



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**II PROGRAMA DE ELABORACION DE TESIS**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA EOLICO  
PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN UN  
SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA EL CENTRO  
POBLADO LA RANCHERIA BODEGONES - LAMBAYEQUE”**

**Autor:**

**Bach. JOSELITO CARLOS RAMOS**

**Asesor:**

**Ing. HECTOR OLIDEN NUÑEZ**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Junio – 2019**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**II PROGRAMA DE ELABORACION DE TESIS**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA  
EOLICO PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN  
UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA EL CENTRO  
POBLADO LA RANCHERIA BODEGONES - LAMBAYEQUE”**

**Autor:**

**Bach. CARLOS RAMOS JOSELITO**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE:**

**SECRETARIO:**

**MIEMBRO :**

**ASESOR :**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Junio – 2019**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS DE INGENIERÍA**

### **TITULO**

**“DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA EOLICO PARA LA  
GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN UN SISTEMA DE BOMBEO  
DE AGUA PARA EL CENTRO POBLADO LA RANCHERIA BODEGONES –  
LAMBAYEQUE”**

### **CONTENIDOS**

**CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.**

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

**CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

**CAPITULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN**

**CAPITULO V: CALCULOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

**Autor: Bach. JOSELITO CARLOS RAMOS**

-----  
**PRESIDENTE**

-----  
**SECRETARIO**

-----  
**MIEMBRO**

-----  
**ASESOR**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**Junio – 2019**

## **DEDICATORIA**

A mi padre, el Sr. Joselito Carlos Céspedes, mi madre la Sra. Santos Ramos Santamaría.

Hermanos, Casimiro Carlos Ramos, José Alberto Carlos Ramos, Joel Carlos Ramos, Tania Carlos Ramos, y a mi abuelo Eulogio Carlos Neira que ya no está con nosotros; quienes con amor, paciencia y enseñanza me han inculcado valores y su apoyo a lo largo de mi formación académica y profesional y a toda mi familia y amigos que es lo más valioso que Dios me ha dado, lo estoy eternamente agradecido.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme la oportunidad de vivir y guiarme por el sendero correcto.

A mi asesor el Ing. Héctor Oliden Núñez, un total agradecimiento por sus consejos y orientación a lo largo del desarrollo de mi examen de crecimiento profesional, además agradecer su compromiso, tiempo y paciencia.

A los habitantes del Centro Poblado “La Ranchería Bodegones” por su apoyo en todo momento con la información brindada.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica – UNPRG, por todas las enseñanzas y experiencias brindadas.

## RESUMEN

El presente informe lleva por nombre; “Dimensionamiento y selección de un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones – Lambayeque”. Se obtuvieron datos de velocidad de viento de la estación meteorológica SENAMHI para estimar el potencial eólico, se aplicó encuesta a la población para evaluar la demanda de agua (excepto para consumo humano por el alto porcentaje de arsénico) que necesitan para cubrir sus actividades y se realizaron cálculos de dimensionamiento y selección del sistema eólico.

Para llevar a cabo dicha investigación se recolectaron datos de velocidad del viento de la estación meteorológica del SENAMHI-LAMBAYEQUE, se tomó los 12 meses del 2018 pero se trabajó principalmente con el mes de julio, permitiendo estimar la velocidad promedio. A través de la velocidad del viento, se estimó el potencial eólico aprovechable que hay en el área climatológica del Centro Poblado de Bodegones. Para la demanda de agua, se aplicaron 15 encuestas para saber sus necesidades, mediante parámetros establecidos por el MINSA, se determinó el consumo diario por persona, además se empleó una guía de observación para saber el número de habitantes y empleando diferentes fórmulas matemáticas se calcularon los componentes del sistema.

Los estudios realizados permitieron estimar una velocidad de 4.91 m/s, un potencial eólico de 909.37W, un consumo diario de 100 litros/h, una demanda de agua de 31300 litros/día por toda la población. En base a ello se calculó y seleccionó 1 bomba de 1.5 HP. Estos datos y otros factores permitieron el correcto dimensionamiento del sistema eólico, presentado como propuesta para beneficiar a los pobladores del Centro Poblado de Bodegones.

## **ABSTRACT**

This report is named; "Sizing and selection of a wind system for the generation of electric power in a water pumping system in the La Ranchería Bodegones Village Center - Lambayeque". Wind speed data were obtained from the SENAMHI meteorological station to estimate the wind potential, a survey was applied to the population to assess the water demand (except for human consumption due to the high percentage of arsenic) they need to cover their activities and they made calculations of sizing and selection of the wind system.

To carry out this research, wind speed data were collected from the SENAMHI-LAMBAYEQUE weather station, which took 12 months from 2018 but was mainly worked with the month of July, allowing to estimate the average speed. Through the wind speed, the usable wind potential that exists in the climatological area of the Village Center of Bodegones was estimated. For the demand of water, 15 surveys were applied to know their needs, through parameters established by the MINSA, the daily consumption per person was determined, in addition an observation guide was used to know the number of inhabitants and using different mathematical formulas were calculated the components of the system.

The studies carried out allowed estimating a speed of 4.91 m / s, a wind potential of 909.37W, a daily consumption of 100 liters / h, a water demand of 31300 liters / day for the entire population. Based on this, 1 1.5 HP pump was calculated and selected. These data and other factors allowed the correct dimensioning of the wind system, presented as a proposal to benefit the residents of the Village Center of Bodegones.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO .....	V
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Realidad Problemática .....	1
1.2. Formulación del Problema .....	2
1.3. Delimitación de la Investigación .....	3
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación .....	4
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	5
1.6. Objetivos .....	5
1.6.1. Objetivo General .....	5
1.6.2. Objetivo Específicos .....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de Estudios.....	7
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado .....	12
2.2.1. Origen del Viento .....	12
2.2.2. Viento y Energía eólica.....	12
2.2.3. Características del viento .....	12
2.2.4. Determinacion de la potencia del viento .....	13
2.2.5. Limite de Betz.....	14
2.2.6. Rosa de viento.....	15
2.2.7. Velocidad del viento.....	18
2.2.8. Energía eléctrica.....	20
2.2.9. Sistema eólico .....	20
2.2.10. Clasificacion de las máquinas eólicas .....	20
2.2.11. Máquinas eólicas de eje horizontal.....	20
2.2.12. Máquinas eólicas de eje vertical .....	22
2.2.13. Aerogenerador .....	22
2.2.14. Parte de un aerogenerador de eje horizontal .....	23



2.2.14.1. Rotor.....	24
2.2.14.2. Gondola .....	24
2.2.14.3. Generador.....	25
2.2.14.4. Multiplicador .....	26
2.2.14.5. Torre .....	26
2.2.14.6. Sistema de Control .....	27
2.2.14.7. Sistema de Orientación.....	28
2.2.14.8. Otros componentes .....	29
2.2.14.9. Turbulencias .....	30
2.2.14.10. Optimización y economía .....	31
2.2.15. Equipo de Medición Anemometro .....	32
2.2.16. Ley exponencial de Helman .....	33
2.2.17. Potencial eólico .....	34
2.2.18. Potencia eólico.....	35
2.2.19. Coeficiente de potencia maxima.....	35
2.2.20. Componentes de los Sistemas.....	37
2.2.20.1. Subsistema de regulación .....	37
2.2.20.2. Subsistema de almacenamiento .....	40
2.2.20.3. Subsistema de componentes auxiliares .....	44
2.2.20.3.1. Cableado del sistema .....	44
2.2.20.3.2. Proteccion de los aerogeneradores .....	46
2.2.20.3.3. Puesta a tierra de los sistemas .....	46
2.2.20.3.4. Subsistema de adaptacion de corriente .....	47
2.2.21. Marco legal .....	51
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.....	52
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	54
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	54
3.2. Población y Muestra .....	54
3.3. Hipótesis .....	55
3.4. Operacionalización de las variables .....	56
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	57
3.5.1. Técnicas .....	57
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	57
3.7. Análisis Estadístico e interpretación de los datos .....	58
3.7.1. Medida de tendencia central.....	58

3.7.2 Medida de dispersión .....	58
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	59
4.1. Propuesta de la investigación .....	59
4.1.1. Encuestas.....	59
4.1.2. Alcances generales .....	71
4.2. Crecimiento poblacional .....	71
4.3. Tiempo de vida del proyecto .....	73
CAPITULO V: CALCULOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	74
5.1. Pozo de agua .....	74
5.2. Cálculos.....	74
5.2.1. Cálculo del crecimiento poblacional a 10 años.....	74
5.2.2. Cálculo de capacidad de la cisterna .....	75
5.2.3. Cálculo de la bomba .....	76
5.2.4. Cálculo de la velocidad del viento promedio .....	86
5.2.5. Cálculo de la Potencia Eólica .....	91
5.2.6. Cálculo de la Potencia Mecánica del Rotor.....	93
5.2.7. Cálculo de la Potencia Eléctrica .....	94
5.2.8 Cálculo de la Energía del Aerogenerador.....	94
5.2.9. Baterías.....	95
5.2.9.1. Capacidad Total de las Baterías .....	95
5.2.9.2. Número de Baterías.....	96
5.2.10. Número de Reguladores.....	97
5.2.11. Número de Inversores .....	98
5.2.12. Corriente del Conductor .....	100
5.2.13. Caída de tensión .....	103
5.3. Plan de Mantenimiento .....	105
5.3.1 Mantenimiento preventivo .....	105
5.3.1.1. Cimentación y Torre .....	105
5.3.1.2. Generador.....	105
5.3.1.3. Caja multiplicadora .....	106
5.3.1.4. Rotor .....	106
5.3.1.5. Palas.....	106
5.3.1.6. Regulador.....	106
5.3.1.7. Inversor.....	107

