

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO  
DEL PERÚ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**



**TÍTULO:**

**“ESTUDIO DE SISTEMAS EÓLICOS PARA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA PARA BOMBEO DE AGUA EN LA  
LOCALIDAD DE NINANTAMBO, TARMA, 2022”**

**Presentado por:**

**JUAN CARLOS PARI CAHUANA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2023**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

Av. Mariscal Castilla N° 3909 - 4089 - Ciudad Universitaria – Pabellón “C”

Teléfono (064) 481060 – Anexo 3271 – 3272 - 3273

Página Web: [www.uncp.edu.pe](http://www.uncp.edu.pe)

E-MAIL: [f\\_electrica@uncp.edu.pe](mailto:f_electrica@uncp.edu.pe)



**INFORME N° 029-2023-WTOM-FIEE-UNCP**

**AL : Dr. BARTOLOMÉ SAÉNZ LOAYZA**  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA DE LA UNCP

**DEL : WILAR TITO ORELLANA MENDOZA**  
DOCENTE ASESOR.

**ASUNTO : INFORME DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**INTERESADO : Bach. PARI CAHUANA, Juan Carlos**

**REFERENCIA : RESOLUCIÓN N° 043-2022-D-FIEE/UNCP**

**FECHA : 08 DE AGOSTO DE 2023**

Mediante el presente informo a Ud. que el bachiller **PARI CAHUANA, Juan Carlos**, ha CULMINADO con el desarrollo de la tesis titulado “**ESTUDIO DE SISTEMAS EÓLICOS PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA BOMBEO DE AGUA EN LA LOCALIDAD DE NINANTAMBO, TARMA, 2022**”, por lo que en mi calidad de Asesor comprobé la originalidad mediante el Software TURNITIN, con el resultado de 15% de similitud cumpliendo con las disposiciones respectivas.

En espera de que la presente ha de contar con su amable atención, la ocasión es oportuna para expresarle las muestras de mi estima personal.

Atentamente

---

**ING. WILAR TITO ORELLANA MENDOZA**  
Profesor Asesor

# Tesis JC Pari

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="http://repositorio.umsa.bo">repositorio.umsa.bo</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://distancia.udh.edu.pe">distancia.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://ahorro-energetico.es">ahorro-energetico.es</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://repositoriodigital.uns.edu.ar">repositoriodigital.uns.edu.ar</a> Fuente de Internet	

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía Activo



**ASESOR:**

**M.Sc. Wilar Tito Orellana Mendoza**

**ORCID:**

**DNI: 20090350**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis dedico a mis padres y familiares por su gran apoyo para culminar la presente investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

Los estimados educadores de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, así como el distinguido personal de la Universidad Nacional del Perú Central, merecen mi gratitud.

.

## ÍNDICE

ASESOR:.....	ii
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURA .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	9
Capítulo 1: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.2.1 Problema general.....	12
1.2.2 Problemas específicos.....	12
1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....	12
1.3.1 Objetivo general .....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	13
1.4.1 Justificación Teórica.....	13
1.4.2 Justificación Social .....	13
1.4.3 Justificación ambiental. ....	13
Capítulo 2: BASES TEÓRICAS .....	14
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
2.2 BASES TEÓRICAS .....	17
2.2.1 El Aerogenerador.....	17
2.2.2 Componentes del aerogenerador. ....	18

2.2.3	Densidad de la energía eólica.....	18
2.2.4	El Límite de Betz.....	20
2.2.5	El Caudal de salida.....	26
2.2.6	Definiciones conceptuales.....	27
2.2.7	Definiciones operacionales.....	27
2.3	SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	28
2.3.1	Hipótesis General:.....	28
2.3.2	Hipótesis específica.....	28
Capítulo 3: ASPECTOS METODOLÓGICOS.....		29
3.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1.1	Tipo de Investigación:.....	29
3.1.2	Nivel de Investigación.....	29
3.2	MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.2.1	Método.....	30
3.2.2	Diseño.....	30
3.3	Población y muestra.....	30
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	30
3.5	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	30
Capítulo 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		31
4.1	Desarrollo de la investigación.....	31
4.1.1	La orientación espacial del lugar.....	31
4.1.2	Velocidad de viento en la localidad de Ninantambo-Tarma.....	34
4.1.3	Datos de la carga.....	40
4.1.4	Datos de la bomba sumergible.....	40
4.1.5	Carga de la bomba sumergible.....	42

4.1.6 Selección de aerogenerador .....	42
4.1.7 Datos del aerogenerador .....	44
4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	45
CONCLUSIONES .....	48
RECOMENDACIONES .....	49
BIBLIOGRAFÍA .....	50
ANEXOS .....	52

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1.	Partes básicas de un aerogenerador .....	18
Figura 2.	Flujo másico del viento.....	22
Figura 3.	Ubicación en Google maps.....	32
Figura 4.	Vista satelital .....	33
Figura 5.	Recurso Eólico en Ninantambo-Tarma .....	33
Figura 6.	Potencia media en la localidad de Ninantambo-Tarma.....	34
Figura 7.	Frecuencia de velocidad de viento.....	35
Figura 8.	Intensidad e Intensidad corregida .....	36
Figura 9.	Orientación de las velocidades de viento .....	37
Figura 10.	Velocidad a la altura de 100 metros en Ninantambo-Tarma.....	37
Figura 11.	Variación anual en Ninantambo-Tarma .....	38
Figura 12.	Variación mensual en Ninantambo-Tarma .....	38
Figura 13.	Variación por hora en Ninantambo-Tarma .....	39
Figura 14.	Gráfico polar del viento en Ninantambo-Tarma .....	39
Figura 15.	Bomba sumergible.....	41
Figura 16.	Aerogenerador 2 kW .....	44
Figura 17.	Comparación de medias .....	46
Figura 18.	Zonas de verificación del valor t.....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Variable dependiente .....	28
Tabla 2:	Variable independiente .....	28
Tabla 3:	Ubicación <b>del</b> lugar .....	31
Tabla 4:	Coordenadas georreferenciadas .....	32
Tabla 5:	Rango de velocidades .....	34
Tabla 6:	Velocidad a 10 metros .....	35
Tabla 7:	Intensidad del viento.....	36
Tabla 8:	Bombeo de agua requerido .....	40
Tabla 9:	Datos de la Bomba.....	41
Tabla 10:	Cuadro de carga de la Bomba sumergible.....	42
Tabla 11:	Carga y energía con factor de seguridad .....	42
Tabla 12:	Tipo de generadores .....	43
Tabla 13:	Potencia para dos aerogeneradores .....	43
Tabla 14:	Datos del aerogenerador .....	44
Tabla 15:	Valores de energía.....	45
Tabla 16:	Valor de t student .....	46

## **RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación fue realizar el estudio de los sistemas eólicos utilizados para la producción de energía eléctrica para facilitar el bombeo de agua en la localidad de Ninantambo, situada en la provincia de Tarma., se escogió la localidad por tener la mayor densidad de recurso eólico de la provincia de Tarma, así mismo se buscó que la población mejore la calidad de vida a través de la agro industrialización empleando tecnología que permita el bombeo de agua para mejorar el riego de sus cultivos, así mismo en la actualidad se busca utilizar energía no contaminante y amigable con el medio ambiente, motivo por el cual se recomienda utilizar sistemas de generación de electricidad mediante recursos eólicos. El presente estudio se caracteriza por ser del tipo aplicada, con un enfoque explicativo. Para recopilar datos relacionados con la energía eléctrica, se realizaron observaciones y se emplearon instrumentos especializados. Como resultados principales se obtuvo una potencia útil generada por aerogeneradores de 979.58 Watts y la energía producida durante 6 horas de operación de los aerogeneradores es de 5877.51 Wh/día energía que cubre la demanda de la bomba sumergible que tiene un valor de 3360 Wh/día.

Palabras claves: sistemas eólicos, bombas sumergidas , conservación del medio ambiente.

## **ABSTRACT**

The objective of the present investigation was to carry out the study of the wind systems used for the production of electrical energy to facilitate the pumping of water in the town of Ninantambo, located in the province of Tarma. The town was chosen for having the highest density wind resource in the province of Tarma, likewise it was sought that the population improves the quality of life through agro-industrialization using technology that allows the pumping of water to improve the irrigation of their crops, likewise currently it is seeking use non-polluting and environmentally friendly energy, which is why it is recommended to use electricity generation systems using wind resources. The present study is characterized by being of the applied type, with an explanatory approach. To collect data related to electrical energy, observations were made and specialized instruments were used. As main results, a useful power generated by wind turbines of 979.58 Watts was obtained and the energy produced during 6 hours of operation of the wind turbines is 5877.51 Wh/day, energy that covers the demand of the submersible pump that has a value of 3360 Wh/ day.

Keywords: wind systems, submerged pumps, environmental conservation.

## INTRODUCCIÓN

La tesis realizada explica que el lugar de estudio Ninatambo, una ciudad situada en la provincia de Tarma, presenta las características óptimas para utilizar turbinas eólicas con el fin de generar electricidad. Esto se debe a que la velocidad del viento es de 6 m/s, junto con una frecuencia del 70%, es importante indicar que la velocidad mínima para la generación de energía eléctrica es de 3 m/s. La densidad de potencia registrada es de 141,70 W/m<sup>2</sup>, superando el umbral mínimo recomendado para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, en la actualidad, la capacidad eólica disponible en el lugar de investigación mencionado anteriormente permanece sin explotar. Por lo tanto, esta tesis propone que la administración regional debería aprovechar las turbinas eólicas para producir energía eléctrica y utilizar el mismo para bombeo de agua mejorando así la tecnificación de riego del lugar y en consecuencia mejorando la productividad de sus terrenos de cultivo esto permitirá que los pobladores mejoren su económica y así mismo cuiden el medio ambiente donde viven. La tesis está organizada en cuatro capítulos distintos. El capítulo inicial aclara el problema que la tesis trata de resolver. El capítulo siguiente proporciona una base completa y un marco teórico elaborado que se empleó en el desarrollo de la investigación. En el tercer capítulo, se describe cuidadosamente la metodología científica empleada en el desarrollo de la tesis. Finalmente, el cuarto capítulo presenta los resultados del estudio sobre el recurso eólico, el estudio de la carga, el proceso de selección de turbinas eólicas y el cálculo de la energía producida por el sistema de turbinas eólicas.

El autor.

## **Capítulo 1:**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El uso de energías renovables se incrementa a nivel mundial debido al cambio climático; la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 2021 en su veinte seis ava edición establecido como objetivo la reducción del uso de combustibles fósiles para mantener el calentamiento global "bien por debajo" de 2 grados centígrados y así evitar una catástrofe climática. Los países 200 países que firmaron el documento redactado durante la conferencia (COP26) se comprometieron en establecer mecanismos para cumplir con el objetivo establecido por las naciones. Entre los mecanismos establecidos fue la utilización de energías no convencionales como la eólica, solar, mareomotriz, entre otros que puedan reducir la emisión de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, el objetivo es muy ambicioso porque para el año 2050 se busca reducir 16.5 Gt. (REN,2021). Por el contrario, es imperativo documentar que Perú es responsable de tan solo el 0,4% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> y que, durante la Conferencia de las Partes (COP 21) de 2015, el gobierno de Perú se comprometió a reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> en un 30% para el año 2030, de conformidad con el Acuerdo de París. Además, en diciembre del año 2020, elevó este compromiso a una reducción del 40% con el objetivo de lograr la neutralidad en carbono para el año 2050. El gobierno peruano, a través de sus diversos ministerios, se esfuerza por fomentar la adopción de fuentes de energía renovables, que asumen

una función fundamental para mitigar el impacto deletéreo del cambio climático, confirmando así la sostenibilidad ambiental de la nación. Esta tesis se esfuerza por investigar los pequeños sistemas eólicos como un medio para generar energía eléctrica con fines productivos, particularmente para el bombeo de agua, dados los desafíos que enfrentan tanto a escala global como local. La ciudad de Ninatambo, situada en la provincia de Tarma, ha sido seleccionada como lugar de estudio debido a su favorable velocidad de viento de 7 m/s y, en consecuencia, a su idoneidad para la instalación de aerogeneradores. Además, la investigación tiene como objetivo

determinar la cantidad de energía eléctrica que se puede generar anualmente y las formas en que esto contribuirá a la conservación del medio ambiente.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo los sistemas eólicos permitirán la generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿De qué manera el estudio del recurso eólico puede permitir el cálculo de la producción de energía eléctrica para el bombeo de agua en la localidad de Ninantambo, situada en la provincia de Tarma?
- ¿Cómo el dimensionamiento del aerogenerador puede permitir la producción de energía eléctrica para el bombeo de agua en la localidad de Ninantambo, ubicado en la provincia de Tarma?

