	14,9	4,9	0,1	0,0	70	41,4	28,6	15,8	4,9	0,2	0,0	2,2	10,7	23,5	37,3	45,3	
0,1	3,7	11,7	23,9	35,3	42,0	38,9	28,6	16,1	6,0	0,7	0,0	68	41,0	29,3	16,9	6,0	0,8	0,0	3,2	11,9	24,4	37,4	44,7	
0,6	4,8	12,9	24,8	35,6	41,4	38,8	29,3	17,3	7,2	1,5	0,1	66	40,9	30,0	18,1	7,2	1,5	0,1	4,2	13,1	25,4	37,6	44,1	
1,4	5,9	14,1	25,8	35,9	41,2	38,8	30,0	18,4	8,5	2,4	0,6	64	41,0	30,8	19,3	8,4	2,4	0,6	5,3	14,4	26,3	38,0	43,9	
2,3	7,1	15,4	26,6	36,3	41,2	39,0	30,6	19,5	9,7	3,4	1,3	62	41,2	31,5	20,4	9,6	3,4	1,2	6,4	15,5	27,2	38,3	43,9	
3,3	8,3	16,6	27,5	36,6	41,2	39,2	31,3	20,6	10,9	4,4	2,2	60	41,5	32,3	21,5	10,8	4,4	2,0	7,6	16,7	28,1	38,7	43,9	
4,3	9,6	17,7	28,4	37,0	41,3	39,4	32,0	21,7	12,1	5,5	3,1	58	41,7	33,0	22,6	12,0	5,5	2,9	8,7	17,9	28,9	39,1	44,0	
5,4	10,8	18,9	29,2	37,4	41,4	39,6	32,6	22,7	13,3	6,7	4,2	56	42,0	33,7	23,6	13,2	6,6	3,9	9,9	19,0	29,8	39,5	44,1	
6,5	12,0	20,0	30,0	37,8	41,5	39,8	33,2	23,7	14,5	7,8	5,2	54	42,2	34,3	24,6	14,4	7,7	4,9	11,1	20,1	30,6	39,9	44,3	
7,7	13,2	21,1	30,8	38,2	41,6	40,1	33,8	24,7	15,7	9,0	6,4	52	42,5	35,0	25,6	15,6	8,8	6,0	12,2	21,2	31,4	40,2	44,4	
8,9	14,4	22,2	31,5	38,5	41,7	40,2	34,4	25,7	16,9	10,2	7,5	50	42,7	35,6	26,6	16,7	10,0	7,1	13,4	22,2	32,1	40,6	44,5	
10,1	15,7	23,3	32,2	33,8	41,8	40,4	34,9	26,6	18,1	11,4	8,7	48	42,9	36,2	27,5	17,9	11,1	8,2	14,6	23,3	32,8	40,9	44,5	
11,3	16,9	24,3	32,9	39,1	41,9	40,6	35,4	27,5	19,2	12,6	9,9	46	43,0	36,7	28,4	19,0	12,3	9,3	15,7	24,3	33,5	41,1	44,6	
12,5	18,0	25,3	33,5	39,3	41,9	40,7	35,9	28,4	20,3	13,9	11,1	44	43,2	37,2	29,3	20,1	13,5	10,5	16,8	25,2	34,1	41,4	44,6	
13,8	19,2	26,3	34,1	39,5	41,9	40,8	36,3	29,2	21,4	15,1	12,4	42	43,3	37,7	30,1	21,2	14,6	11,6	17,9	26,2	34,7	41,6	44,6	
15,0	20,4	27,2	34,7	39,7	41,9	40,8	36,7	30,0	22,5	16,3	13,6	40	43,4	38,1	30,9	22,3	15,8	12,8	18,9	27,1	35,3	41,8	44,6	
16,2	21,5	28,1	35,2	39,9	41,8	40,8	37,0	30,7	23,6	17,5	14,8	38	43,4	38,5	31,7	23,3	16,9	13,9	20,2	28,0	35,8	41,9	44,5	
17,5	22,6	29,0	35,7	40,0	41,7	40,8	37,4	31,5	24,6	18,7	16,1	36	43,4	38,9	32,4	24,3	18,1	15,1	21,2	28,8	36,3	42,0	44,4	
18,7	23,7	29,9	36,1	40,0	41,6	40,8	37,6	32,1	25,6	19,9	17,3	34	43,4	39,2	33,0	25,3	19,2	16,2	22,3	29,6	36,7	42,0	44,3	