5.3.1.8. Baterías .....	107
5.3.1.9. Bomba.....	107
5.4. Presupuestos.....	109
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	111
6.1. Conclusiones .....	111
6.2. Recomendaciones .....	113
BIBLIOGRAFÍA .....	114
ANEXO 1: Formato de Encuestas .....	117
ANEXO 2: Rango de Velocidades que fueron tomados durante el 2018.....	120
ANEXO 3: Fotografías del centro poblado La Ranchería Bodegones.....	137
ANEXO 4: Plano de localización.....	144
ANEXO 5: Plano Instalación del Aerogenerador – Torre cisterna – Pozo a tierra.....	146
ANEXO 6: Plano de Distribución Eléctrica del Sistema.....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de Beaufort para la medición de la velocidad del viento.....	12
Tabla 2: Rango de velocidades del viento en la Escala de Beaufort .....	19
Tabla 3: Estrategia de colores para los conductores en instalaciones.....	39
Tabla 4: Código de colores para los conductores en instalaciones.....	45
Tabla 5: Edad de los pobladores.....	59
Tabla 6: Sexo de los habitantes del C.P. Bodegones.....	61
Tabla 7: Ocupación de los pobladores.....	62
Tabla 8: Número de personas que conforman una familia.....	62
Tabla 9: Oficio en lo que consumen el agua.....	64
Tabla 10: Consumo promedio de agua diaria.....	65
Tabla 11: Números de horas diarias de abastecimiento.....	66
Tabla 12: Nivel de conocimiento de los pobladores.....	67
Tabla 13: Monto de pago por el servicio del agua.....	68
Tabla 14: Costo que creen los pobladores para la instalación de un sistema eólico.....	69

Tabla 15: El proyecto sería beneficioso para la zona .....	70
Tabla 16: Crecimiento poblacional 2007 – 2017 .....	72
Tabla 17: Número de años que duran los proyectos .....	73
Tabla 18: Rugosidad.....	76
Tabla 19: Coeficiente de resistencia para codos y accesorios.....	77
Tabla 20: Características de la bomba a usar.....	83
Tabla 21: Velocidad del viento promedio del mes de Julio.....	88
Tabla 22: Coeficiente de rugosidad del terreno.....	89
Tabla 23: Datos para el Historial de Carga.....	90
Tabla 24: Descripción del parámetro del aerogenerador.....	93
Tabla 25: Descripción parámetro de la batería.....	97
Tabla 26: Descripción del parámetro del regulador.....	99
Tabla 27: Descripción del parámetro del inversor.....	100
Tabla 28: Selección del calibre del conductor aerogenerador - inversor.....	102
Tabla 29: Selección del calibre del conductor inversor - bomba.....	103
Tabla 30: Costo del sistema eólico.....	109
Tabla 31: Costos del Pozo a Tierra del Sistema.....	109
Tabla 32: Costo de mano de obra, instalación y equipo.....	110
Tabla 33: Presupuesto general.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Ubicación del C.P. Bodegones.....	3
Ilustración 2: Limites de Betz.....	15
Ilustración 3: Rosa de viento.....	15
Ilustración 4: Diagrama de Weibull.....	17
Ilustración 5: Maquina Eólica de eje horizontal.....	21
Ilustración 6: Maquina eólica de eje vertical; Savonius, Darrieus, Giromill.....	22
Ilustración 7: Componentes de un Aerogenerador.....	23

Ilustración 8: Bomba de agua.....	30
Ilustración 9: Anemómetro de Cazoletas.....	33
Ilustración 10: Modelo de Betz.....	36
Ilustración 11: Regulación de carga.....	38
Ilustración 12: Baterías para los sistemas.....	41
Ilustración 13: Conexión de las baterías.....	44
Ilustración 14: Cableado en un sistema eólico.....	45
Ilustración 15: Inversor HUAWEI hibrido.....	48
Ilustración 16: Edad de los pobladores.....	60
Ilustración 17: Sexo de los habitantes del C.P. Bodegones.....	61
Ilustración 18: Ocupación de los pobladores.....	62
Ilustración 19: Número de personas que conforman una familia.....	63
Ilustración 20: Oficio en lo que consumen el agua.....	64
Ilustración 21: Consumo promedio de agua diaria.....	65
Ilustración 22: Números de horas diarias de abastecimiento.....	66
Ilustración 23: Nivel de conocimiento de los pobladores.....	67
Ilustración 24: Monto de pago por el servicio del agua.....	68
Ilustración 25: Costo que creen los pobladores para la instalación de un sistema eólico.....	69
Ilustración 26: ¿El proyecto sería beneficioso para la zona?.....	70
Ilustración 27: Curva del sistema.....	82
Ilustración 28: Curva de la bomba instalada.....	84
Ilustración 29: Velocidad promedio del mes de julio.....	87

## **INTRODUCCIÓN**

Presento a su consideración el trabajo de investigación con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Mecánico Eléctrico.

La tesis partió de la interrogante formulada del siguiente modo: ¿Cómo dimensionar y seleccionar un sistema eólico para el bombeo de agua en el ámbito rural?

Para lo cual el objetivo general es: Dimensionar y seleccionar un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua para el Centro Poblado La Ranchería Bodegones.

El método general que se utilizó es el científico, tipo de investigación Experimental, población de estudio centrado en una muestra de 15 familias.

Para analizar las variables se utilizó la estadística descriptiva e inferencial.

La investigación es desarrollada en cuatro capítulos:

En el Capítulo I, se presenta los aspectos generales de la investigación, como el problema de investigación, los objetivos, la justificación, la hipótesis y el método de investigación.

El Capítulo II, contiene el marco teórico que corresponde a los antecedentes, las bases teóricas, definiciones conceptuales y operacionales e hipótesis de la investigación.

El capítulo III, trata sobre aspectos metodológicos, tipo y nivel de la investigación, el método y diseño de la investigación, operacionalización de las variables, objeto de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas de procesamiento de datos.

El Capítulo IV, trata sobre los resultados de la investigación, el análisis estadístico de los resultados y la prueba de la hipótesis.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y los anexos.

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

El calentamiento global y la destrucción del medio ambiente son temas que se van agravando con el paso del tiempo. Habiendo en el Perú una gran cantidad de recursos renovables y limpios de energía, no se toman medidas necesarias para hacer investigaciones a fondo y llevar a cabo proyectos que permitan utilizar estas energías para distintos propósitos, y así trabajar en pos del medio ambiente

Los combustibles fósiles utilizados hoy en día tienen una cuota importante de responsabilidad sobre el tema del calentamiento global y daños al medio ambiente a lo largo de todo su proceso, desde su extracción hasta su combustión. Éste no es el único problema, puesto que también se suma el eventual agotamiento de dichos recursos, lo que supondrá una crisis si es que no se vislumbran medidas necesarias.

El recurso eólico es una fuente de energía inagotable que poco se aprovecha en nuestro país. Otras naciones primer mundialistas ya están trabajando con esta energía, enfocándose al abastecimiento eléctrico. A pesar de ser un gran avance, ésta energía aún tiene una mayor potencialidad de explotación que la que se le adjudica hoy.

“El Ministerio de Energía y Minas data que hay un promedio de seis millones de personas en el país que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, siendo esto un factor muy importante para el desarrollo del País” (Jordán, 2009, p 11).



“La falta de energía eléctrica es la fundamental razón que restringe a localidades de poder tener una buena calidad de vida, pudiendo esto afectar en la salud de los pobladores” (Jordán, 2009, p 11).

El Perú cuenta con una variada topografía, clima y alto potencial de energía renovable, siendo entre estas eólica, solar e hidráulica. Con el paso del tiempo el precio del petróleo ha ido en aumento y las consecuencias de la quema de hidrocarburos han tenido el calentamiento global, para lo cual el gobierno del Perú y el Ministerio de Energía y Minas está promoviendo la diversificación de la matriz energética en el País. (Atlas eólico del Perú, 2008, p.4). En el País una de las zonas de mayor potencial eólico se encuentra al norte principalmente en la zona costera del departamento de Piura. Además también resaltan hacia el sur del país los departamentos de Lambayeque, la Libertad, Ancash, Lima y Arequipa, pero el departamento con mayor potencial eólico es Ica, pues su zona costera está superando los 8m/s velocidad de viento medio anual. (Mapa eólico del Perú, 2008, p.15)

## **1.2. Formulación del Problema**

En el Centro Poblado La Ranchería Bodegones – Lambayeque se ha observado que los habitantes carecen de agua para lavarse, servicios higiénicos, jardines, animales, agricultura.

En esta población, hay una cantidad de 200 habitantes entre niños y adultos, dedicándose a la producción del arroz, algodón, caña de azúcar, limón, frejol, maíz, ganadería, venta de productos lácteos, entre otros.

Esta población carece de agua, ya que el agua que viene del río está siendo contaminada por aguas servidas, animales muertos, u otros, de tal manera que no es apto para las personas y animales.

De continuar esta situación, adultos como niños sufrirán enfermedades patógenas, seguirán dependiendo de las temporadas de lluvia, o bombeando agua con motores diésel, este último resultando costoso y contaminante.

Por tal motivo se planteó: ¿Cómo obtener agua de uso diario excepto para consumo humano (por el alto porcentaje de arsénico), en el C.P. La Ranchería Bodegones– Lambayeque?

### **1.3. Delimitación de la Investigación**

#### **Ubicación política**

Centro poblado La Ranchería Bodegones, distrito Lambayeque, región de Lambayeque.

*Ilustración N°1, Ubicación del C.P Bodegones*



**Fuente: Google maps**

## **1.4. Justificación e Importancia de la TESIS**

### **Justificación técnica**

La finalidad de la propuesta del sistema eólico es generar energía eléctrica para bombear agua y de esta manera, satisfacer las necesidades de la población, según los estudios previos realizados.

La energía eólica es una de las energías renovable más abundante en el planeta, absolutamente inagotable. Esta energía se usa para mover grandes generadores eléctricos pudiendo ser de inducción doblemente energizada o un generador síncrono de imanes permanentes.

### **Justificación económica**

La energía eólica siendo una de las energías limpias o renovables es la más factible a utilizar debido la zona a implementar, en la actualidad es la energía renovable no convencional (ERNC) que ofrece una mejor relación costo-beneficio. Lo que hace prever un incremento masivo en la inserción de sistemas de bombeo de agua basados en fuentes renovables. Siendo uno de los principales beneficios el gasto exagerado de los habitantes, debido a que pueden usar agua sin transportarlo desde la ciudad.

### **Justificación social**

Este proyecto ayudara al desarrollo de la población, mejorara la calidad de vida, ya que gracias al sistema eólico para bombear agua; toda la población se beneficiara y tendrán un mejor desarrollo.