## **1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo general**

Estudiar sistemas eólicos para la generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Estudiar el recurso eólico para generación de energía para bombeo en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.
- Dimensionar el Aero generador para la generación de energía para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

### **1.4.1 Justificación Teórica**

La investigación da a conocer teorías relacionadas a bombeo de agua mediante abastecimiento de energía eléctrica con aerogeneradores.

### **1.4.2 Justificación Social**

La investigación se puede utilizar como modelo para ser replicado en parcelas o terrenos pequeños a favor de la sociedad que realiza de riegos tecnificados que con bombas de agua.

### **1.4.3 Justificación ambiental.**

La investigación está preparada para hacer una contribución significativa a la producción de energía eléctrica mediante la utilización de fuentes sostenibles, mitigando así la emisión de gases ambientales dañinos.

## **Capítulo 2: BASES TEÓRICAS**

### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Se utilizó la tesis denominada “Aplicación de la energía eólica a sistemas de bombeo de agua subterránea” del autor Azor (2011) en donde se realiza el proceso de un estudio de viabilidad para explorar el potencial de aprovechar la energía eólica con el fin de bombear aguas subterráneas. Azor (2011) También se lleva a cabo la recopilación de información sobre las tecnologías disponibles relacionadas con los sistemas de bombeo de aguas subterráneas. Antes de adquirir e instalar dichos sistemas, es imprescindible realizar un análisis del potencial eólico en el sitio designado y de las necesidades de agua de los usuarios del sistema. Estos datos son esenciales para garantizar el dimensionamiento preciso de la instalación. Se proporciona una propuesta de instalación para una región específica de la provincia de Granada, donde se estudia el sistema óptimo basándose en datos iniciales genuinos.

También se empleó la investigación titulada “ Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo san juan de cayalti provincia de Chiclayo-Lambayeque” del autor Cajusol (2019) donde se tiene por objetivo el estudio de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo San Juan

en el distrito de Cayaltí provincia de Chiclayo; debido a la problemática del uso de una motobomba para el riego tanto económico como ambientales. Tras realizar cálculos, Cajusol (2019) descubrió que la demanda de agua de riego de la finca de San Juan fluctúa según el mes del año. El autor reveló además que la mayor cantidad de agua, 248,51 m<sup>3</sup>/día, se necesita durante el mes de febrero, mientras que la demanda de agua disminuye significativamente hasta alcanzar los 123,77 m<sup>3</sup>/día en junio. Los datos de irradiación solar fueron adquiridos por el autor de la NASA, donde el umbral mínimo se registró en 4,89 kWh/m<sup>2</sup>/día (Cajusol, 2019). El autor analizó el viento durante el mes de junio, que tuvo la velocidad del viento más baja, y durante el mes de noviembre, que tuvo la velocidad del viento más alta. Mediante cálculos, Cajusol (2019) pudo concluir que la energía eólica aportó el 9,20% y el 38,6% de la energía total necesaria para el sistema de bombeo durante junio y noviembre, respectivamente. El diseño de un sistema eólico solar híbrido para bombear agua implicó la selección cuidadosa de componentes, como un aerogenerador ZONHAN de 2 kW, 14 paneles fotovoltaicos SIMAX, 08 baterías ROLLS de 503 Ah, el controlador 01 Blue Solar 150/85 y un inversor VICTRON ENERGY de 5 kW. El coste total de la implementación de este sistema híbrido ascendió a 91 201,05 soles. Este sistema es particularmente adecuado para aplicaciones en las que se utilizan energía eólica y solar para alimentar motobombas. La integración de las fuentes de energía eólica y solar en un sistema híbrido es un enfoque prometedor para lograr soluciones energéticas sostenibles.

La tesis titulada “Diseño de un sistema de bombeo de agua alimentado por un aerogenerador para el riego de forraje, comunidad de villa Puni-Escoma” de Guachalla (2018). El presente estudio se refiere a la resolución de los problemas de deficiencia de electricidad, principalmente en las regiones rurales, con énfasis en el papel crucial de este recurso para impulsar el crecimiento económico en las respectivas localidades. El autor presenta un enfoque innovador para el desarrollo de sistemas de riego mediante la utilización de la energía eólica. Además, el autor divulga los principios

matemáticos que pueden implementarse en la construcción de una turbina eólica de baja capacidad con el fin de operar una bomba centrífuga de Guachalla (2018).

La investigación denominada “Diseño de un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua potable, con una potencia instalada de 2hp en el centro poblado de Montegrande, Distrito de Reque, Departamento de Lambayeque” del autor Baique (2015) ha publicado mediciones de la velocidad del viento con el fin de estimar el potencial del viento. Además, se realizaron encuestas a la población para medir la cantidad de agua necesaria para realizar todas sus actividades. Además, se realizaron cálculos para determinar e idear cada componente del sistema eólico. Con el fin de realizar el «análisis del viento», se realizaron meticulosamente mediciones precisas de la velocidad del viento durante un período de 5 días consecutivos. Además, para garantizar la máxima precisión, los puntos de referencia para este análisis se derivaron del histograma de velocidad de la prestigiosa Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, que abarca los meses de abril a julio. Esta metodología meticulosamente diseñada permitió una estimación muy fiable de la velocidad media del viento, utilizando el famoso teorema de Hellman como base fundamental para el análisis (Baique, 2015). Los resultados obtenidos por el autor revelaron que la velocidad del sitio es de 4,6 metros por segundo. Además, el potencial eólico se estima en 278.036 vatios, mientras que el consumo diario se registra en 70 litros por hora. Se calcula que la demanda de agua de toda la población es de 22750 litros por día. Además, se seleccionaron cuidadosamente dos bombas con una potencia de 1Hp cada una. En cuanto al diseño del aerogenerador, la pala tiene 2.5 metros de longitud, mientras que el buje tiene un diámetro de 30 centímetros.

Por último se utilizó la tesis titulada “Optimización de un sistema de bombeo considerando el balance electromecánico” presentado por Carpio López (2021). El autor expone la utilización de la energía que conduce a la preservación del medio ambiente y la utilización sostenible de los recursos naturales. El autor también arroja luz sobre los recursos de energía renovable y saca a la luz las dificultades a las que se

enfrentan las zonas rurales marginales. Los informes técnicos del autor muestran métodos prácticos para optimizar el sistema de bombeo comunitario que abastece a unas 40 personas en una ciudad de nuestra región. El documento también proporciona una evaluación de la disponibilidad de energía para elevaciones de 15 y 20 m, teniendo en cuenta el equilibrio electromecánico desde la bomba hasta el convertidor eólico. Sobre la base de un análisis exhaustivo de la literatura técnica relacionada con este tema, se tomó la decisión de dar prioridad a los aspectos mecánicos y eléctricos de la ingeniería.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 El Aerogenerador.**

Una turbina eólica es un generador eléctrico que funciona aprovechando la energía del viento a través de una turbina. La energía cinética presente en el aire se encarga de impartir energía mecánica a una hélice, que a su vez hace girar el rotor de un generador mediante un sistema de transmisión mecánica. Lo habitual es que el generador sea un alternador trifásico que transforma la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

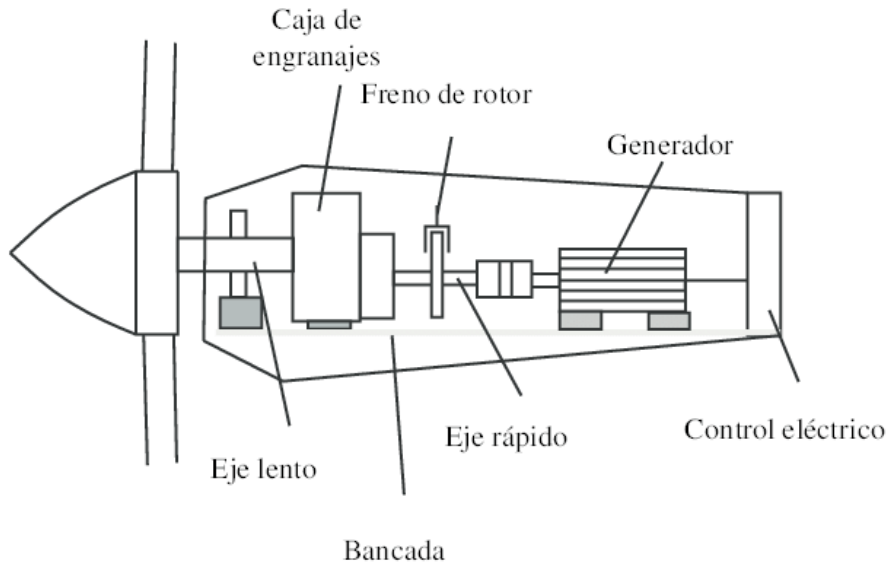
Existe un amplio espectro de turbinas eólicas con configuraciones diversas, que incluyen aquellas con un eje de rotación vertical o un número variable de palas en su hélice. Parece que la tecnología que finalmente se ha convertido en la solución dominante es la turbina eólica de dos palas con un eje horizontal y un rotor orientado hacia el viento.

Existen numerosos tipos de aerogeneradores, de los cuales el que más se distribuye es el fabricado en España. Los aerogeneradores en miniatura de Bornay abarcan una amplia gama de aerogeneradores, con una potencia nominal que oscila entre 0.6 y 6 kW, y son capaces de suministrar energía a todo tipo de instalaciones, especialmente residencias, pequeñas industrias, establecimientos agrícolas y sistemas de telecomunicaciones.

### 2.2.2 Componentes del aerogenerador.

Los componentes principales de una turbina eólica son de suma importancia en la generación de electricidad a partir de la energía eólica.

Figura 1. *Partes básicas de un aerogenerador*



### 2.2.3 Densidad de la energía eólica.

La distribución de la densidad de la energía eólica está sujeta a la influencia del viento de superficie, que está sujeto a la modulación de los sistemas atmosféricos primarios que rigen las condiciones meteorológicas en la nación. En las regiones donde la intensidad del viento es débil, los valores de densidad de energía tienden a ser más bajos; por el contrario, donde las velocidades del viento son elevadas, la densidad de energía podría aumentar a una tasa cúbica de esa velocidad.

La energía posee la capacidad inherente de generar trabajo, mientras que la potencia representa la medida de la energía gastada en una unidad de tiempo específica. Esta métrica cuantificable se representa matemáticamente mediante la siguiente ecuación.

$$E = Pt \dots \dots \dots (1)$$

La utilización del movimiento del viento para generar energía eléctrica es la característica definitoria de la energía eólica, lo que resulta en la manifestación de la energía cinética que puede cuantificarse mediante la ecuación subsiguiente.

$$Ec = \frac{1}{2}mV^2 \dots\dots\dots(2)$$

Donde m representa la cantidad de aire y V indica la velocidad del aire, la primera está íntimamente relacionada con la ecuación de densidad.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(3)$$

Mientras que la densidad del aire se localiza y se denota con  $\rho$ , el volumen ocupado por la masa se puede establecer mediante la velocidad del aire durante una duración específica por unidad de área.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{\frac{1}{2}mV^2}{t} \dots\dots\dots(4)$$

$$P = \frac{\frac{1}{2}(\rho VAt)V^2}{t} = \frac{1}{2}\rho AV^3 \dots\dots\dots(5)$$

Según la ecuación antes mencionada, se puede inferir que la densidad de energía presenta una proporcionalidad directa con la densidad del aire, lo que resulta en una menor densidad de potencia a mayores altitudes, distantes de la superficie de la Tierra. Sin embargo, la densidad de energía manifiesta una proporcionalidad directa con la velocidad del viento por cubo, lo que implica que incluso un aumento minúsculo de la velocidad del viento puede provocar un aumento sustancial de la densidad de potencia.