19,9	24,8	30,7	35,5	40,0	41,4	40,7	37,9	32,8	26,6	21,1	18,5	32	43,3	39,4	33,7	26,3	20,3	17,4	23,3	30,4	37,1	42,0	44,1	
21,1	25,8	31,4	36,8	40,0	41,2	40,6	38,0	33,4	27,6	22,2	19,8	30	43,1	39,6	34,3	27,2	21,4	18,5	24,3	31,1	37,5	42,0	43,9	
22,3	26,8	32,2	37,1	40,0	40,9	40,4	38,2	33,9	28,5	23,3	21,0	28	43,0	39,8	34,8	28,1	22,5	19,7	25,3	31,8	37,8	41,9	43,6	
23,4	27,8	32,8	37,4	39,9	40,6	40,2	38,3	34,5	29,3	24,5	22,2	26	42,8	39,9	35,3	29,0	23,5	20,8	26,3	32,5	38,0	41,8	43,3	
24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,9	38,3	34,9	30,2	25,5	23,3	24	42,5	40,0	35,8	29,8	24,6	21,9	27,2	33,1	38,3	41,7	43,0	
25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5	22	42,2	40,1	36,2	30,6	25,6	23,0	28,1	33,7	38,4	41,4	42,6	
26,8	30,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,6	20	41,9	40,0	36,6	31,3	26,6	24,1	29,0	34,2	38,6	41,2	42,1	
27,9	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,9	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8	18	41,5	40,0	37,0	32,1	27,5	25,1	30,0	34,7	38,7	40,9	41,7	
28,9	32,3	35,7	38,1	38,7	38,6	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,9	16	41,1	39,9	37,2	32,8	28,5	26,2	30,9	35,2	38,7	40,6	41,2	
29,9	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38,0	36,7	33,9	30,6	28,9	14	40,6	39,7	37,5	33,4	29,4	27,2	31,8	35,6	38,7	40,2	40,6	
30,9	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30,0	12	40,1	39,6	37,7	34,0	30,2	28,1	28,9	32,1	36,0	38,6	39,8	40,0
31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0	10	39,5	39,3	37,8	34,6	31,1	29,1	29,8	32,8	36,3	38,5	39,3	39,4
32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32,0	8	38,9	39,0	37,9	35,1	31,9	30,0	30,7	33,4	36,6	38,4	38,8	38,7
33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9	6	38,3	38,7	38,0	35,6	32,7	30,9	31,5	34,0	36,8	38,2	38,2	38,0
34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9	4	37,6	38,3	38,0	36,0	33,4	31,8	32,3	34,6	37,0	38,0	37,6	37,2
35,4	37,0	37,8	37,1	35,4	34,2	34,6	36,1	37,3	37,0	35,6	34,8	2	36,9	37,9	38,0	36,4	34,1	32,6	33,1	35,2	37,1	37,7	37,0	36,4
36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6	0	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6