## **Justificación ambiental**

La generación de energía eólica no producirá residuos contaminantes, el mayor beneficio que nos ofrecen los aerogeneradores son el desplazamiento de centrales térmicas o de quemado de hidrocarburos, combustibles fósiles evitando así la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono que influyen en el efecto invernadero.

### **1.5. Limitaciones de la TESIS**

Escasa bibliografía sobre sistemas eólicos para bombeo de agua. Con respecto a los datos del viento nos hemos limitado a usar la base de datos del ATLAS EOLICO, SENAMHI.

### **1.6. Objetivos de la TESIS**

#### **1.6.1. Objetivo General**

Dimensionar y seleccionar un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones – Lambayeque.

#### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Evaluar la velocidad del viento promedio del lugar y determinar el potencial eólico, potencia eléctrica y la energía generada por el aerogenerador.

- b) Determinar la cantidad de agua promedio diaria requerida por la población y el crecimiento poblacional en un periodo de 30 años.
- c) Seleccionar el equipamiento del sistema eólico, de la bomba de agua, y elaborar el presupuesto general.
- d) Elaborar un plan de mantenimiento

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 . Antecedentes de Estudios**

#### **Contexto Internacional**

Maldonado y De Jerónimo (2008, pp. 95). En la tesis denominada “Ubicación de un parque de energía eólica en la costa ecuatoriana”, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador determina que entre los elementos que contribuyen en la problemática de la demanda de energía eléctrica, resaltan el crecimiento poblacional, la cantidad de industrias y el gasto innecesario de energía eléctrica.

El descuido y la falta de interés del gobierno respecto a la generación de energía eléctrica determinaron la problemática en el sector de energía.

Su objetivo principal es impulsar un estudio de generación de energía eólica en el Ecuador, señalando sus principales ventajas económicas, sociales y ambientales.

Concluyendo que la alternativa más considerable es un parque eólico para solucionar los problemas de insuficiencia de energía eléctrica en las sociedades ecuatorianas que están alejadas de las redes de distribución ya existentes.

Galindo (2013, p.28).

En la tesis de nombre “Pre factibilidad de los parques eólicos marítimos”, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica Zacatenco, México. Determina la problemática de México en el sector energético, pues debe utilizar las energías renovables para cubrir sus carencias y cooperar en la minoración de gases contaminantes y así disminuir los efectos negativos del

efecto invernadero.

El objetivo de esta tesis es realizar un estudio de pre factibilidad para la exploración e instalación de un parque eólico marítimo en las costas mexicanas.

Llegando a la conclusión de que el futuro de la energía eólica marina no es rentable por sí misma, por lo que necesita del apoyo de las administraciones públicas para su desarrollo. De hecho, no son los países con más recursos los que mayor potencia instalada tienen, sino aquellos con mejores apoyos a las energías renovables.

Pirique (2013, p.129).

En la tesis de nombre “Estudio de factibilidad de realización de un proyecto de energía eólica, a realizarse en el instituto tecnológico universitario Guatemala-sur, itugs de pelín, escuintla”.

El objetivo de esta tesis es determinar la factibilidad para la implementación de aerogeneradores, siendo su destino satisfacer parte de la demanda eléctrica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-sur (ITUGS), así disminuir la entrega de energía de la concesionaria reduciendo los gastos por consumo de energía y analizar desde las perspectivas del mercado, ingeniería, impacto ambiental, administrativo legal y financiero-económico.

Llegando a la conclusión: los datos obtenidos sobre el sitio son determinantes para indicar que es factible la implementación de un sistema de energía eólica, ya que es posible la generación de 100 kilovatios hora durante cada mes.

## **Contexto nacional**

Jordán (2009, p.11). En la tesis de nombre “Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de san Juan de Marcona”. Pontificia universidad católica del Perú indica que el problema reside en la falta de energía eléctrica en el asentamiento humano Ruta del Sol, donde los pobladores se dedican a la pesca y el comercio teniendo pocas posibilidades de progresar por la deficiencia de energía eléctrica.

En esta tesis se realizó una estimación técnico-económica comparando la generación eléctrica mediante las alternativas de Aero generación, grupo electrógeno y un sistema híbrido (diésel-eólico) que se encargue de suministrar energía eléctrica al asentamiento humano Ruta del Sol conformado por 300 familias.

En el análisis realizado se comparó alternativas de solución para el problema, siendo en este caso la falta de energía eléctrica.

Se consideró el aprovechamiento del viento, un recurso que es cuantioso en la zona, teniendo la ventaja por ser un recurso renovable y ser más económico en comparación con el suministro de energía con grupos electrógenos.

## **Contexto local**

Núñez Torres Raúl Martín (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 2 HP en el centro poblado de Montegrande, distrito de Reque, departamento de Lambayeque. En él se realizó mediciones de la velocidad del viento para estimar el potencial eólico, se



aplicó encuestas a la población para evaluar la demanda de agua que necesitan para cubrir todas sus actividades, y se realizaron cálculos para encontrar y diseñar cada componente del sistema eólico.

Para llevar a cabo dicha investigación se realizaron las mediciones de la velocidad del viento durante 5 días, y se tomaron referencia del histograma de velocidades de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, de los meses abril a julio, permitiendo estimar la velocidad promedio mediante el teorema de Hellman, a través de la velocidad del viento, se estimó el potencial eólico aprovechable que hay en el área climatológica del centro poblado Montegrande. Para la demanda de agua se aplicaron 15 encuestas para saber sus necesidades, y mediante parámetros establecidos por el MINSA, se determinó el consumo diario por persona, además se empleó una guía de observación para saber el número de habitantes, los cuales permitieron encontrar el consumo de agua diario por toda la población. En base a estos factores y empleando diferentes formas matemáticas, se calculó y diseñó cada componente del sistema eólico.

Los estudios realizados permitieron estimar una velocidad de 4.6 m/s, un potencial eólico de 278.036 watts, un consumo diario de 70 litros/h, una demanda de agua de 22750 litros diario por toda la población. En base a ello se calculó y seleccionó 2 bombas de 1 HP c/u. para el diseño del aerogenerador: la pala es de 2,5 m de longitud y el buje de 30 cm de diámetro, estos datos y otros factores permitieron el diseño correcto del sistema eólico presente, como propuesta para beneficiar a los pobladores del centro poblado Montegrande.

Cornejo (2010, p. 4). En su tesis titulada “Evaluación técnica y económica para la generación de energía eléctrica híbrido eólica – solar para la comunidad de San Luis en el distrito de Pimentel, región Lambayeque”.

Universidad Cesar Vallejo. Determina que la problemática en la comunidad de San Luis es la falta de energía eléctrica lo cual los limita en el desarrollo de la población. Siendo sus únicas actividades a realizar la ganadería y agricultura.

El objetivo de este estudio es dar solución a la falta de energía eléctrica en la comunidad de San Luis – distrito de Pimentel. Y a la vez dar a conocer a los centros poblados más lejanos y de bajos recursos económicos de nuestro país a utilizar este sistema híbrido eólico - solar como fuente de generación eléctrica.

Este proyecto de investigación concluye que la velocidad promedio del viento es 4,59 m/s y una radiación solar de 4826 W h/día, lo cual es factible para desarrollar la propuesta.

## 2.2 Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

### 2.2.1. Origen del viento.

La atmósfera se divide verticalmente en varias capas horizontales, según una división basada principalmente en la temperatura. El viento en superficie se produce en la capa más baja de la atmósfera, la tropósfera, que tiene un espesor de unos 8 km en los polos y unos 16 km en el Ecuador. En concreto, desde el punto de vista de la energía eólica, interesará únicamente el viento que se produce en unos pocos centenares de metros sobre el suelo, en la parte más baja de la tropósfera.

### 2.2.2. Viento y energía eólica

La energía eólica representa hoy en día una de las fuentes energéticas más baratas y con una tecnología de aprovechamiento totalmente madura. Los actuales aerogeneradores son capaces de producir electricidad a precios competitivos respecto a las fuentes tradicionales energéticas, partiendo de una fuente natural, renovable y no contaminante de energía.

### 2.2.3. Características del viento

Intensidad y dirección. La primera se mide según la escala de Beaufort.

*Tabla N°1: Escala de Beaufort para la medición de la velocidad del viento*

ESCALA BEAUFORT		
1	Velocidad del viento en m/s	características
2	1.8 – 3.3	Porcentaje a la cara
3	3.4 – 5.2	Leve movimiento de hojas
4	5.3 – 7.4	Leve movimiento de ramitas
5	7.5 – 9.8	Se oye silbar el viento

**Fuente: (JOBER)**

#### 2.2.4. Determinación de la potencia del viento

Para seleccionar un pequeño sistema eólico de forma tal que entregue la electricidad que se necesita y que opere eficientemente en las condiciones locales, se debe conocer el potencial del viento en el sitio donde esta máquina se va a instalar. Para esto se puede emplear diferentes métodos:

- a) Realizar mediciones en el sitio seleccionado previamente
- b) Determinar las velocidades en el sitio seleccionado a partir de las mediciones de viento en otro sitio cercano.
- c) Aprovechar las experiencias de otros usuarios.

El método “**a**” es a menudo usado cuando el objetivo es la instalación de parques eólicos. Realmente las mediciones deben realizarse exactamente en el sitio propuesto, a la altura del eje de la turbina eólica previamente seleccionado y en un periodo mínimo de un año. Esta metodología de evaluación del régimen de viento se lleva a cabo por procedimientos realmente costosos y consumidores de tiempo, lo que lo hace inadecuado cuando se trata de evaluar el recurso en el caso de que se quieran instalar pequeños sistemas eólicos.

El método “**b**” es más adecuada para pequeñas maquinas eólicas empleándose los datos de mediciones de viento hechas en lugares cercanos. Para tener en cuenta la diferencias entre las características del sitio donde se ha medido y el sitio propuesto para instalar el pequeño sistema, debe tenerse en cuenta ciertas consideraciones.

Teóricamente los parámetros que deben ser medidos son:

- a) Velocidad media anual del viento.
- b) Velocidad media del viento cada mes del año.
- c) El comportamiento típico diario cada mes del año.
- d) La duración y distribución anual de los periodos de calma.
- e) Las rachas máximas de velocidades del viento.
- f) La dirección del viento.