Junto con la densidad de potencia, existe una potencia desmontable que representa la máxima cantidad de energía que puede transformarse en energía mecánica mediante el empleo de una turbina eólica. Este valor se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$P = C_p n P_{viento} \dots \dots \dots (6)$$

El coeficiente de potencia máxima, también conocido como límite de Betz, denotado por  $C_p$ , representa la eficiencia de la conversión mecánica y eléctrica. Este coeficiente está determinado por la potencia de la turbina eólica en vatios, indicada por P.

#### 2.2.4 El Límite de Betz.

Esta correlación implica que el rotor no convierte completamente todo el flujo de aire en energía eléctrica, lo que indica que no se utiliza toda la energía cinética proporcionada por el viento. La potencia máxima que se puede aprovechar del viento viene determinada por el límite de Betz, proporcionando así la energía eólica disponible. En el mejor de los casos, una turbina eólica solo puede convertir un máximo del 59,26% de la energía cinética del viento en energía mecánica.

El modelo Betz se reducirá a una investigación exhaustiva sobre la capacidad de una turbina eólica para extraer energía del viento. En consecuencia, se explicará la secuencia de acciones requerida para determinar la potencia antes mencionada. Es necesario examinar la cantidad de energía cinética que posee el viento que atraviesa la región abarcada por las hélices o las palas durante un período especificado. Esta magnitud se puede representar matemáticamente mediante la siguiente ecuación:

$$Potencia\ del\ viento = \frac{E_c}{t} = \frac{\frac{1}{2}mV^2}{t} \dots \dots \dots (7)$$

La cantidad de aire que atraviesa el rotor corresponde al volumen del cilindro del rotor, que es equivalente al producto de su área y longitud. La longitud del cilindro del rotor se puede calcular en función de la velocidad del viento y la duración de su recorrido por el cilindro.

$$m = \rho \cdot \text{Vol} = \rho \cdot A \cdot L = \rho \cdot A \cdot V \cdot t \dots \dots \dots (8)$$

Al incorporar la ecuación de masa anteriormente mencionada en la ecuación de la energía eólica, se obtiene la representación matemática resultante:

$$\text{Potencia del viento} = \frac{\frac{1}{2}mV^2}{t} = \frac{\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot V \cdot t \cdot V^2}{t} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \dots \dots \dots (9)$$

De la expresión derivada, se puede inferir que la potencia aprovechada por una turbina eólica es exponencialmente proporcional al cubo de la velocidad del viento. Ergo, cuanto mayor sea la velocidad, más significativa será la potencia de salida. Sin embargo, es imperativo imponer un umbral de velocidad a las turbinas eólicas para evitar fallas mecánicas.

Es imperativo incorporar un coeficiente de potencia en la ecuación, ya que es un hecho bien conocido que la turbina eólica es incapaz de aprovechar toda la energía cinética del viento. Si lo hiciera, el flujo de aire cesaría una vez que chocara con el rotor, lo cual es un resultado indeseable. Por lo tanto, la ecuación de la energía eólica se puede expresar de la siguiente manera.

$$P_{nominal} = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot n \dots \dots \dots (10)$$

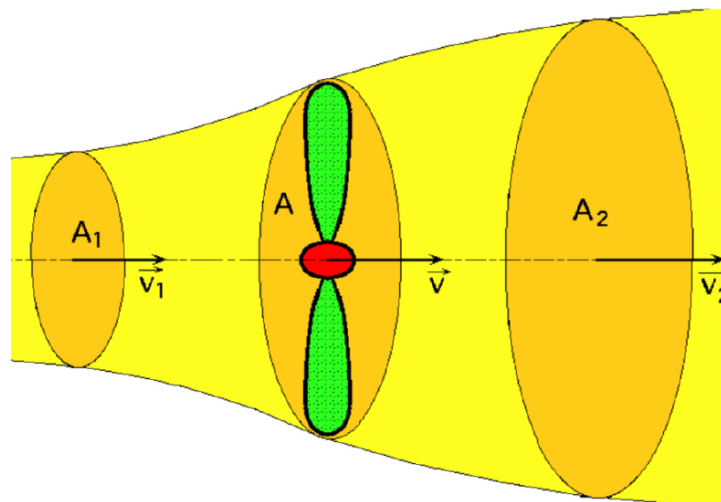
El coeficiente de potencia ( $C_p$ ), también conocido como límite de Betz, aclara el fenómeno de la reducción de la velocidad del viento cuando atraviesa las hélices de

una turbina eólica. En otras palabras, cuando el viento se dirige hacia el rotor, tiene una velocidad inicial de  $V_1$  y ocupa el área de la sección transversal del volumen de aire  $A_1$ . Al cruzar la zona  $A$  de la pala, la velocidad del viento alcanza su valor máximo de utilidad  $V$ . Una vez que el aire pasa por el rotor, experimenta un efecto de frenado, lo que produce una alteración de los valores denominados  $A_2$  y  $V_2$  (Torres, 2019).

Con una comprensión adecuada del modelo de Betz, resulta factible calcular su valor empleando la ecuación del flujo másico, ya que el flujo atraviesa el rotor con una velocidad uniforme.

$$Qm = \rho \cdot Q = \rho \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho \cdot A_2 \cdot V_2 = \rho \cdot A \cdot V \dots \dots \dots (11)$$

Figura 2. Flujo másico del viento



Utilizando la fórmula de flujo másico, hay dos métodos para determinar la potencia ventajosa de una turbina eólica. Estos incluyen la evaluación de la disipación de la energía cinética que sufre el viento al atravesar las palas del rotor.

$$P_{util} = \frac{-\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{E_{c1} - E_{c2}}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot d \cdot (v_1^2 - v_2^2)}{\Delta t} \dots \dots \dots (12)$$

$$= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) \dots\dots\dots(13)$$

En la ecuación 12 se ha reemplazado el valor de la masa por el producto de densidad por volumen y la expresión de  $v=d/t$ . Como trabajo generado por el viento en un tiempo determinado en la sección A, es decir, justo en el momento en que el viento está en las hélices del aerogenerador.

En la ecuación 12, la variable que indica la masa se ha sustituido por el producto de la densidad y el volumen, así como por la expresión  $v=d/t$ . Esta ecuación se refiere al trabajo producido por el viento durante un intervalo de tiempo específico en la sección A, es decir, cuando el viento choca con las palas de la hélice de la turbina eólica.

$$P_{util} = F \cdot v = \frac{\rho \cdot A \cdot d \cdot (v_1 - v_2)}{\Delta t} \cdot v = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots(14)$$

Según los principios de la tercera ley de Newton, la manifestación actual de la potencia útil exhibe una correspondencia distinta entre la fuerza del viento y la fuerza que actúa sobre él. Sin embargo, cabe destacar que esta última se expresa en un valor numérico negativo, como se presenta a continuación.

$$\begin{aligned} \text{Fuerza del viento} &= -\text{Fuerza sobre el viento} = \frac{-m(v_2 - v_1)}{\Delta t} \\ &= \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots(15) \end{aligned}$$

Igual alado las ecuaciones se obtiene.

$$\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots(16)$$

Es imprescindible tener en cuenta que la velocidad del plano medio es la que se encuentra entre la velocidad de entrada a las hélices  $v_1$  y la velocidad de salida que sigue a las hélices  $v_2$ . Por lo tanto, puede interpretarse como la media de las dos velocidades antes mencionadas. La expresión para denotar esta velocidad promedio sería la siguiente:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \dots\dots\dots(17)$$

La interdependencia del  $v_2$  y el  $v_1$  es una observación consistente en el modelo de Betz. En consecuencia, existe una ecuación mediante la cual ambas velocidades pueden correlacionarse:

$$v_2 = b \cdot v_1 \dots\dots\dots(18)$$

Cuando la variable “b” asuma un rango de valores entre cero y la unidad, se justifica una reformulación de la ecuación que rige la potencia efectiva, en la que los valores numéricos establecidos originalmente en dos se sustituyan por un valor unitario.

$$P_{util} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot \frac{v_1 + b v_1}{2} \cdot (v_1^2 - (b \cdot v_1)^2) \dots\dots\dots(19)$$

$$= \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot v_1^3 (1 + b)(1 - b^2) \dots\dots\dots(20)$$

Al utilizar la manifestación de la potencia funcional y sus valores correspondientes para cada variable, se puede calcular eficazmente la potencia funcional más alta alcanzable que puede aprovechar la turbina eólica a partir de la fuente eólica. Esto implica determinar con precisión el coeficiente «b», lo que puede lograrse derivando la ecuación en relación con «b», seguida de su equiparación a cero.

$$\frac{dP_{util}}{db} = 0 \dots\dots\dots(21)$$

Desarrollamos:

$$\frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot v_1^3 (1 + b)(1 - b^2) = 0 \dots\dots\dots(22)$$

$$-3b^2 - 2b + 1 = 0 \dots\dots\dots(23)$$

$$b = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-2 \pm \sqrt{2^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-3)}}{2(-3)} = \frac{2 \pm \sqrt{16}}{-6} = \left\{ \begin{matrix} -1 \\ \frac{1}{3} \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

El valor de menos uno, que carece de significado físico para la interpretación de «v2», debe ignorarse. En consecuencia, debemos basarnos en el hecho de que «b» será igual a un tercio, garantizando así la integridad de la ecuación para v2:

$$v_2 = \frac{1}{3} \cdot v_1 \dots\dots\dots(25)$$

Al aplicar la ecuación de la potencia útil junto con el coeficiente de Betz, es necesario realizar ciertas modificaciones de la siguiente manera:

$$P_{util} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \frac{(1+b)(1-b^2)}{2} \dots\dots\dots(26)$$

Mientras que el valor de Cp se sustituye por el parámetro dado, b, el valor resultante será el siguiente:

$$C_p = \frac{(1+b)(1-b^2)}{2} = \frac{16}{27} = 59.3\% \dots\dots\dots(27)$$

El valor obtenido se utiliza para determinar la potencia de salida de las turbinas eólicas en condiciones de operación ideales. Específicamente, los componentes mecánicos como el rendimiento de la hélice, el rendimiento de la caja de cambios, el

rendimiento del alternador y el rendimiento del transformador no se tienen en cuenta en el cálculo. Sin embargo, es imperativo que la potencia generada por la turbina eólica se aproxime mucho a la realidad teniendo en cuenta las condiciones mecánicas específicas de los componentes antes mencionados. Por lo tanto, es crucial tener en cuenta la eficiencia de dichos componentes:

- Rendimiento del multiplicador: 97%
- Rendimiento del transformador: 97%
- Rendimiento de la hélice: 84%
- Rendimiento del alternador: 94%

Al calcular la eficacia agregada de la turbina eólica, que abarca el límite de Betz, nuestro logro de un rendimiento del 45% representa un valor muy significativo en la ecuación de potencia. Estos coeficientes de rendimiento son notablemente variables, en particular el  $C_p$ , que se centra en el perfil de la pala en presencia de condiciones de viento, dependiendo de la ubicación de la turbina eólica. Como tal, el coeficiente de Betz tiene una relevancia considerable para el proceso de diseño y selección de un perfil aerodinámico.