PARAMETROS DE DISEÑO CALCULO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO

PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024

PROPIETARIO : Bach. NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO

UBICACIÓN : DISTRITO DE ARAPA - PROVINCIA DE AZANGARO - DEPARTAMENTO PUNO

FECHA : NOVIEMBRE DEL 2024

Referencia: Manual para el diseño de sistemas de riego & R.M. N.º 0494-2022-MIDAGRI

I. CALCULO DE CAUDAL DE BOMBEO

Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Caudal promedio de la fuente de agua	Qp	0.0684	m ³ /s	Sgn. aforo realizado
Volumen del tanque de almacenamiento	Vta	32.00	m ³	Sgn. demanda hidrica
Tiempo de llenado del tanque	T	3.00	hrs	Criterio tecnico

1.1 Calculo del caudal de bombeo

Caudal de bombeo $Q_b = V_{ta}/T$

$$Q_b = 0.0029630 \text{ m}^3/\text{s}$$

II. CALCULO DEL DIAMETRO DE IMPULSIÓN Y SUCCIÓN

Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Horas de bombeo de agua	X	3.00	hrs	Sgn. aforo realizado

2.1 Calculo del diametro de impulsión

Diametro de impulsión $D_i = 1.3 \cdot (X^{1/4}) \cdot \sqrt{Q_b}$

$$D_i = 1.66 \text{ Pulg.}$$

$$D_i = 2.00 \text{ pulg.}$$

Diametro asumido

2.2 Calculo del diametro de succión

El diámetro de la tubería de succión siempre será mayor al diámetro de impulsión, es por ello que se asumió un diámetro superior que en este caso será:

$$D_s = 3.00 \text{ Pulg.}$$

III. CALCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

3.1 Calculo de la velocidad de la tubería de impulsión

Velocidad del fluido $V = (4 \cdot Q_b) / (\pi \cdot D)$

$$V = 0.074 \text{ m/s.}$$

3.2 Calculo de la altura hidrodinamica total

Velocidad del fluido $HDT = H_s + H_i + \sum h_{fs} + \sum h_{fi} + (V^2/2g) + P_s$

Perdida de carga de acce.-tub. de succión $h_{fas} = 0.03 \text{ m}$ $K(V^2/2g)$

Coefficiente de rugosidad $C = 150.00 \text{ C}$ PVC

Longitud de tubería de succión $L_s = 3.00 \text{ m}$ Sgun. Campo



Perdida de carga de tubería de succión	hfs =	0.00 m	Sgun. Longitud
Perdida de carga de acce.-tub. de impulsión	hfai =	0.20 m	Sgun. Accesorios
Longitud de tubería de impulsión	Li =	30.00 m	Sgun. Accesorios
Perdida de carga de tubería de impulsión	hfi =	0.00 m	Sgun. Longitud
Altura de la tubería de succión	Hs =	25.00 m	Sgun. Campo
Altura de la tubería de impulsión	Hi =	5.00 m	Sgun. Campo

HDT=	35.00 m.c.a.
-------------	---------------------

IV. POTENCIA DE LA BOMBA

Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Eficiencia de la bomba	n	70.00	%	Sgn. El modelo

4.1 Calculo de la potencia de la bomba

Potencia de la bomba

$$P_b = ((1000 * Q_b * HDT) / (75 * n))$$

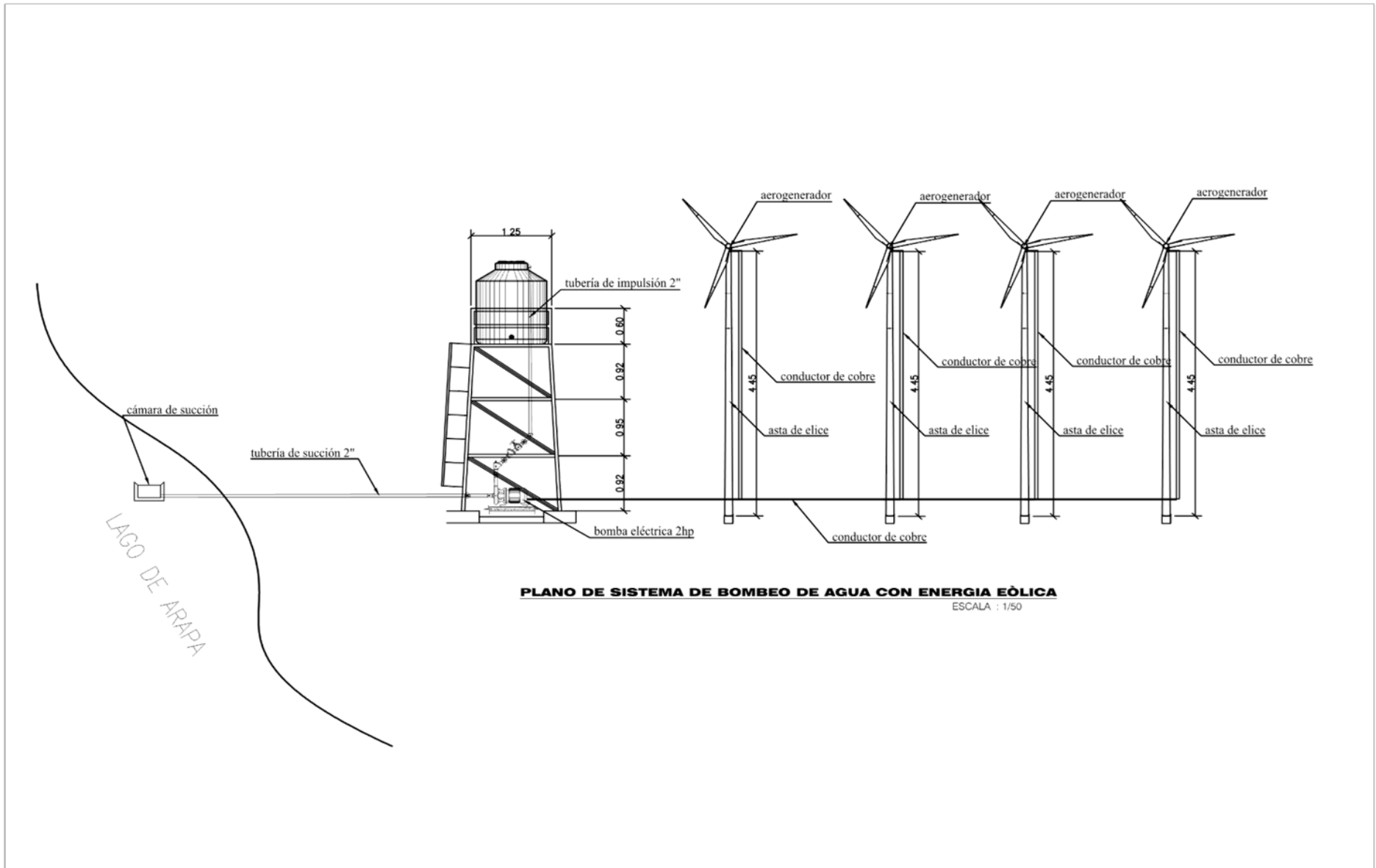
Pb =	1.975325 HP
-------------	--------------------