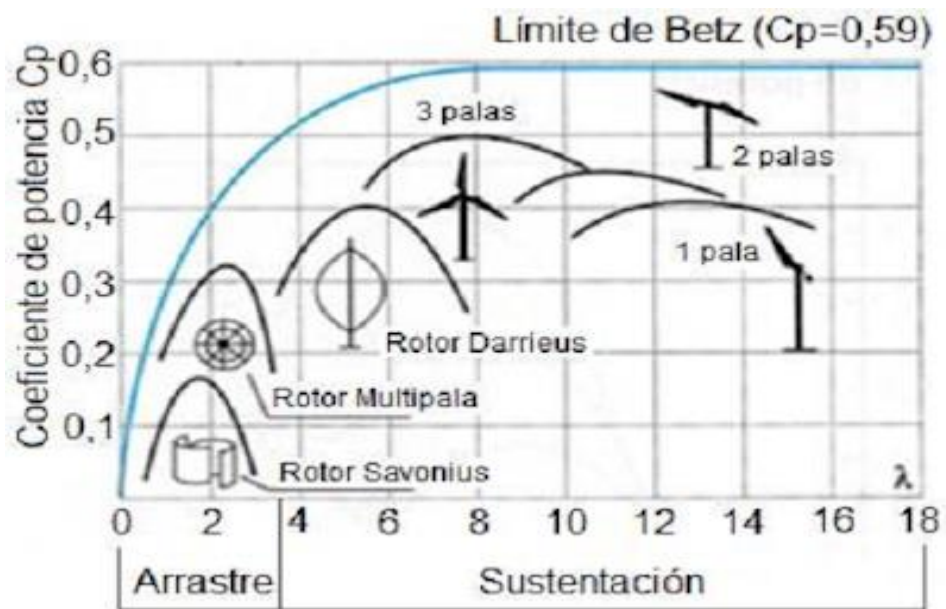
#### **2.2.5. Límite de Betz**

Estima la potencia del viento, sin embargo, no toda esta potencia puede ser extraída por un aerogenerador.

El porcentaje teórico máximo de extracción de potencia que un aerogenerador puede obtener a partir de una masa de aire en movimiento es un 59,3%. Este valor fue calculado en 1919 por el científico alemán Albert Betz, por lo que se le conoce como Límite de Betz. Varía para distintas familias y tipos de turbinas eólicas.

Si bien el Límite de Betz está en torno al 60%, solo las turbinas con dos aspas se aproximan a ese valor, llegando a un límite máximo real cercano al 50%. Esta razón explica en parte porque la industria eólica ha preferido utilizar tres aspas por sobre dos, en partes debido a que las velocidades del viento aprovechables por la turbina de dos aspas presentan mayores grados de inestabilidad aerodinámica que las turbinas de tres aspas, lo que impone una mayor complejidad a la operación y el control de estas, implicando esfuerzos mecánicos cíclicos inconvenientes sobre la torre de sujeción.

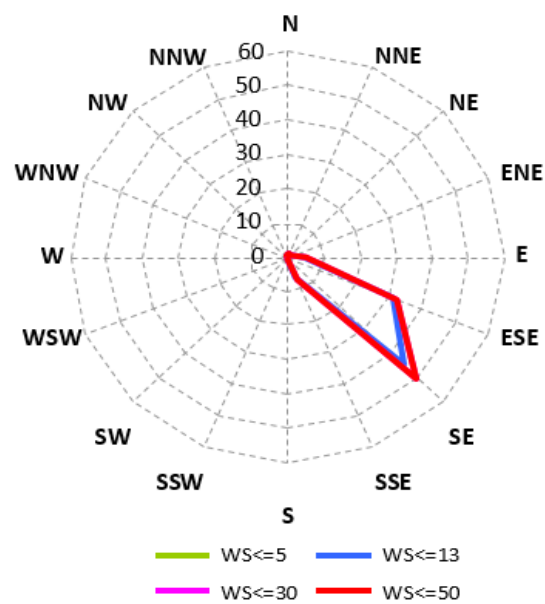
*Ilustración 2: Límite de Betz*



**Fuente: (Prezi)**

## 2.2.6. Rosa del viento

*Ilustración 3: Rosa de viento*



**Fuente: (Jiménez)**

Es un diagrama que muestra la distribución temporal de la dirección del viento y una distribución acimutal (Angulo formado por una dirección y el norte magnético) de velocidad del viento en un lugar dado. Consiste de varios círculos concéntricos espaciados igualmente y divididos por líneas en varios sectores o partes iguales, pueden ser 8, 12, 16 indicando los puntos cardinales (E, ENE, NE, NNE, W, WNW, NW, NNW, ESE, SE, SSE, N, WSW, SW). El atlas eólico europeo indica que debe emplearse 12 sectores, abarcando cada uno 30° de horizonte y generalmente son usados para representaciones de datos diarios, semanales, mensuales, anuales y por temporadas.

La información de cada rosa de los vientos debe cumplir:

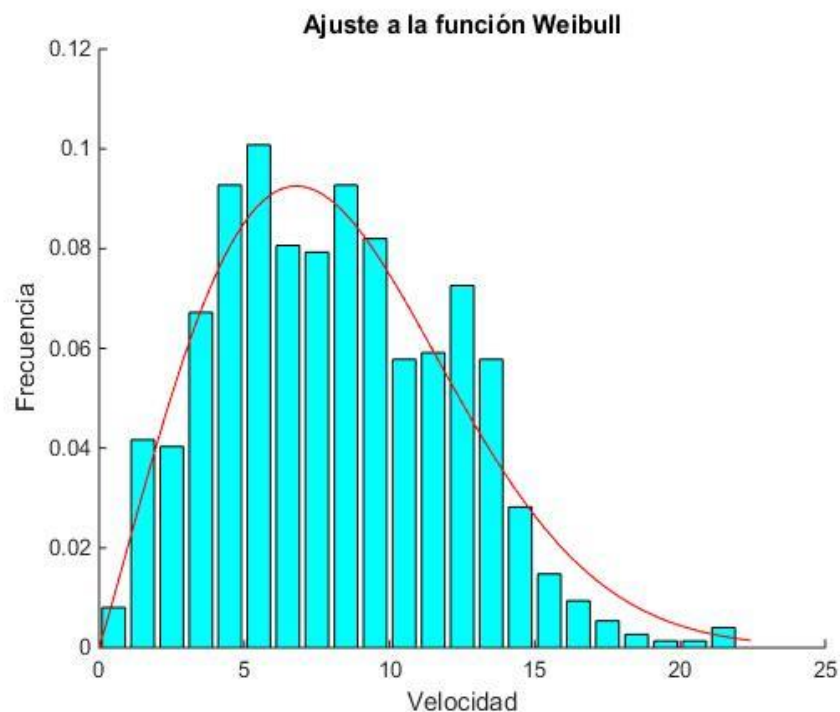
- a. Mostrar la frecuencia de ocurrencia y las clases de velocidad de los vientos en los 16 sectores de dirección para una localidad y un periodo de tiempo dado. La clasificación más usada para el viento es la escala de beaufort. También debe mostrar la identificación de la estación, mes y periodo de registro.
- b. Indicar el porcentaje de frecuencia de viento en calma
- c. Utilizar esquema de colores para categorizar las velocidades del viento.
- d. Ser exhaustivos, es decir incluir todos los valores posibles.
- e. Ser mutuamente excluyentes esto es que no existan confusión al momento de ubicar un valor dentro de esas clasificaciones por lo que no debe existir traslape entre ellas.

Una rosa de viento indica mediante sectores y triángulos la frecuencia relativa de cada una de las 12 o 16 direcciones de viento establecidas, es

decir, que tanto por ciento del tiempo el viento sopla desde o hacia una dirección. Dependiendo del tipo de rosa de los vientos de los que se está tratando, sobre el mismo sector (cuña) puede indicarse la velocidad del viento promedio o en rango, que puede llegar a tener esa dirección o puede trazarse otras cuñas sobrepuestas con mayor anchura para indicarse esa velocidad .

Además es recomendable tener una rosa de los vientos con el diagrama de weibull (figura 4), y cada sector de la rosa con los diagramas de weibull correspondientes.

*Ilustración 4: Diagrama de Weibull*



**Fuente: García, 2014**



Para el análisis de lugares con potenciales eólicos, la rosa de los vientos indica la distribución relativa de las direcciones de viento, y no el nivel real de la velocidad media del viento, sin embargo un vistazo a la rosa de los vientos resulta útil para situar y distribuir aerogeneradores.

Si una gran parte de la energía del viento viene de una dirección particular, lo que se deseara cuando se coloque una turbina eólica en el paisaje será tener la menor cantidad de obstáculos en esa dirección, así como un terreno lo más liso posible.

Los modelos eólicos pueden variar de un mes a otro, de un año a otro y obviamente variara su contenido energético (normalmente alrededor del 10%). Por eso lo más conveniente es contar con observaciones de varios años para obtener una media confiable. Como quiera que la potencia del viento, es proporcional al cubo de la velocidad del viento, es altamente dependiente de los recursos de velocidad del viento, por lo que los datos del viento y su variabilidad es lo principal a considerar para determinar preliminarmente los recursos eólicos disponibles a cada lugar de parques eólicos mediante la obtención de la rosa de los vientos.

#### **2.2.7. Velocidad del viento**

La cantidad de viento es muy importante para la cantidad de energía que un aerogenerador puede transformar en electricidad. Es por ello que la cantidad de energía que posee el viento varia con el cubo de la velocidad media del viento, esto refiere la segunda ley de Newton de la cinemática.