### 2.2.5 El Caudal de salida

En primer lugar, la aplicación de la ecuación de continuidad es necesaria por el principio de conservación de la masa. En el caso de un flujo constante, la cantidad de fluido que atraviesa cualquier parte dada de una trayectoria de fluido, por unidad de tiempo, permanece invariable y esto puede determinarse mediante el siguiente cálculo:

$$q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots \dots \dots (28)$$

Dónde:

$Q$  = caudal de la instalación ( $m^3/seg$ )

$A_1$  y  $A_2$  = áreas de la sección de la recta tanto de la sección 1 y 2. (m<sup>2</sup>)

$V_1$  y  $V_2$  = velocidad media de la corriente de la sección 1 y 2 (m/s)

De la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \dots \dots \dots (29)$$

Dónde:

$P_1$  y  $P_2$  = presiones manométricas de la sección 1 y 2 (kPa)

$h_1$  y  $h_2$  = alturas del sistema de acuerdo al dibujo del esquema y marcando cada una de las secciones rectas de la corriente bajo consideración (m).

### 2.2.6 Definiciones conceptuales

#### **VD: Energía eléctrica**

Es la transformación de la energía potencial del viento en energía eléctrica.

#### **VI: Sistemas eólicos**

Conjunto de equipos eléctricos y mecánicos que aprovecha la energía del viento para generar electricidad.

### 2.2.7 Definiciones operacionales

#### **VD: Energía eléctrica**

Es el conjunto de actividades necesarias para medir la generación de energía eléctrica en unidades de watts hora.

#### **VI: Sistema eólico**

Conjunto de actividades para simular los sistemas eólicos de acuerdo al recurso y características del lugar de estudio.

Tabla 1: *Variable dependiente*

<b>Variable dependiente</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor final</b>	<b>Tipo de variable</b>
Energía eléctrica	Potencia por tiempo	Wh	Numérica continua

Tabla 2: *Variable independiente*

<b>Variable independiente</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valor final</b>	<b>Tipo de variable</b>
Sistema eólico	Energía	Cantidad de energía generada por el sistema eólico	Numérica continua

## 2.3 SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 2.3.1 Hipótesis General:

Los sistemas eólicos permitirán la generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.

### 2.3.2 Hipótesis específica

- El estudio del recurso eólico permitirá la estimación de generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.
- El dimensionamiento del Aero generador permitirá la generación energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.

### **Capítulo 3:**

## **ASPECTOS METODOLÓGICOS**

### **3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 Tipo de Investigación:**

Por el fin de la tesis se utilizó la investigación aplicada porque tiene como objetivo contribuir al incremento de nuevos conocimientos científicos y/o nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores de eje horizontal para bombeo de agua en el sector agrícola de la localidad de Ninatambo. (Vargas, 2018).

#### **3.1.2 Nivel de Investigación**

La investigación empleó el nivel explicativo para analizar el resultado de la generación de energía eléctrica para el bombeo de agua. El nivel explicativo tiene como objetivo identificar las causas subyacentes del problema que se estudia.

## **3.2 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 Método**

Se utilizó el método de investigación sistémico porque se analiza las partes de los sistemas eólicos para obtener energía eléctrica y como se abastece a una bomba de agua, es decir se observa las causas, naturaleza y los efectos (SAMPIERI, 2012)

### **3.2.2 Diseño**

Se empleó el diseño descriptivo porque se conoce poco sobre uso de energía eólica para bombeo de agua en sectores agrícolas de la localidad de Ninatambo. Como resultado de la investigación se describe y fundamenta las actividades desarrolladas para la obtención de energía eléctrica.

## **3.3 Población y muestra**

Los datos relacionados con la generación de energía eléctrica a partir de los sistemas eólicos utilizados para bombear agua se componen tanto de la población como de la muestra. Este análisis es de naturaleza académica.

## **3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se empleó programas computacionales para realizar simulaciones y tomar los datos de potencia, tensión y corriente del aerogenerador. Como técnica se empleó la observación y como instrumento se utilizará una hoja de cotejo realizado por el autor.

## **3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

La investigación clasificó, registró y tabuló datos de velocidad de viento y energía generada, para lo cual se empleó softwares estadísticos.

**Capítulo 4:**  
**PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

**4.1 Desarrollo de la investigación**

**4.1.1 La orientación espacial del lugar**

En la siguiente tabla se da a conocer la ubicación del lugar de estudio, así también la altitud y densidad del aire datos que se utilizaron en el dimensionamiento del aerogenerador.

Tabla 3: *Ubicación del lugar*

<b>UBICACIÓN</b>		
<b>Departamento</b>	Junín	
<b>Provincia</b>	Tarma	
<b>Distrito</b>	Tarma	
<b>Localidad</b>	Ninantambo	
<b>Altitud</b>	2750	msnm
<b>Densidad del aire</b>	0,8435	kg/m <sup>3</sup>

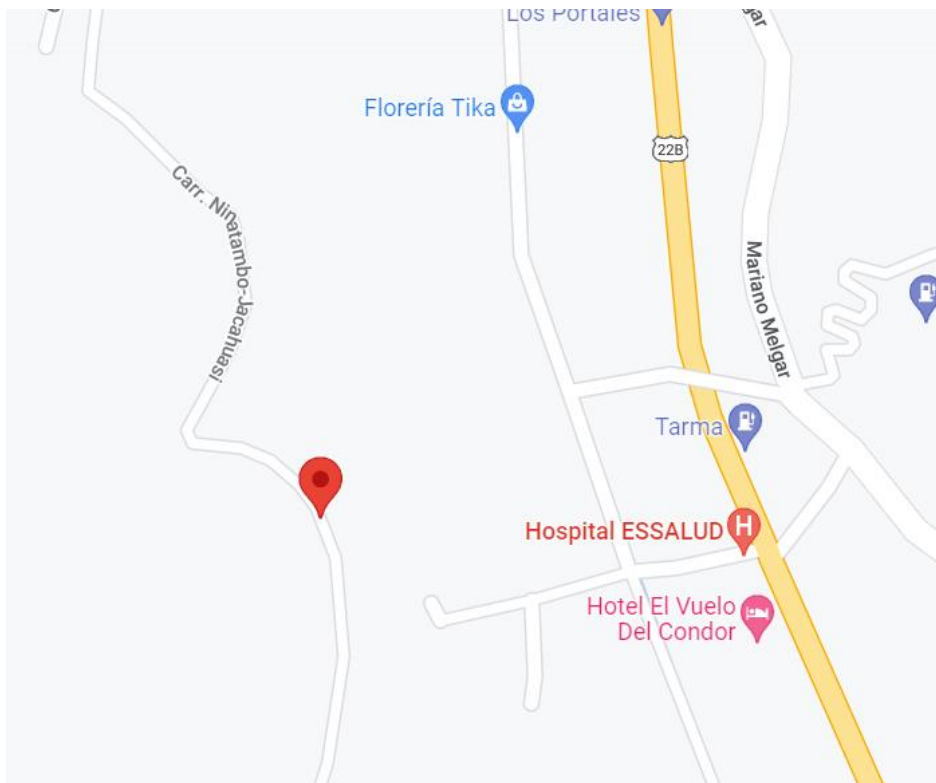
Las coordenadas del sitio de estudio se determinan en función de su ubicación geográfica:

Tabla 4: *Coordenadas georreferenciadas*

<b>COORDENADAS</b>	
<b>Latitud</b>	-11,3969444°
<b>Longitud</b>	-75,6902777°

Para realizar el dimensionamiento también se realizó la ubicación mediante el software Google maps como se observa en la siguiente figura.

Figura 3. *Ubicación en Google maps*



**Fuente:** (Google Maps)

Para una ubicación más detallada del lugar de evaluación del recurso se muestra una figura satelital, donde se observa el río donde se pueda extraer el agua para los terrenos de cultivos.

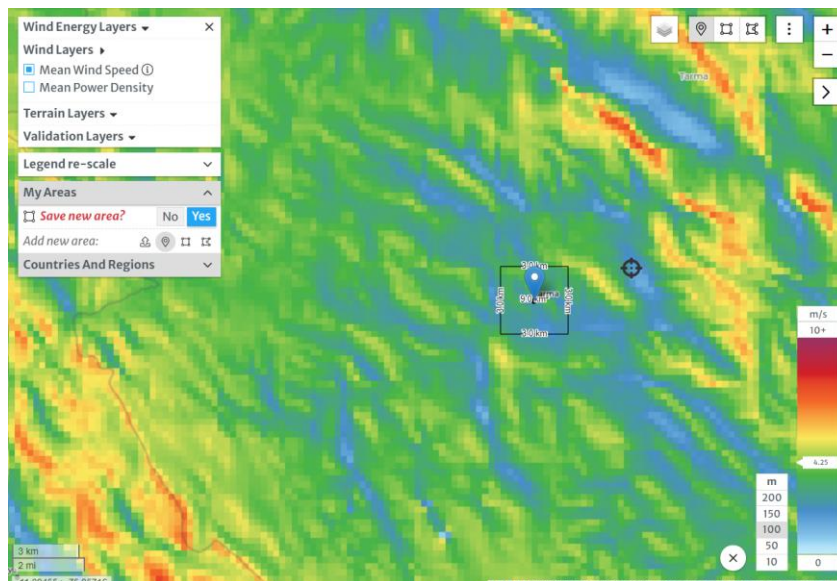
Figura 4. Vista satelital



Fuente: (Google Maps)

Para el análisis del recurso eólico se empleó el software Global Wind Atlas que es una plataforma europea que emplea datos de estaciones meteorológicas ubicadas a nivel mundial. Los colores celestes indican una buena cantidad de velocidad de viento en lugar.

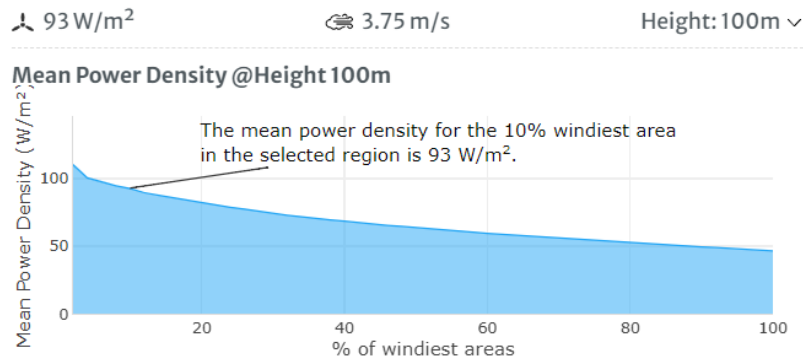
Figura 5. Recurso Eólico en Ninantambo-Tarma



Fuente: <https://globalwindatlas.info/>

Para realizar una estimación más real del potencial eólico se empleó la densidad de potencia media en el cual se puede observar que el software global wind atlas calcula un valor de 93 W/m<sup>2</sup>.

Figura 6. *Potencia media en la localidad de Ninantambo-Tarma*



Fuente: <https://globalwindatlas.info/>

#### 4.1.2 Velocidad de viento en la localidad de Ninantambo-Tarma

A continuación se presentará los datos obtenidos después que se realizó los cálculos de la velocidad más frecuente en la localidad de Ninantambo, luego de recolectar los datos de velocidad del viento desde marzo del 2017 hasta enero del 2018, dichos datos se extrajeron del SENAMHI en la estación de Tarma-000554.

La tabla presentada ilustra el rango de velocidad predominante en las cercanías de Ninantambo. Vale la pena señalar que el rango de velocidad seleccionado está entre 6 y 7 metros por segundo.