Pb =	2.00 HP	Potencia asumida
-------------	----------------	------------------

Anexo 5. Plantilla de cálculo del sistema eólico

PARAMETROS DE DISEÑO CALCULO DE LOS MODULOS EOLICOS				
PROYECTO	: DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE ARAPA, DE LA PROVINCIA DE AZÁNGARO, PUNO, 2024			
PROPIETARIO	: Bach. NICO HELADIO RODRIGUEZ ADCO			
UBICACIÓN	: DISTRITO DE ARAPA - PROVINCIA DE AZANGARO - DEPARTAMENTO PUNO			
FECHA	: NOVIEMBRE DEL 2024			
I. CALCULO DE LOS MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS				
Información base de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente
Velocidad del viento	V	2484.32	m/s	Según SENAMHI
Diametro del rotor	D	4.91	m	Recomendado
1.1 Calculo del area del rotor				
Area del rotor	$A = (\pi [D]^2) / 4$			
	A =	13.20 m ²		
	A = 13.20 °			
1.2 Calculo de la potencia del rotor				
Potencia eolica	$P_{eolic} = 1/2 \rho A v^3$			
	$P_{eolic} =$	0.40 kw		
1.3 Calculo de aparatos eolicos				
Aparatos eolicos	$[Aparato]_{eolic} = (Potencia de la bomba) / (potencia eolica)$			
	Ae =	3.68 m		
Se requerirá 4 aparatos eólicos para el funcionamiento de la bomba de 2HP				

Anexo 7. Plano del sistema de bombeo de agua con energía eólica



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 28-11-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos:	<u>NICO HELODIO RODRIGUEZ ADCO</u>		
Dirección:	<u>SR. PEDRO VILCAPAZA 365</u>		
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	<u>71225983</u>		
Teléfono:	<u>973573571</u>		
email:	<u>rodriguezadconico@gmail.com</u>		
Nombres y Apellidos:	_____		
Dirección:	_____		
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	_____		
Teléfono:	_____		
email:	_____		
Facultad y/o Escuela de Posgrado:	<u>INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS</u>		
Escuela Profesional o Mención:	<u>INGENIERIA CIVIL</u>		
Título o Grado Académico a optar:	<u>INGENIERO CIVIL</u>		
Asesor:	<u>DR. LEONEL SUASACA PELINCO</u>		
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:			
Trabajo de Investigación <input type="checkbox"/>	Tesis <input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional <input type="checkbox"/>	Trabajo Académico <input type="checkbox"/>
Título:	<u>DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA EÓLICA PARA RIEGO EN EL DISTRITO DE DRAPU, DE LA PROVINCIA DE AZANGARO, PUNO, 2024.</u>		
Palabras claves, (3 a 5 términos):	<u>ENERGÍA EÓLICA, SISTEMA DE BOMBEO, riego.</u>		
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2?}	<u>1.</u>		

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.
² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
 Título
 2da Especialidad
 Maestría
 Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P17

Firma de Autor



huella digital

28 DE NOVIEMBRE 2025

Fecha