*Tabla 2: Rango de velocidades del viento en la escala Beaufort*

<b>FUERZA</b>	<b>m/s</b>	<b>Kn(nudos)</b>	<b>Km/h</b>	<b>castellano</b>
F0	0 - 0.2	-de 1	0-2	<i>calma</i>
F1	0.3 - 1.5	1 – 3	2-6	<i>ventolina</i>
F2	1.6 - 3.3	4 – 6	7-11	<i>Brisa muy débil</i>
F3	3.4 - 5.4	7 – 10	12-19	<i>Brisa débil, flojo</i>
F4	5.5 - 7.9	11 – 16	20 – 29	<i>Bonancible, brisa</i>
F5	8.0 - 10.7	17 – 21	30 – 39	<i>Brisa fresca</i>
F6	10.8 - 13.8	22 – 27	40 – 50	<i>Brisa fuerte</i>
F7	13.9 - 17.1	28 – 33	51 – 61	<i>Frescachón, viento</i>
F8	17.2 - 20.7	34 – 40	62 – 74	<i>Temporal</i>
F9	20.8 - 24.4	41 – 47	75 – 87	<i>Temporal fuerte</i>
F10	24.5 - 28.4	48 – 55	88 - 101	<i>Temporal duro</i>
F11	28.5 – 32.6	56 – 63	102 – 117	<i>Temporal muy duro</i>
F12	+de 32.7	+de 64	+de 118	<i>temporal</i>

***Fuente: (INFONAVIS, 2015)***

### **2.2.8. Energía eléctrica.**

La energía eléctrica es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones positivos y negativos) que se producen en el interior de materiales conductores.

### **2.2.9. Sistema eólico**

Emplean la energía del viento para mover turbinas que convierten esta energía en electricidad. El viento tiene el potencial de producir importantes cantidades de electricidad verde y en este sentido, los sistemas eólicos de pequeñas potencias desempeñan un papel importante.

### **2.2.10. Clasificación de las máquinas eólicas**

Una máquina eólica es cualquier dispositivo accionado por el viento. Si se utiliza directamente la energía mecánica, será un aeromotor, y si se acciona de un generador eléctrico, se tratará de un aerogenerador. Se acostumbra clasificar las máquinas eólicas según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento. Pudiendo dividir en dos categorías principales.

### **2.2.11. Máquinas eólicas de eje horizontal**

En las máquinas eólicas de eje horizontal, para obtener en las palas una velocidad angular y uniforme  $w$ , para una determinada velocidad del viento  $v$  se requiere que tanto la dirección del viento, como su velocidad, se mantengan constante con respecto a las palas.

Las aeroturbinas de eje horizontal, se suelen clasificar según su velocidad de giro, o según el número de palas que lleva el rotor aspectos que están íntimamente relacionados, en rápidas y lentas; las próximas tienen un número de palas no superior a 4 y las segundas pueden tener hasta 24. Los principales tipos de máquinas eólicas de eje horizontal son:

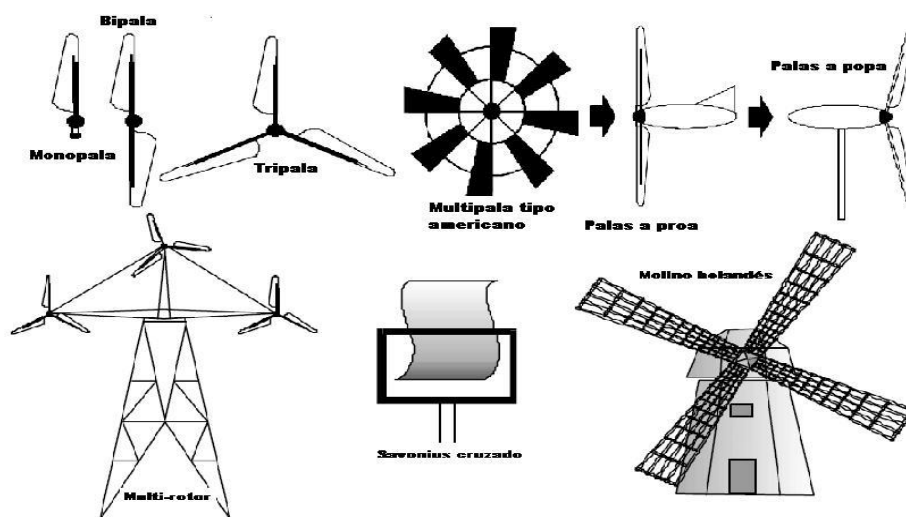
Máquinas que generan un movimiento alternativo, que se utilizan para el bombeo de agua.

- a) Máquina multipala
- b) Hélices con palas pivotantes (Angulo de ataque variable).

La hélice puede presentar dos tipos de posiciones frente al viento, como son:

- a. Barlovento, en la que el viento viene de frente hacia las palas, teniendo el sistema de orientación detrás, agua abajo.
- b. Solvento, en la que el viento incide sobre las palas de forma que este esté pasa primero por el mecanismo de orientación y después de actuar sobre la hélice.

*Ilustración 5: Máquina eólica de eje horizontal*

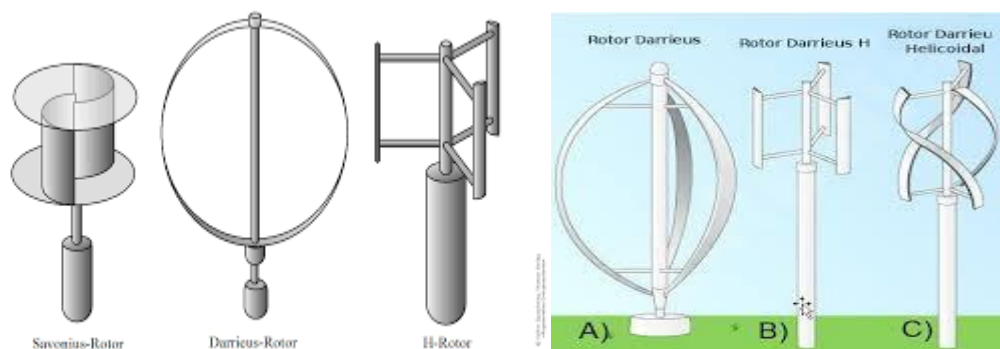


**Fuente: Energía renovable, Jorge Mirez**

### 2.2.12. Máquinas eólicas de eje vertical.

En las máquinas eólicas de eje vertical, manteniendo las mismas condiciones regulares en la velocidad del viento y en la velocidad angular de las palas, resulta que estas pueden ser sometidas a un viento aparente de dirección y velocidad continuamente variable. Las características principales de los molinos de eje vertical es que no requieren de sistema de orientación. Ventaja nada despreciable pues evita complejos mecanismos de direccionamiento y elimina los esfuerzos a que se ven sometidos las palas ante los cambios de orientación del rotor, por su disposición permite colocar los sistemas de conversión prácticamente a nivel de suelo, evitando pesadas cargas en las torres, como ocurre en los ejes horizontales.

*Ilustración 6: Eólicas de eje vertical Savonius, Darrieus y Giromill*



**Fuente:** [Eolienne.ooreka.fr/comprendre/eolienne-verticale](http://Eolienne.ooreka.fr/comprendre/eolienne-verticale)

### 2.2.13. Aerogenerador

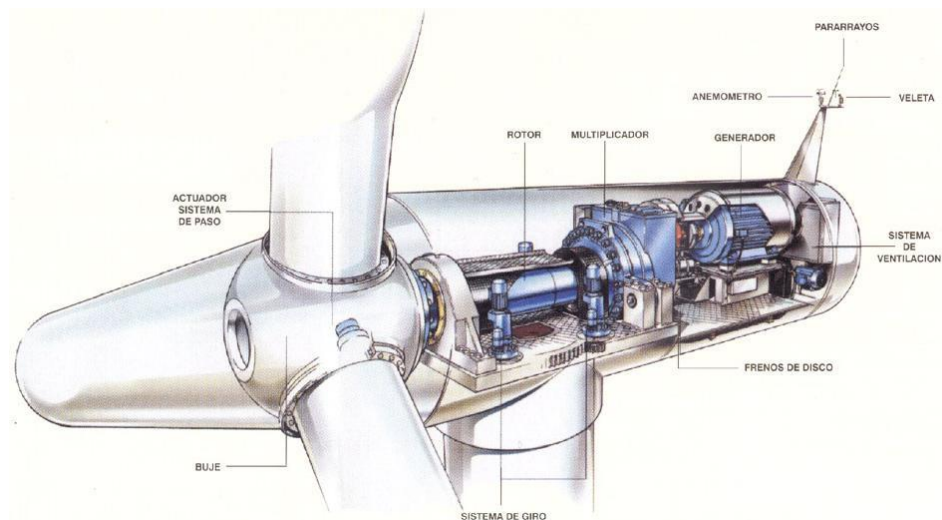
Un aerogenerador eólico es una máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica. Las partes de un aerogenerador que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica se encuentra en la góndola, que sirve para proteger esos componentes claves.

El funcionamiento de un aerogenerador es muy sencillo. El viento mueve las palas del aerogenerador y a través de un sistema mecánico de engranajes hacen girar el rotor. La energía mecánica rotacional del rotor es transformada en energía eléctrica por el generador.

#### **2.2.14. Partes de un aerogenerador de eje horizontal**

En la actualidad la gran mayoría de aerogeneradores que se construyen conectados a red son tripalas de eje horizontal. Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan cajas de engranajes con menor relación de multiplicación de giro, además debido a la construcción elevada sobre la torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura.

*Ilustración 7: Componente de un aerogenerador de eje horizontal*



***Fuente: Energía con bienes comunes***

#### **2.2.14.1. Rotor**

El rotor es el componente que ayuda a los alabes o palas del rotor a convertir la energía del viento en movimiento mecánico rotacional. El rotor está compuesto por los propios alabes y el buje (elemento que une los alabes con el árbol principal mediante el cojinete principal). El buje es el centro del rotor y se fabrica de hierro o acero fundido.

Si el aerogenerador tiene caja multiplicadora, el buje se conecta directamente al eje de baja velocidad de la caja multiplicadora y convierte la energía del viento en energía de rotación. Si la turbina no posee caja multiplicadora, la energía se transmite directamente al generador.

Actualmente la mayoría de los rotores tienen tres palas, un eje horizontal y un diámetro entre 40 y 90 m. los rotores de molinos de vientos tradicionales para el bombeo de agua emplean 16 palas o más (llegando a tener 30) y se fabrica de metal.

#### **2.2.14.2. Góndola**

Es el chasis principal del aerogenerador, se sitúa en la parte superior de la torre y en su interior encuentran los elementos eléctricos y mecánicos necesarios para convertir el giro del rotor en energía eléctrica. Se encuentra unida a la torre por una corona dentada para permitir la orientación del rotor del viento, y rotor y las palas por el eje principal que transmitirá la fuerza del viento al multiplicador y al motor sucesivamente. En su parte exterior lleva instalado un anemómetro y una veleta conectados a los sistemas de control de aerogenerador y unos respiradores para garantizar la refrigeración del motor, se construyen en acero forjado y placas de fibra de vidrio.