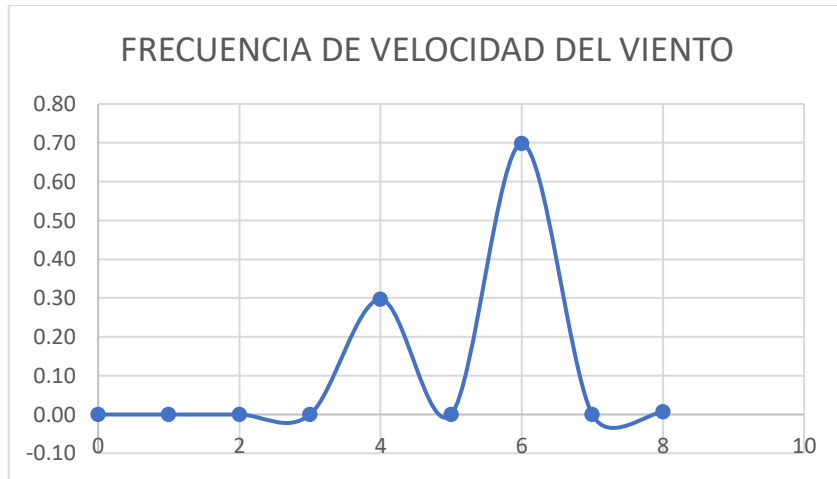
Tabla 5: *Rango de velocidades*

RANGO DE VELOCIDADES	VELOCIDAD	CANTIDAD	fr	Fr	fa	Fa
[0-1>	0	0	0,00	0%	0,00	0%
[1-2>	1	0	0,00	0%	0,00	0%
[2-3>	2	0	0,00	0%	0,00	0%
[3-4>	3	0	0,00	0%	0,00	0%
[4-5>	4	100	0,30	30%	0,30	30%
[5-6>	5	0	0,00	0%	0,30	30%
[6-7>	6	235	0,70	70%	0,99	99%
[7-8>	7	0	0,00	0%	0,99	99%
[8-9>	8	2	0,01	1%	1,00	100%
		337				

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 7 se observa con mejor precisión que el lugar de estudios tiene velocidades con mayor frecuencia de 6 y 7 m/s.

Figura 7. Frecuencia de velocidad de viento



Fuente: (Elaboración propia)

Después de calcular la velocidad más recurrente procedemos a calcular la velocidad a una altura de 10 metros con la ley exponencial de Hellmann, considerando la zona rústica usaremos el exponente de Hellmann  $\alpha = 0,2$ . Los valores obtenidos se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Velocidad a 10 metros

VELOCIDAD (2M)	VELOCIDAD (10 m) Hellmann	VELOCIDAD (10m)Z
0	0	0
1	1,379729661	1,447866116
2	2,759459323	2,895732231
3	4,139188984	4,343598347
4	5,518918646	5,791464463
5	6,898648307	7,239330579
<b>6</b>	<b>8,278377969</b>	<b>8,687196694</b>
7	9,65810763	10,13506281
8	11,03783729	11,58292893

Fuente: (Elaboración propia)

Una vez determinado la velocidad con la ley de Hellmann procedemos a calcular la potencia generada para una determinada área que vendría a ser la intensidad, los datos se muestran a continuación en la tabla 7. Los datos que se encuentran pintados son los que cumplen los

requisitos de velocidad e intensidad para que trabaje eficientemente un generador eólico de eje horizontal.

En la tabla también se da a conocer la densidad de potencia a diferentes velocidades y la densidad de potencia corregida con el límite de Betz del aerogenerador de eje horizontal.

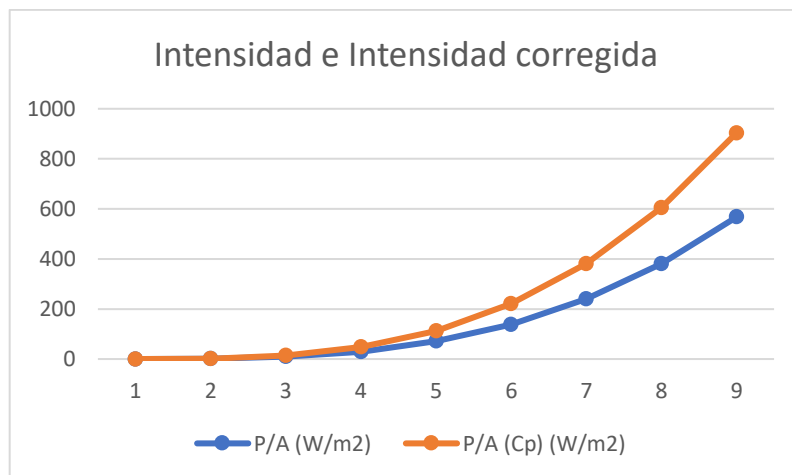
Tabla 7: *Intensidad del viento*

VELOCIDAD (2M)	VELOCIDAD (10M)H	P/A (W/m <sup>2</sup> )	P/A (Cp) (W/m <sup>2</sup> )
0	0	0	0
1	1.37	1.10	0.65
2	2.75	8.86	5.25
3	4.13	29.90	17.72
4	5.51	70.89	42.01
5	6.89	138.46	82.05
6	8.27	239.27	141.79
7	9.65	379.95	225.15
8	11.03	567.16	336.09

**Fuente:** (Elaboración propia)

En la figura 8 se muestra cual es diferencia entre densidades de potencia y como se va incrementando a medida que la velocidad del viento tiene mayores valores.

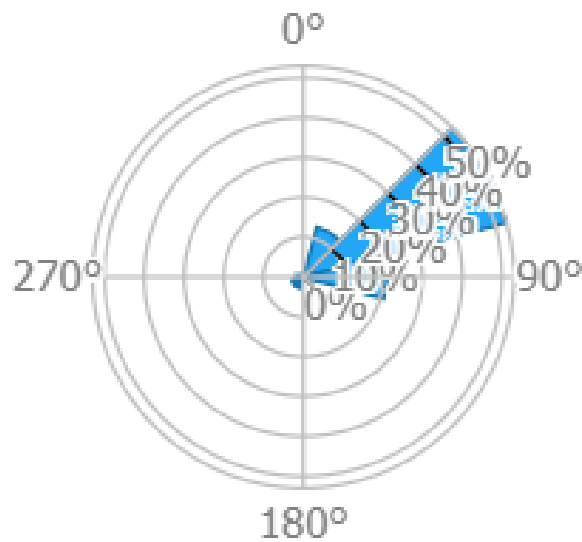
Figura 8. *Intensidad e Intensidad corregida*



**Fuente:** (Elaboración propia)

En la figura 9 se observa que las velocidades de viento se encuentran orientados con mayor frecuencia hacia el Norte - Este, esta información es importante para orientar al aerogenerador mediante frenos mecánicos.

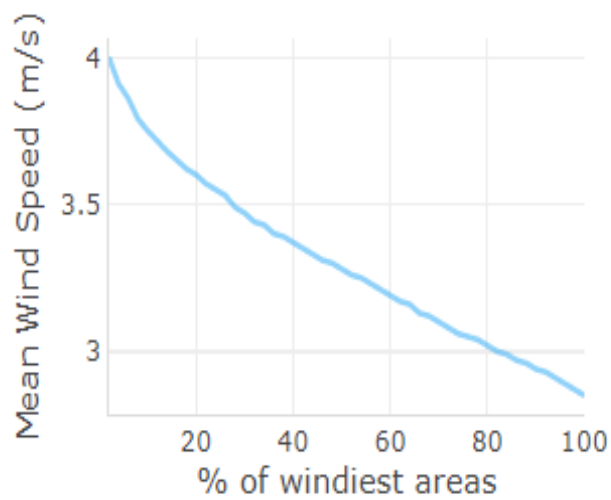
Figura 9. *Orientación de las velocidades de viento*



**Fuente:** <https://globalwindatlas.info/>

La figura 10 indica el promedio de las velocidades de viento a una altura de 100 metros información obtenida del software global wind atlas

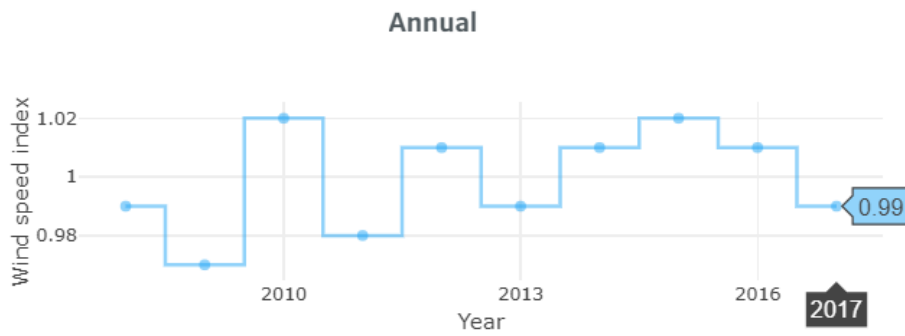
Figura 10. *Velocidad a la altura de 100 metros en Ninantambo-Tarma*



**Fuente:** <https://globalwindatlas.info/>

En la figura 11 se da a conocer la variabilidad del viento por años observándose disminución de las velocidades de viento para los últimos años.

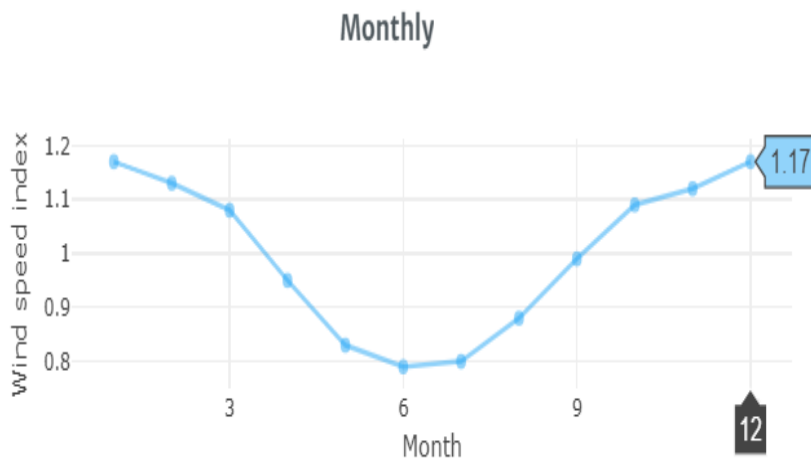
Figura 11. Variación anual en Ninantambo-Tarma



Fuente: <https://globalwindatlas.info/>

En la figura 12 se observa la variabilidad del viento en un mes, donde se constata bajas velocidades de viento en los meses desde mayo hasta julio. Es importante indicar que existe mayores velocidades de viento en la mayor cantidad de meses del año.

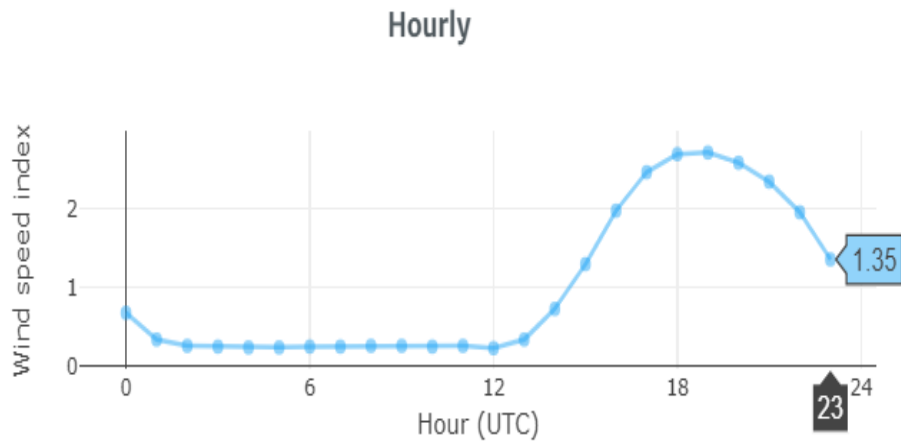
Figura 12. Variación mensual en Ninantambo-Tarma



Fuente: <https://globalwindatlas.info/>

En la figura 13 se da a conocer la variabilidad de viento por hora donde se observa que la mayor cantidad de velocidad de viento se produce en las tardes y noches.

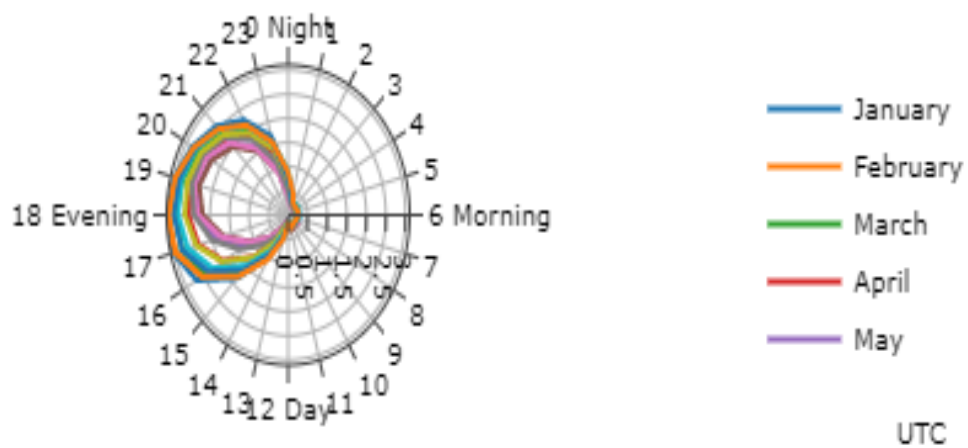
Figura 13. Variación por hora en Ninantambo-Tarma



Fuente: <https://globalwindatlas.info/>

Utilizando el diagrama de velocidad del viento polar, se puede determinar que las velocidades del viento más intensas se manifiestan durante las horas nocturnas. Los vientos localizados son inducidos por la proximidad del lugar a la selva central, por lo que se denominan vientos de montaña.

Figura 14. Gráfico polar del viento en Ninantambo-Tarma



Fuente: <https://globalwindatlas.info/>

### 4.1.3 Datos de la carga

Para realizar el estudio de sistemas eólicos es importante determinar la carga al cual se va a alimentar con la energía eléctrica generada para lo cual se estimó el consumo de agua diaria, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 8: *Bombeo de agua requerido*

<b>Bombeo de agua</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>l/día</b>	<b>Total l/día</b>
Para riego	1	12000	12000

**Fuente:** (Elaboración propia)

Las cifras presentadas en la Tabla 8 se obtuvieron mediante un examen de los patrones de uso del agua de la tierra situada dentro de los límites de Ninatambo, ubicada en la provincia de Tarma.

Luego del análisis el consumo diario requerido es de 12000 l/día, luego podemos determinar la cantidad de flujo requerido que es de  $12 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Luego de buscar bombas que permiten realizar el bombeo de  $12 \text{ m}^3/\text{día}$  y que sea eficiente se seleccionó las bombas sumergibles así mismo la selección fue porque son equipos que trabajan con corriente continua.

La bomba de agua sumergible seleccionada es de la marca de Lorentz modelo C-SJ5-8 que cuenta con una eficiencia de motor - bomba de 58,6%.

### 4.1.4 Datos de la bomba sumergible

A continuación, podemos apreciar los datos de la bomba, y de esta manera confirmar porque se seleccionó la mencionada bomba para nuestro sistema eólico. Tendremos que escoger un aerogenerador que cumpla con la demanda de la bomba que necesita una tensión de entrada cerca de 150 V y que sea mayor de 68 V, teniendo en cuenta no exceder la corriente que soporta para evitar daños en la máquina. También tendremos en cuenta la temperatura de la zona que es en la localidad de Ninatambo- Tarma ya que según Senamhi la temperatura más baja que rara vez llega es  $-24 \text{ }^\circ\text{C}$  y la máxima un poco más de  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , entonces la bomba

cumple con los requisitos climatológicos para trabajar eficientemente sin inconvenientes. Y con el grado de protección que tiene podrá trabajar adecuadamente por el tiempo requerido diario según los cálculos anteriores.

Tabla 9: *Datos de la Bomba*

<b>CARACTERISTICAS</b>	
<b>TECNICAS</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Potencia</b>	max. 0,70 kW
<b>Voltaje de entrada</b>	max. 150 V
<b>Óptimo Vmp</b>	>68 V
<b>Corriente motor</b>	max. 13 A
<b>Eficiencia</b>	max. 98%
<b>Temperatura Del ambiente</b>	- 40...50 °C
<b>Grado de protección</b>	IP68

**Fuente:** (Elaboración propia)

Figura 15. *Bomba sumergible*



**Fuente:** (Tecnología y Materiales Sustentables)

#### 4.1.5 Carga de la bomba sumergible

Tabla 10: *Cuadro de carga de la Bomba sumergible*

ELEMENTO	NUMERO	POTENCIA	HORAS/DIA	SIMULTANEIDAD	ENERGIA/DIA(W/h)	kWh/dia
BOMBA DE AGUA	1	700	4	100	2800	2,8

**Fuente:** (Elaboración propia)

Después de realizar el cuadro de cargas realizaremos la aplicación del factor de seguridad para la carga y energía, obtendremos los datos de la siguiente tabla.

Tabla 11: *Carga y energía con factor de seguridad*

<b>CARGA</b>	840 W
<b>ENERGÍA DIARIA</b>	3360 Wh/Día

**Fuente:** (Elaboración propia)

#### 4.1.6 Selección de aerogenerador

A continuación, se muestra el aerogenerador seleccionado para dicha carga que genera la bomba sumergible. Para determinar el tipo de aerogenerador que vamos a usar necesitamos la potencia útil y la energía diaria que genera para ello tenemos que realizar algunos cálculos, entonces necesitamos algunos datos técnicos del aerogenerador en la siguiente tabla muestra los datos de 3 aerogeneradores, de los cuales escogimos uno que no exceda demasiado con la potencia útil y no perder energía. Primero optamos para calcular el área del rotor con el dato de su diámetro que nos ofrecía el catálogo, luego usamos la velocidad seleccionada (6 m/s) en la tabla 5. Seguido a eso necesitaremos la densidad de viento en la localidad de Ninantambo que ya se calculó anteriormente. Todos los datos reemplazamos en la siguiente fórmula para calcular la potencia útil.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 c_p * nG$$

Finalmente necesitaremos calcular la energía diaria producida por el aerogenerador.

A continuación, vamos a observar que modelo a aerogenerador se escogió de acuerdo a los datos que se obtuvo en la tabla 4.

Tabla 12: *Tipo de generadores*

<b>TIPOS DE GENERADORES</b>			
<b>DATOS DEL GENERADOR</b>	<b>H3.8-2000W</b>	<b>N-5K</b>	<b>Wind Generator</b>
Número de hélices	3	5	3
D (m)	3,8	6,3	5,3
r (m)	1,9	3,15	2,65
A (m <sup>2</sup> )	11.34	31.17	22.06
V de arranque (m/s)	3	3	3
V para Potencia nominal (m/s))	9	10	10
V Frenado (m/s)	50	45	45
Potencia Nominal (W)	2000	5000	3000
V Seleccionada (m/s)	6	6	6
Potencia útil (w)	489.79	1346.25	952.79
Ng	0.80	0.8	0.8
CP	0.59	0.59	0.59
Voltaje (V)	48	24	48
Peso aerogenerador (kg)	25	285	450
<b>ENERGÍA PRODUCIDA EN DÍA</b>	<b>2938.75</b>	<b>8077.51</b>	<b>5716.73</b>

**Fuente:**(Elaboración Propia)

Al definir el modelo de aerogenerador, a saber, el H3.8-2000W, nos hemos dado cuenta de que la potencia disponible es inadecuada para la carga requerida. Como resultado, se ha tomado la decisión de implementar dos aerogeneradores, ya que las opciones alternativas superan los requisitos de potencia y energía necesarios.

Ya que se va a usar dos aerogeneradores para lograr abastecer la carga de la bomba, realizamos los cálculos y obtuvimos los valores que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13: *Potencia para dos aerogeneradores*

<b>PARA 2 GENERADORES</b>	
Potencia útil (w)	<b>979.58</b>
<b>ENERGÍA PRODUCIDA EN DÍA</b>	<b>5877.51</b>

**Fuente:**(Elaboración Propia)

Figura 16. *Aerogenerador 2 kW*



Fuente: Hummer

#### 4.1.7 Datos del aerogenerador

Una vez seleccionado la bomba sumergible que se va a utilizar escogemos el tipo de aerogenerador. En la siguiente tabla podemos apreciar los datos del aerogenerador, los detalles se presentan en el anexo 1.

Tabla 14: *Datos del aerogenerador*

<b>DATOS DEL GENERADOR</b>	<b>H3.8-2000W</b>
Número de hélices	3
D (m)	3.8
r (m)	1.9
A (m <sup>2</sup> )	11.34
V de arranque (m/s)	3
V para Potencia nominal (m/s))	9
V Frenado (m/s)	50
Potencia Nominal (W)	2000
V Seleccionada (m/s)	6
P útil (w)	489.79
Ng	0.80
CP	0.59
Voltaje (V)	48
Peso aerogenerador (kg)	25
ENERGÍA PRODUCIDA EN DÍA	2938.75

## 4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Las hipótesis planteadas en la presente investigación fueron:

La hipótesis nula:

H0: Los sistemas eólicos no permitirán la generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.

La hipótesis alterna:

H1: Los sistemas eólicos permitirán la generación de energía eléctrica para bombeo de agua en la localidad de Ninantambo de la provincia de Tarma.

Para confirmar la hipótesis, se llevó a cabo una yuxtaposición entre la generación de energía durante un período de doce meses y la energía necesaria para el bombeo de agua.

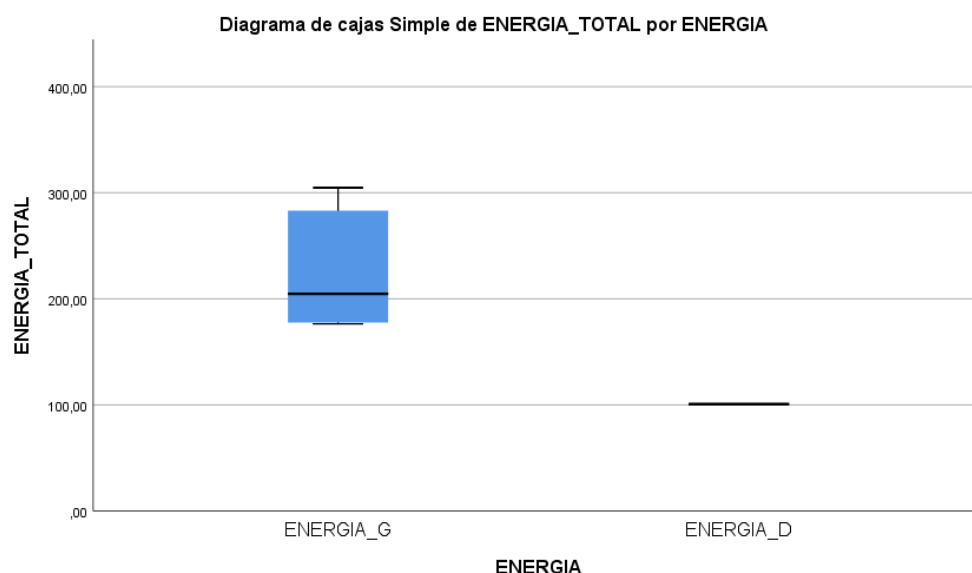
En la tabla 15 se muestran los valores de energía del sistema eólico y la demanda de la carga.

Tabla 15: *Valores de energía*

ITEM	ENERGÍA GENERADA (kWh)	ENERGÍA DEMANDADA (kWh)
1	176.327	100.8
2	224.184	100.8
3	245.521	100.8
4	176.327	100.8
5	185.291	100.8
6	180.772	100.8
7	178.985	100.8
8	280.001	100.8
9	292.173	100.8
10	304.693	100.8
11	286.044	100.8
12	176.327	100.8

En la figura 17 mediante diagrama de cajas se da a conocer la diferencia de cantidades de energía y la diferencia de las medias de energía.