### **2.2.14.3. Generador**

La función del generador es transformar la energía mecánica procedente del rotor en energía eléctrica. Existen diferentes tipos de generadores:

#### **a) Generador de corriente continua (dinamos)**

Las dinamos generadores de corriente continua, son equipos eléctricos sencillos que tienen ventaja de no necesitar sistemas especiales para cargar baterías y generan corriente aun para bajas velocidades de giro.

En general el generador más utilizado en las pequeñas turbinas eólicas es el alternador de imanes permanentes

#### **b) Generador de corriente alterna**

Los generadores síncronos o alternadores que existen son de velocidad variable, es decir, suministran corrientes de frecuencia variables. Por lo tanto, para conectarlos directamente a la red de corriente alterna es preciso utilizar un convertidor de frecuencia con elemento intermedio entre el generador y la red. Esta desventaja se descompensa con una mayor eficiencia de la turbina y una mejor compatibilidad con la red.

Principalmente este tipo de generadores se usan en máquinas que alimentan instalaciones autónomas, como en aplicaciones para iluminación, calefacción etc., y la mayoría utilizan alternadores de imán permanentes ya que se trata de la configuración más sencilla y robusta.

El generador asíncrono o de inducción se caracteriza por que usa corriente de la red eléctrica para crear su campo magnético. En principio este tipo de generador no es capaz de operar sin la red. Sin embargo, sistemas



electrónicos pueden engañar a los generadores de inducción por medio de condensadores para cargar el campo, permitiendo así a estos generadores ser utilizados en sistemas de potencia aislados.

#### **2.2.14.4. Multiplicador**

La caja multiplicadora es un multiplicador de velocidad que convierte el movimiento rotacional de 18 – 50 rpm del rotor en aproximadamente 1750 rpm con que rotar el generador. La velocidad de giro del generador depende de la frecuencia de la corriente eléctrica y del número de pares de polos de la máquina.

La caja multiplicadora tiene la tarea de acoplar las bajas velocidades de rotación del rotor y las altas velocidades del generador y soporta las amplias variaciones de la velocidad del viento.

#### **2.2.14.5. Torre**

Las maquinas eólicas deben estar situadas sobre una estructura de soporte capaz de aguantar el empuje del viento. Existen varios tipos de torres como los que se describen a continuación:

- a) Torres tubulares de acero. En el caso de los grandes aerogeneradores generalmente se utilizan torres tubulares de acero fabricadas en secciones de 20 – 30 m con bridas en cada uno de los extremos, son unidas con pernos “in situ”. Las torres son tronco – conicas, es decir, con diámetro creciente hacia la base, con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material.

- b) Torre de celosía. Son fabricados utilizando perfiles de acero soldados. La ventaja básica de las torres de celosía en su costo, puesto que para su fabricación se requiere solo la mitad del material que en una torre tubular. La principal desventaja de este tipo de torres es su apariencia visual. En cualquier caso por razones estéticas las torres de celosía han desaparecido prácticamente en los grandes aerogeneradores modernos. Son muy comunes en la india, aunque se encuentra en otros países como Alemania y EE.UU.
- c) Torre de mástil tensado. Muchos de los aerogeneradores pequeños están contruidos con delgadas torres de mástil sostenidas por cables tensores. La ventaja es el ahorro del peso y por lo tanto del costo. Las desventajas son el difícil acceso a las zonas alrededor de la torre, lo que le hacemos menos apropiadas para zonas agrícolas. Las torres tubulares son las que ofrecen una vista más agradable, pero son las más costosas y a menos que estén articuladas para arriarlas, son también las que ofrecen más dificultades a la hora de efectuar el mantenimiento de la turbina. Las torres con tensores son las menos costosas.
- d) Torres híbridas. Algunas torres están hechas con diferentes combinaciones
- e) de las ya mencionadas.

#### **2.2.14.6. Sistema de control**

Se hace cargo del funcionamiento seguro y eficiente del equipo, controla la orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entrega por el equipo.

#### **2.2.14.7. Sistema de orientación**

A fin de optimizar el aprovechamiento energético del viento, el plano de rotación del rotor debe mantenerse perpendicular a la dirección del viento.

En el caso de que el rotor está situada a solvento, como ya se comentó anteriormente, no es necesario un sistema de orientación ya que mediante una conicidad adecuada de las palas, el sistema es auto orientable. En cambio en los rotores situados a barlovento, delante de la torre, si se debe incorporar algún sistema de orientación, entre estos sistemas cabe distinguir los siguientes:

- a) Eólicas auxiliares: en particular molinos de cola, usados solo en algunas eólicas pequeñas. Es un sistema poco fiable.
- b) Veletas de colas: se usan en pequeñas turbinas formando parte del conjunto timón – veleta. La orientación del rotor se realiza de forma mecánica, al incidir el viento sobre el timón – veleta y ejerciendo sobre este un par de fuerzas que hace que el rotor se coloque perpendicularmente a la dirección del viento.
- c) Rotor barlovento con orientación asistida: es el sistema mas utilizado en grandes aerogeneradores. Incorpora un sensor con un ordenador y en función de la dirección y la velocidad del viento envía las correspondientes órdenes de control a un servomotor por la orientación del plano de giro del rotor.

#### **2.2.14.8. Otros componentes**

Además del aerogenerador para poner en marcha un pequeño sistema de energía eólica es necesario un equipo adicional que está constituido por los siguientes componentes.

##### **a) Sistema de almacenamiento:**

En sistemas que no se encuentran conectados a red generalmente se dispone de algún sistema de almacenamiento con el objeto de disponer de la energía en periodos de viento flojo o de calma.

##### **b) Baterías:**

Actualmente es el sistema más utilizado para almacenar la electricidad por la turbina. Permite construir sistema de muy pequeño tamaño. No es adecuado para tamaños grandes por su elevado costo y dificultades de mantenimiento.

##### **c) Inversores:**

Se utilizan para convertir la corriente continua (cc) generada por los aerogeneradores eólicos, acumuladores o baterías, etc., que convierten a corriente alterna (CA) y de esta manera poder ser inyectada en la red eléctrica o usada en instalaciones eléctricas aisladas.

##### **d) Bombeo de agua:**

Durante periodos de viento insuficiente la carga podría alimentarse con una mini central hidroeléctrica cuyo generador síncrono se conectaría en paralelo con el aerogenerador a través de un sistema de protección y control adecuado. Este método proporciona una eficiencia de energía eléctrica

recuperada entre el 50% y 80%. Es la solución que se encontró para poder electrificar eólicamente la isla del hierro.

*Ilustración 8: Bomba de agua*



***Fuente: Pedrollo***

#### **2.2.14.9. Turbulencias**

Se asocian con las tormentas a ráfagas de viento que cambian tanto en velocidad como dirección en áreas cuya superficie es muy accidentada y tras obstáculos como edificios, también se producen muchas turbulencias. Con flujo de aire muy irregulares, con remolinos y vértices en los alrededores.

Las turbinas disminuyen la posibilidad de utilizar la energía del viento de forma efectiva en un aerogenerador. También provocan mayores roturas y desgastes en la turbina eólica, tal y como se explica en la sección sobre cargas de fatiga.

Las torres de aerogeneradores suelen construirse lo suficientemente altas como para evitar las turbulencias del viento cerca del nivel del suelo.

#### **2.2.14.10. Optimización y economía**

El molino de viento tiene un aspecto muy diferente al de los grandes aerogeneradores modernos; sin embargo han sido creados de forma bastante inteligente para el fin al que están destinados: el rotor muy sólido y con muchas palas significa que gira incluso a velocidades de viento muy bajas, por lo que bombeara una cantidad de agua razonable a lo largo de todo el año.

Es por ello que será muy ineficiente a altas velocidades del viento, y tendrán que pararse y orientarse fuera del viento para evitar daños en la turbina, debido a la solides del rotor.

El diseño de un aerogenerador no está solo determinado por la tecnología, sino por una combinación de tecnología y economía, por ello se requiere optimizar las máquinas para producir la electricidad al menor costo posible por kilovatio-hora (kwh) de energía.

##### **a) Relativo al generador y al tamaño del rotor**

Un generador pequeño (un generador de baja potencia de salida en kW) requiere menos fuerza para hacerlo girar que uno grande. Si se acopla un gran rotor o un generador pequeño, se está produciendo electricidad durante gran cantidad de horas al año. Por otro lado, un generador grande será muy eficiente a altas velocidades de viento, pero incapaz de girar a bajas velocidades.

Debido a ello se tomara en cuenta la distribución de velocidades de viento y del contenido energético del viento a diferentes velocidades para determinar cuál será la combinación ideal del tamaño de rotor y de tamaño de generador.

#### **b) Altura de la torre**

Se sabe que en general las torres más altas aumentan la producción de energía de un aerogenerador, no obstante discernir si vale o no la pena el costo adicional que supone una torre más alta depende tanto de la clase de rugosidad como del costo de electricidad.

#### **2.2.15. Equipo de medición Anemómetro**

El Anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y específicamente, que medir la velocidad del viento.

##### **Anemómetro de Cazoleta**

El Anemómetro de Cazoleta y veleta es un equipo para la medición de la dirección y velocidad del viento en plano horizontal.

Mide la velocidad del viento por la rotación de las tres cazoletas que producen una señal de tensión AC de onda directamente proporcional a la velocidad del viento.

*Ilustración 9: Anemómetro de cazoletas*



***Fuente: Anita, 2012***

#### **2.2.16. Ley Exponencial de Hellmann**

Esta ley es una herramienta útil para describir la magnitud del viento teórico, si no se conoce el valor de la altura dada. La siguiente formula permite obtener el valor promedio de la velocidad del viento para distintas alturas:

$$V(h) = V_{ref} \cdot \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^a$$

Donde:

$V(h)$ : Velocidad promedio del viento no conocida a una altura (m/s)

$V_{ref}$ : Velocidad promedio del viento conocida a una altura (m/s)

$h$  : Altura a la que se desea conocer (m)



*h<sub>ref</sub>*: Altura a la que se midió la *V<sub>ref</sub>*

*a*: Coeficiente de rugosidad

### **2.2.17. Potencial eólico**

El uso de los modelos matemáticos para determinar el potencial eólico de una región incluye estudios preliminares de monitoreo de la velocidad y dirección del viento y un manejo adecuado de datos a fin de elaborar las herramientas que determinan el potencial.

Los perfiles de velocidades del viento y la rosa de los vientos para un periodo de tiempo establecido, nos dan la pauta para ver la factibilidad de aprovechar el recurso eólico existente, por ejemplo mediante la instalación de aerogeneradores y así situar los parques eólicos.

Para ello, es necesario obtener con la mayor precisión posible:

- a) Datos de viento (velocidad, dirección del viento)
- b) Datos del lugar (altura sobre el nivel del mar, coordenadas geográficas).

La metodología para la evaluación de datos, consiste en:

- a) La obtención de los datos de viento mencionados en a)
- b) Evaluación matemática del sitio, mediante la extrapolación de velocidades de viento a alturas diferentes a los cuales se toman los registros.
- c) Obtención de velocidades promedio, rosa de los vientos, densidad de potencia.
- d) Calculo de la producción de energía anual.

### 2.2.18. Potencia eólica

La energía cinética de una masa  $m$  en movimiento y con una velocidad “ $v$ ” se describe por:

$$T = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde:

$T$ : Energía cinética

$m$  : Masa

$v$  : Velocidad

La potencia se define como energía por unidad de tiempo, entonces

$$P = \frac{T}{t} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)m(v^2)}{t}$$

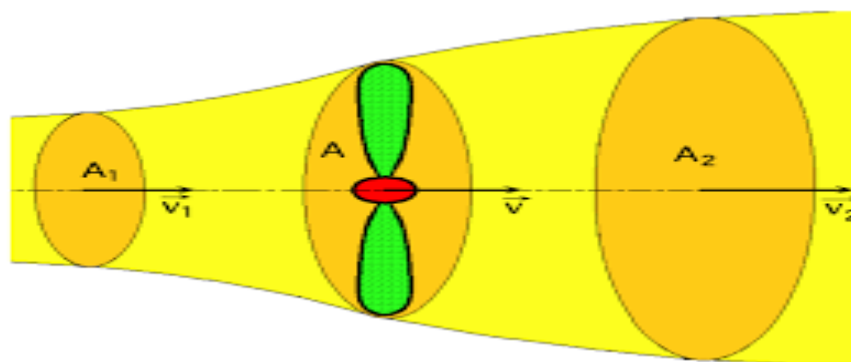
$$P_{eolic} = \frac{1}{2}\rho A(v)^3$$

### 2.2.19. Coeficiente de potencia máximo ( $C_p$ )

No toda la energía del viento puede ser aprovechada de una turbina. De acuerdo al LIMITE DE BETZ que sea un tubo de corriente como el esquematizado en la figura. Se supondrá que a barlovento de la hélice el aire posee una velocidad  $v_1$  (velocidad del viento sin perturbar) en la sección transversal  $a_1$ , mientras que la velocidad  $V_2$  se corresponde con la sección

transversal  $A_2$  a solavento de la zona en que se encuentra la hélice. En el plano que contiene la hélice, la sección transversal batida por la misma (área del rotor) es un disco imaginario de área  $A$ , siendo  $V$  la velocidad del viento en la misma (velocidad útil). Asimilamos la hélice a un disco de área  $A$  que capta parte de la energía del aire en movimiento que llega al disco  $A$ , es decir  $V_2 < V_1$ . Sin embargo es obvio que  $V_2$  nunca es cero (no puede extraerse toda la energía cinética del aire).

*Ilustración 10: Modelo betz*



**Fuente: Revista eólica, 2012**

El caudal másico ( $Q_m = \text{densidad} \times \text{caudal} = \rho Q$ ) es constante (conservación de la masa), es decir:

$$Q_m = \rho Q = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 = \rho A v$$

Esto explica que el tubo de corriente se ensancha tras la turbina, como  $v_2 < v_1$ , entonces  $A_2 > A_1$ ).

Podemos expresar la potencia útil transferida por el viento a la turbina de esta manera:

Perdida por unidad de tiempo, de energía cinética del viento al pasar por la hélice.

$$P_{util} = -\frac{\Delta E_k}{\Delta t} = (E_{k1} - E_{k2})/\Delta t = 1/2 \rho A d (v_1^2 - v_2^2)/\Delta t = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$

$\Delta E_k$  : Variación de energía cinética

$\Delta t$  : Variación del tiempo

$d$  : Distancia

Donde hemos utilizado los argumentos y variable definidas dos transparencias atrás, en particular nótese que  $v = d/\Delta t$ .

## **2.2.20. Componentes de los sistemas**

### **2.2.20.1. Subsistema de regulación**

En este sistema se regula la entrada de energía procedente del campo de aceptación.

#### **a) Regulador de carga**

Es un dispositivo electrónico que tiene la misión de proteger a la batería contra las sobrecargas y sobre descargas. Además se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario.

Con el fin de proteger las baterías contra descargas excesivas, el suministro de electricidad a las cargas debe interrumpirse cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto umbral llamado “voltaje de desconexión de

carga” y no debe reanudarse hasta que el voltaje de la batería no haya superado otro umbral más alto, “llamado voltaje de reconexión de carga”

*Ilustración 11: Regulador de carga*



**Fuente. (Fangpuson)**

## **b) Características del regulador de carga**

Para definir o caracterizar completamente un regulador se debe especificar:

- a) tensión nominal: el valor más común es 12V, aunque existen modelos su selección manual o automática en un rango habitual entre 12 y 48V.
- b) intensidad nominal: define a la corriente procedente del campo FV que puede manejar el regulador de igual manera en lo eólico.
- c) Tipos de reguladores: series o paralelos.
- d) Estrategia de regulación: técnicas y etapas que integran el proceso de regulación de carga, existe reguladores de dos, tres y cuatro etapas descritos a continuación.

*Tabla 3: Estrategia de regulación, dependiendo del tipo de carga*

<b>CARGA</b>	<b>ESTRATEGIA</b>
Inicial	Cuando la tensión de la batería alcanza un nivel prefijado al regulador de paso a la corriente disponible en el campo FV o eólico, provocando un aumento progresivo de la tensión.
Absorción	Alcanzada la tensión final de la carga en la batería, esta se mantiene durante un tiempo, modulando la corriente procedente del campo FV o eólico.
Flotación	Cargada completamente la batería, se interrumpa al paso de la corriente hasta que la tensión se reduzca en un cierto valor.
Ecualización	Periódicamente o después de un estado de carga, se somete a la batería a una ligera sobrecarga controlada elevando su tensión por encima del nivel de absorción.

***Fuente: (Funpuson)***

Además de las funciones y características anteriores, los reguladores modernos basados en microprocesadores, posibilitan; la selección de tipo de batería, el ajuste de los niveles de tensión; protección contra inversor de polaridad y secuencia de conexión, durante las etapas de regulación y la adquisición de datos convirtiéndose en verdaderos gestores y supervisores de sistema eólico.

### **c) Ubicación del regulador**

La principal consideración en ubicación del regulador, es la longitud del cableado y del circuito Regulador – Batería (por ser el más exigente en cuanto a caída de tensión máxima admisible). Así pues, el regulador debe situarse lo más cerca posible de la batería.

Existe regulador apto para su ubicación tanto en el interior como a la intemperie. En cualquier caso, se puede alojar al regulador dentro de un armario especial para el uso en intemperie.

### **2.2.20.2. Subsistema de almacenamiento**

Acumula la energía excedente producida por el generador eólico o fotovoltaico para luego utilizarla en momentos de baja o nula insolación.

#### **a) Batería**

La batería es el elemento que almacena la energía durante las horas en la que hay viento, para entregarla en días de carencia. Además es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica.

El tamaño del banco de baterías depende de la distribución de días claro, nublados, secos, correspondiente al lugar de instalación, siendo su capacidad aproximada igual a un valor entre 4 y 8 veces el consumo diario.

### *Ilustración 12: Batería para los Sistemas*



***Fuente (world)***

#### **b) Características de las baterías.**

Los parámetros que caracterizan a las baterías son:

- a. Tipos: el más utilizado es el de tipo plomo ácido con electrolitos líquidos, seguido del acumulador de plomo ácido con electrolitos gelificados (Acumulador sellado) y el de Níquel – Cadmio (con sus variantes).
- b. Capacidad: se expresa en amperios por hora (Ah). Determina la cantidad de energía eléctrica que se puede suministrar bajo determinadas condiciones. El rango comercial oscila entre 50 y 4000Ah; varía inversamente con la temperatura.
- c. Tensión: la batería se considera como una fuente de C.C. los valores comerciales se encuentran en el rango de 2 a 12V, siendo el último valor el más usado.
- d. Estado de carga: relación porcentual entre la capacidad disponible y la total.
- e. Profundidad de descarga: relación porcentual entre la capacidad útil y total.



- f. Ciclaje: los procesos cíclicos de carga de la batería determinan su vida útil, sin embargo, el fabricante suele especificar el tiempo de vida mediante el número de ciclos de carga – descarga a los que la batería está sometida.

### **c) Ubicación de las baterías**

Las baterías deben ubicarse en un lugar cerrado, protegido de la intemperie, evitando la exposición directa al sol. Cuando se usa el tipo de electrolitos liquido (no sellados), el local o sala de baterías debe disponer de una ventilación adecuada (natural o forzada), debido a los gases emanados que tengan lugar durante el proceso de carga, además de otras consideraciones referente a la seguridad (ausencia de elementos que puedan producir o chispas, etc.)

Tanto los fabricantes de baterías como las grandes empresas instaladoras, suelen disponer de bancadas (de madera o metálica simples o en gradillas) y contenedores especialmente diseñados para el tipo y modelo de baterías utilizada.

Entre las recomendaciones para su instalación se encuentran:

- a) Asegura la horizontalidad de la bancada
- b) Colocar inicialmente algunas baterías en el centro para evitar situaciones de inestabilidad, y en el caso de estanterías, fijas y comenzar el montaje por las filas interiores.
- c) Revisar que la ubicación de las baterías corresponda con las especificadas en el plano, prestando especial atención a su separación y a la disposición relativa de sus bornes.