Figura 17. *Comparación de medias*



El proceso de validación de la hipótesis alternativa mediante el análisis estadístico se basa en discernir las disparidades entre los valores medios de la producción y el consumo de energía.

La validación de la hipótesis se puede lograr mediante la utilización del valor t de Student. Este valor se puede calcular mediante el paquete de software SPSS 25.

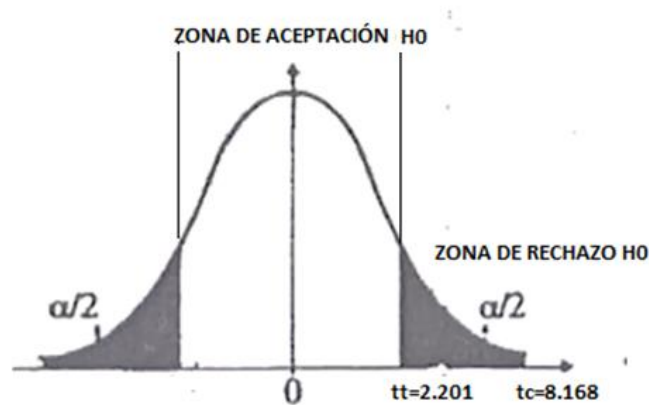
Tabla 16: *Valor de t student*

		95% de intervalo de confianza de la diferencia			t	gl	sig.(bilateral)
		Media	Inferior	Superior			
Par 1	ENERGIA_G - ENERGIA_D	124.75375	91.14	158.37	8.168	11	0.000

Para fundamentar la conjetura, se determina que el cálculo del valor  $t$  está situado dentro de la región de rechazo de la hipótesis nula, como se muestra en la figura 18.

Es decir  $t$  calculado  $>$   $t$  de tablas, el cual se muestra que cumple las condición porque el valor de  $t$  calculado es igual a 8.17 y el valor de  $t$  tablas es 2.201.

Figura 18. Zonas de verificación del valor  $t$



Sobre la base de los hallazgos anteriormente mencionados, se puede inferir que los sistemas eólicos facilitan la producción de energía eléctrica para permitir las operaciones de bombeo de agua en la ciudad de Ninantambo, situada en la provincia de Tarma, debido a la presencia de un recurso eólico suficiente con las velocidades de viento requeridas para generar dicha energía eléctrica.

## CONCLUSIONES

- La potencia útil generada por aerogeneradores en la localidad de Ninatambo de la provincia de Tarma es de 979.58 Watts y la energía producida durante 6 horas de operación de los aerogeneradores es de 5877.51 Wh/día.
- La energía diaria demandada por la bomba sumergible es de 3360 Wh/día el cual es cubierto por la energía generada por el sistema de aerogeneradores.
- La velocidad de viento con mayor frecuencia en el lugar de estudio es de 6 m/s el cual puede incrementarse cuando se utiliza mástiles de 10 metros de altura a valores de 8.27 m/s.
- La localidad de Ninatambo es una zona recomendada para la generación de energía eléctrica porque tiene velocidades de viento desde 4 hasta 7 m/s con mayor frecuencia desde las 15 horas hasta 23 horas.
- La densidad de potencia del lugar es de 141.79 W/m<sup>2</sup> muy recomendado para la generación de energía eléctrica, porque por lo general los parques eólicos son factibles cuando existe en el lugar densidades de viento superiores a los 47W/m<sup>2</sup>.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar datos confiables de velocidades de viento para estimar de forma correcta el potencial eólico del lugar de estudio.
- Se recomienda realizar un correcto análisis de la carga para el diseño de un sistema eólico.
- Se recomienda realizar una correcta selección de aerogeneradores en base a la velocidad de arranque y potencia nominal para no sobredimensionar un aerogenerador.
- Se recomienda utilizar aerogeneradores pequeños y económicos para que puedan ser rentables los proyectos de generación de energía.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bances, S. R. (Abril del 2019). Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua en el fundo san juan de cayalti provincia de chichlayo-lambayeque. Lambayeque – Perú : Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”.
- Calle, C. M. (Noviembre, 2018). Diseño de un sistema de bombeo de agua alimentado por un aerogenerador para el riego de forraje, comunidad de villa Puni-Escoma. La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Colomé, D. (2018). Metodología de investigación para estudiantes de posgrado en ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.
- Correa, G. A. (2014). Sistemas de bombeo de agua con energías alternativas. Medellín-Colombia: Centro de Investigación en materiales avanzados, s. c. departamento de posgrado.
- Cristina, R. A. (Junio 2019). Propuesta de uso de energía solar para el suministro de energía eléctrica y mejora de la eficiencia energética en la Universidad ESAN. Lima - Perú: ESAN.
- Cubillos, A. (2011). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina : los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático. Santiago de Chile: IDEA-USACH.
- Hernández, L. S. (2016). Energía eólica y desarrollo sostenible en la región de la Rumorosa, Municipio de tecate un análisis multicriterio . Tijuana, b. c., México : Maestro en Administración Integral del Ambiente .
- Herrera, R. V. ( 2014). Evaluación del recurso eólico en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez . chihuahua - Mexico: Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez .
- Huatangare Baique, R. C., & Nuñez Torres, R. M. (2015). Diseño de un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua potable, con una potencia instalada de 2hp en el centro poblado de montegrando, Distrito de Reque, Departamento de Lambayeque. Arequipa-Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Lopez, J. W. (2021). Optimización de un sistema de bombeo considerando el balance electromecánico. Arequipa-Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Mesa, M. E. (2013). Análisis de la viabilidad técnica de las aerobombas para el riego localizado. Madrid-España: Técnica Superior de Ingenieros.
- Pérez, A. A. (12 de Septiembre de 2011). Aplicación de la energía eólica a sistemas de bombeo de agua subterránea. Granada, España: Máster oficial de geología aplicada a la obra civil y los recursos hídricos.

# **ANEXOS**

1 Catalogo de aerogenerador de eje horizontal.



## 2kw Pequeño aerogenerador mantenimiento gratuito (H3.8-2000W)

Precio FOB de Referencia:	US\$ 1.800,00-2.000,00 / Set
Pedido Mínimo:	5 Conjuntos

Capacidad de Producción:	2000 Sets/Month
Paquete de Transporte:	Plywood Carton
Condiciones de Pago:	T/T

### Descripción de Producto

### Información de la Compañía

#### Información Básica.

No. de Modelo.	H3.8-2000W	Número de Blade	Tres Láminas
Eje de rotación	Horizontal	Camino estrés de Blade	Resistencia
Marca Comercial	Hummer	Especificación	CE
Origen	China	Código del HS	85023100

#### Descripción de Producto

China hizo el Hummer 2kw la pequeña turbina de viento doméstica

El Hummer H3.8-2000 es una pequeña turbina de viento del HUMMER típico debajo de 3KW. Le da una mirada clara cómo es el pequeño generador del hummer, que puede ser colocado dentro de cono de nariz. Aunque muy es pequeña, comparado con la turbina tradicional, su capacidad de energía-fabricación más fuerte ha ganado la reputación del Hummer en mercado. El material refinado, la estructura fuerte y las técnicas maduras aseguran su dureza en campo salvaje.

Debido a su tamaño pequeño y ligero, así fácil llevar, es un favor a la gente que recorrido del offer, los lugares que no requieren la fuente del poder más elevado, como sitio de observación, estación de transmisión de la TV.

Por un peso neto de 25kg, cociente de la utilización de la energía eólica de s de H3.8-2000W el 'es tan alto como 0.45 mientras que la eficacia del generador es > 0.8. Es capaz de cubrir la necesidad básica de la energía de una familia normal.

El eje del desvío de H3.8-2000W se hace del acero refinado, el poste de la cola se hace del acero de manganeso fuerte, y el ala de cola se hace del acero. Éstos refinados y los materiales de la alta calidad, aseguran la desviación confiable para la protección.

el 16m es la distancia ideal entre dos turbinas de viento 2kw.

Uso de la turbina de viento modelo de H3.8-2000W

Puede conducir la aire-condición (2 caballos de fuerza), la bomba u otras aplicaciones eléctricas ( $\leq$  2KW).

Pozo usado en:

Cubierta

Estación de la telecomunicación

Estación de transferencia de la TV

Estación de supervisión (militar, hidrología, observatorio)

Estación del bombeo de agua

Parámetro técnico de la turbina de viento de H3.8-2KW:

Energía clasificada (W): 2000

De potencia de salida máximo (W): 3200

Tensión de carga (v): C.C. 120V

Cantidad de la lámina: 3

Material de la lámina de rotor: GRP

Diámetro de la lámina de rotor (m): 3.8

Velocidad del viento de lanzamiento (m/s): 3.0

Velocidad del viento clasificada (m/s): 9.0

Velocidad de rotación clasificada (r/min): 450

Energía eólica que utiliza el cociente (Cp): 0.45

El generador hizo salir: CA monofásica de la frecuencia variable

Corriente de carga clasificada (a): 16.7

La corriente de carga máxima (en un breve periodo de tiempo) (a): 28

Frecuencia de la CA de la salida (hertzio): 0-370

> de la eficacia del generador; 0.8

Altura de la torre (m): 10

El peso del generador (kilogramo): 25

Batería (12V 150Ah/200Ah): 10PCS.

2- Esquema de conexiones del aerogenerador.

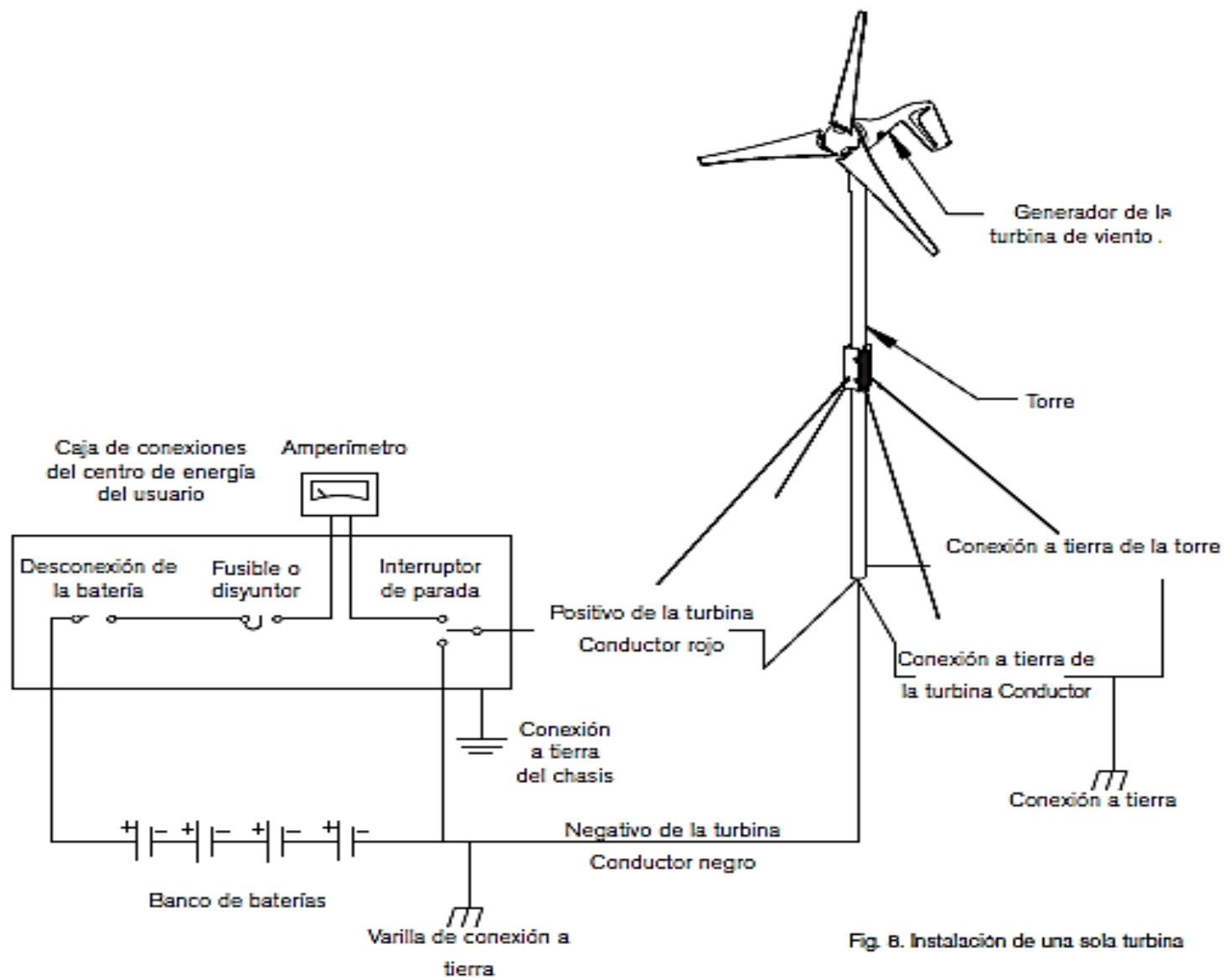


Fig. 8. Instalación de una sola turbina

3- Catálogo de la bomba de agua sumergible.

# PS2-150 C-SJ5-8

## Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

### Gama de sistemas

Altura	max. 20 m
Flujo	max. 4,6 m <sup>3</sup> /h

### Datos técnicos

#### Controlador PS2-150

- Controlar y supervisar
- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) integrado
- Funcionamiento con batería: protección integrada contra descarga total

Potencia	max. 0,30 kW
Voltaje de entrada	max. 50 V
Óptimo Vmp**	> 17 V
Corriente motor	max. 22 A
Eficiencia	max. 98 %
Temp. del ambiente	-40...50 °C
Modo de protección	IP68

#### Motor ECDRIVE 150-C

- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304/316
- Sin elementos electrónicos en el motor

Potencia nominal	0,3 kW
Eficiencia	max. 92 %
Revoluciones motor	600...3.300 rpm
Clase de aislamiento	F
Modo de protección	IP68
Inmersión	max. 150 m

#### Cabeza de bomba PE C-SJ5-8

- Válvula no retorno
- Materiales Premium, acero inoxidable: AISI 304
- Opcional: protección contra operación en seco
- Centrifugal pump



#### Undidad de bomba PU150 C-SJ5-8 (Motor, Cabeza de bomba)

Diámetro de perforación	min. 4,0 in
Temperatura del agua	max. 50 °C

### Normas



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

IEC/EN 61702:1995

El logo refleja la aprobación que ha sido garantizada para este producto familiar. Los productos son ordenados con la aprobaciones específicas que el mercado requiera.

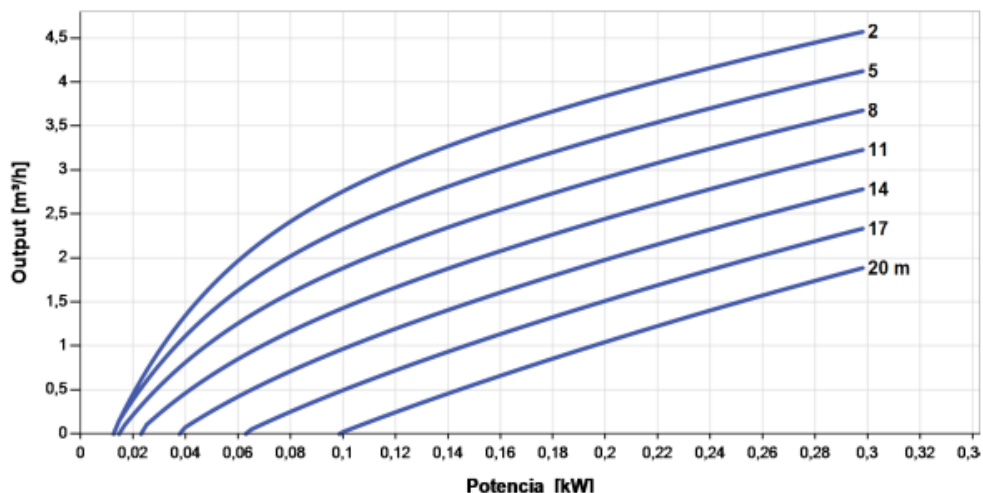
\*\*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC

# PS2-150 C-SJ5-8

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Plantilla de datos de la bomba

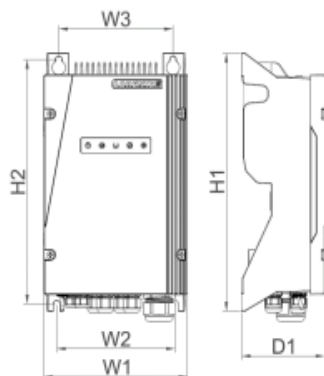
Vmp\* > 17 V



## Dimensiones y pesos

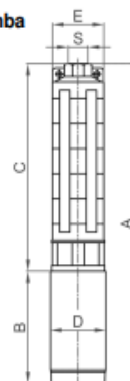
### Controlador

H1 = 352 mm  
 H2 = 333 mm  
 W1 = 207 mm  
 W2 = 170 mm  
 W3 = 164 mm  
 D1 = 124 mm



### Unidad de bomba

A = 524 mm  
 B = 185 mm  
 C = 339 mm  
 D = 96 mm  
 E = 98 mm  
 S = 1,5 in

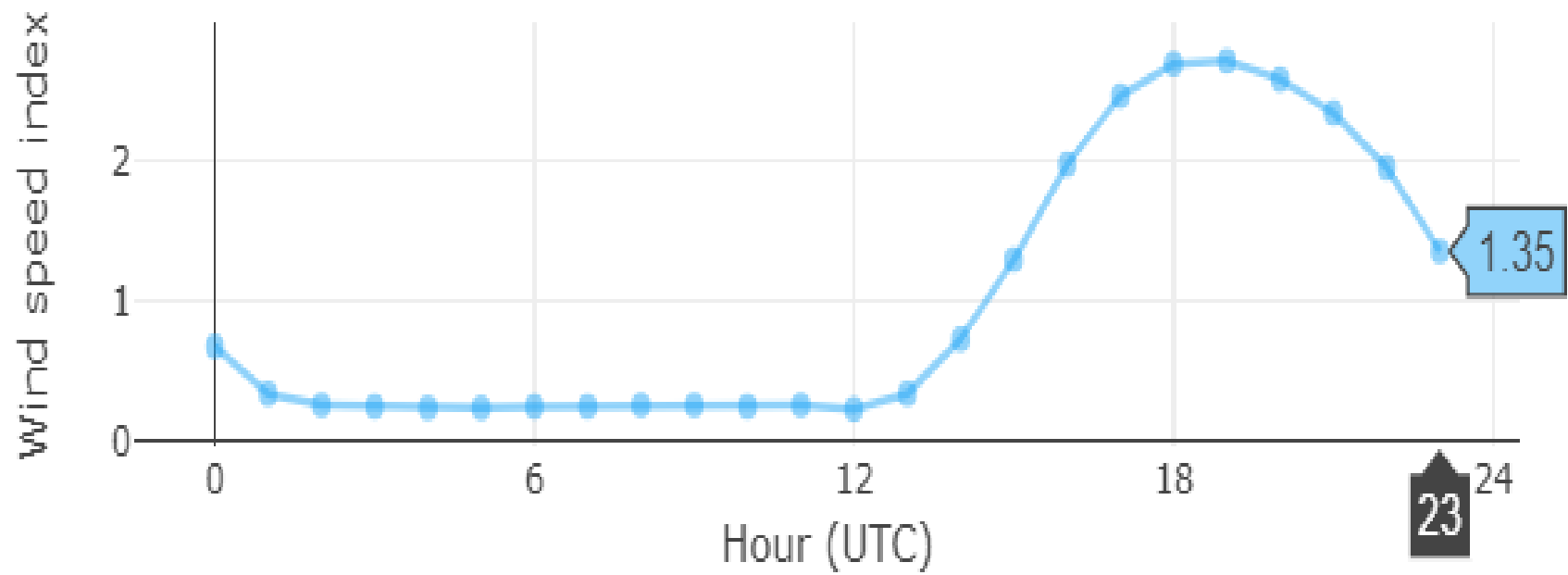


	Peso neto
Controlador	5,6 kg
Unidad de bomba	11 kg
Motor	7,0 kg
Cabeza de bomba	4,2 kg

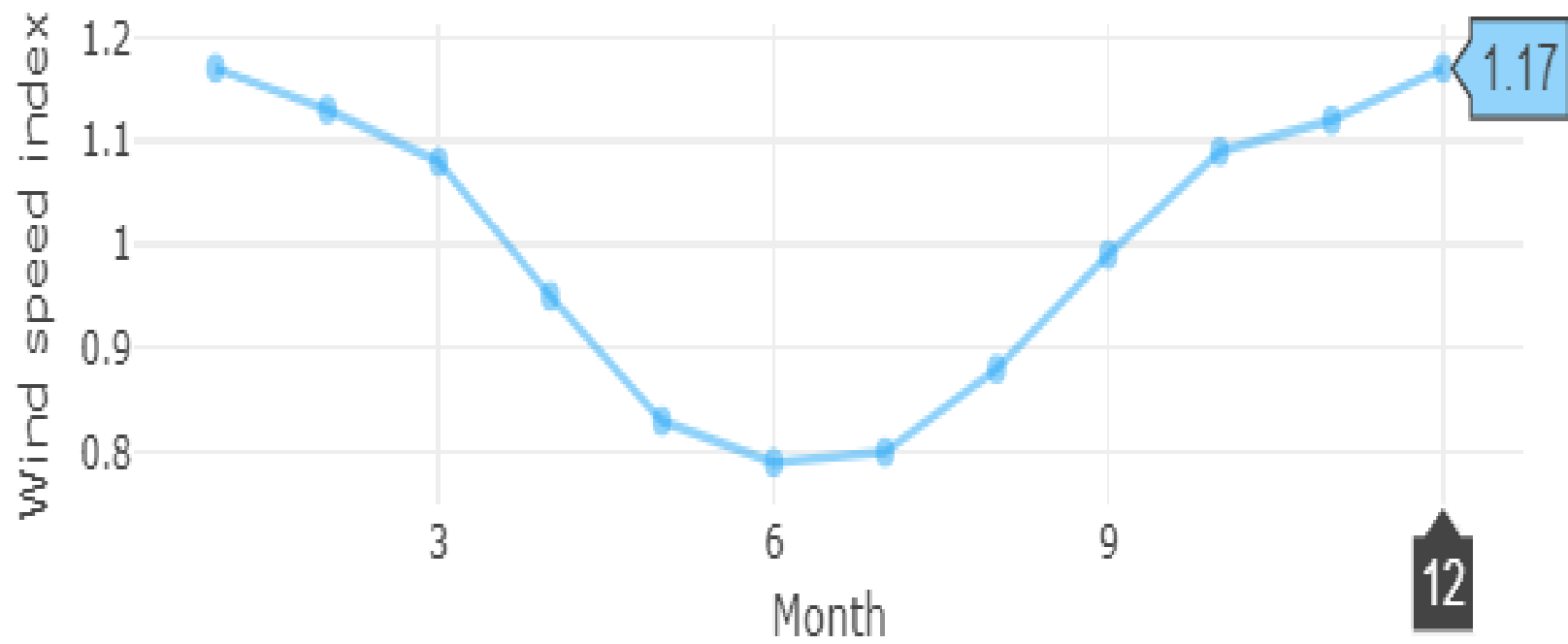
\*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC

4- Variabilidad del viento durante un día , mes y años.

# Hourly



# Monthly



# Annual