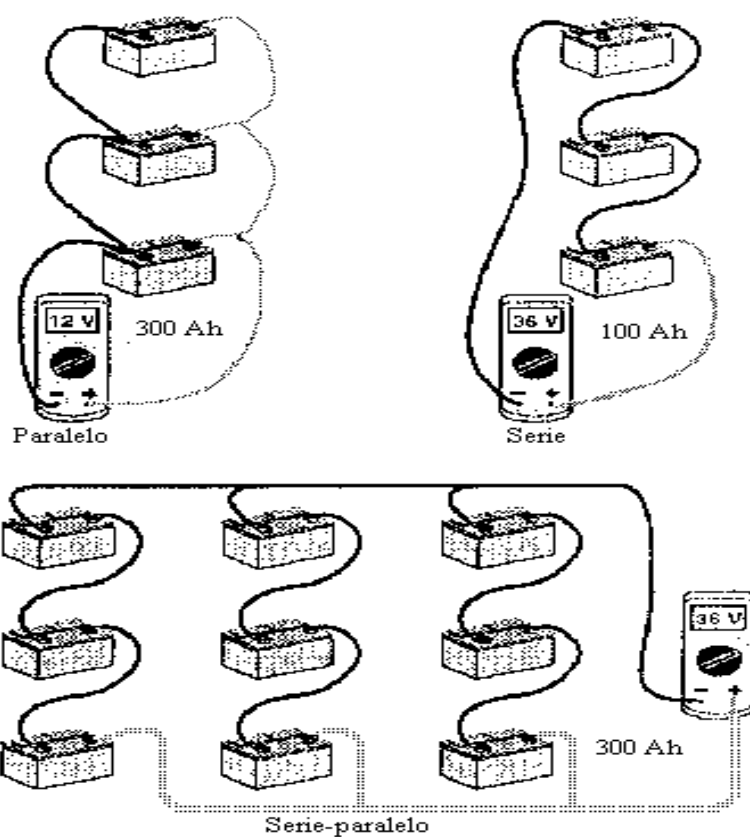
- d) Durante el manejo de las baterías, utilizar los medios mecánicos adecuados a su peso (más de 100kg por elemento) evitando la sujeción de los bornes.

**d) Conexión de las baterías**

La conexión entre baterías, obedece a los requerimientos de tensión y capacidad de acumulación particulares de cada instalación (serie, paralelo o mixto).

Se puede considerar que existe dos grupos de baterías, ambos dispones de bornes aptos para una conexión estándar; el primero tiene un sistema de conexión propio, especialmente diseñado para la batería, este grupo se caracteriza por la flexibilidad de la conexión; caso contrario del segundo (libre mantenimiento) que presente una conexión rígida, en el que tanto la situación de los acumuladores, como la de sus elementos de interconexión, están predefinidos y son únicos. Una ventaja de este grupo es su fiabilidad y fácil montaje, ya que es el fabricante quien aporta la solución práctica de la conexión.

*Ilustración 13: Conexión de las baterías*



**Fuente: (Malaga)**

### **2.2.20.3. Subsistema de componentes auxiliares**

Incluye al cableado y a los sistemas de desconexión y protección del sistema.

#### **2.2.20.3.1 Cableado del sistema eólico.**

A diferencia de los sistemas de electrificación convencionales, los eólicos, suelen instalarse de manera imprevista, motivo por el cual el cableado se realiza a la vista, sujeto a muros y paredes (grapados con bridas o bajo canaletas); o enterrados.

En este tipo de cableado (aéreo), además de adaptarse a las exigencias de intemperie (velocidad del viento, dirección), y el efecto lesivo de grasas emanados por baterías, la instalación debe considerar la estética, evitando tendidos desordenados y poco uniformes.

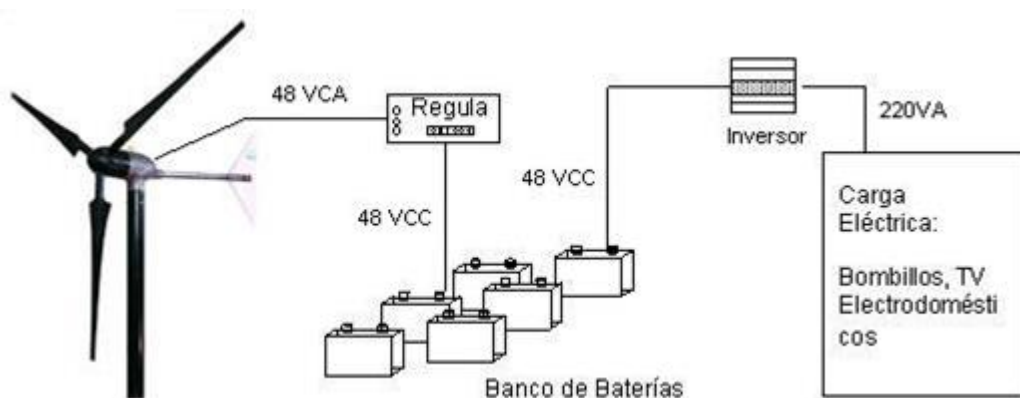
La identificación de la polaridad de los conductores y el terminal al que han de conectarse, es otro aspecto de especial atención; la técnica mayormente implementada por tal fin, consiste en el empleo de cables de diversos colores (Tabla 4), y el marcado de sus terminaciones con cintas de distintos colores (principalmente en las grandes secciones fabricadas generalmente en color negro).

*Tabla 4: Código de colores para los conductores en instalaciones*

<b>Polaridad</b>	<b>color</b>
Positivo	Rojo o marrón
Negro	Negro, azul o blanco

***Fuente: (Ingeniería)***

*Ilustración 14: Cableado en un sistema eólico*



***Fuente: Moreno, 2012***

#### **2.2.20.3.2. Protección de los aerogeneradores**

Su función es evitar el paso por cables aparatos y personas, de corrientes perjudiciales, reduciendo las posibilidades de incendios y de choques eléctricos.

Deben actuar de forma automática ante situaciones de sobrecarga, corto circuito, contacto indirecto interrumpido de forma fiable y segura el paso de corriente por el circuito afectado. Los elementos de protección usados habitualmente en instalaciones eólicas o fotovoltaicas son además de las puestas a tierra los; fusible magneto térmicos, diferenciales, descargadores de corriente de rayos y de tensión (varistor).

En los circuitos de baterías, se debe tomar en cuenta el posible incremento de las corrientes de cortocircuito, pudiendo alcanzar valores extremadamente elevados, de allí que la utilización de elementos de protección sin la capacidad de corte apropiada puede provocar la aparición de arcos eléctricos y originar explosiones.

#### **2.2.20.3.3. Puesta a tierra de los sistemas**

Es uno de los aspectos más importante de la instalación (eólico, fotovoltaico, híbrido), que ha de establecerse durante el proceso.

Consiste en la unión eléctrica de distintas masas metálicas, y de estas con tierra. Ofrecen protección contra tormentas, evitando que la tensión entre las masas metálicas (y entre esta tierra), posibilitan la acumulación de cargas electroestáticas de origen atmosférico.

La puesta a tierra del campo eólico, abarcan tanto el marco metálico de los módulos como a la estructura. Su anclaje no puede considerarse una protección eficaz, ya que el tratamiento superficial de los elementos dificulta una conexión confiable, por tal motivo los módulos suelen disponer de un orificio para la ubicación del conductor de tierra.

El conductor de tierra de los módulos debe unir eléctricamente a todos los marcos entre sí, y a estos con la estructura, el conductor a usar debe ser desnudo adicionando un electrodo de tierra (generalmente tipo pica), es recomendable que estas conexiones se efectúan mediante terminales que permita sud desconexión sin interrumpir el tendido de tierra.

#### **2.2.20.3.4. Subsistema de adaptación de corriente**

Convierte la potencia continua proveniente del aerogenerador en potencia alterna mediante un ondulator (inversor).

##### **a) Inversor**

Los convertidos CC/CA, denominados inversores u ondulator, permiten producir una tensión alterna de frecuencia variable a partir de una fuente de tensión continua.

*Ilustración 16: Inversor Zigor Eolico/solar*



**Fuente (ALIBABA)**

**b) Característica del inversor**

- a. Tensión nominal: tensión que se debe aplicar a los terminales de entrada.
- b. Potencia nominal: potencia que puede suministrar el inversor de forma continua. Su rango comercial oscila entre los 100 y los 5000 watt.
- c. Capacidad de sobre carga: capacidad de inversor para suministrar una potencia superior a lo nominal, y el tiempo que puede mantener esa situación.
- d. Forma de onda: señal alterna en los terminales de salida, caracterizada principalmente por su forma y por sus valores de tensión (eficaz) y frecuencia
- e. Eficiencia o rendimiento: relación porcentual entre la potencia de salida y la de entrada al inversor. Su valor depende de las condiciones de

operación, es decir de la potencia total de los aparatos alimentados, en relación a su consumo nominal.

### **c) Conexión del inversor**

La conexión del inversor es una operación muy sencilla, dado que el fabricante suministra la información requerida, tanto en el aparato como en su manual de instrucciones.

Un inversor dispone, de dos terminales de entrada continua para la conexión de la batería (o regulador) o del aerogenerador (según el tipo de inversor), y dos o tres terminales de salida alterna (fase, neutro y tierra) para la conexión del circuito de consumo en alterna o de la red externa.

Deben dimensionar según los vatios de potencia eléctrica que podría suministrar, durante su funcionamiento normal o de forma continua, o mediante la potencia de arranque. La eficiencia de los inversores disminuye cuando se utiliza a un porcentaje bajo su capacidad, por esta razón no es conveniente sobredimensionarlos, deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la del consumo.

### **d) Lugar de instalación**

- a. En caso de instalar un sistema de energía eólica fuera del predio o lote, el proyecto debe prever los espacios adecuados donde se instalan cada uno de los elementos que componen el sistema de energía eólica escogido.
- b. El dimensionamiento del sistema de energía eólica debe garantizar que los niveles de ruido no sobrepasen los límites máximos permitidos por el



Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.

**e) Aerogenerador**

- a. El sistema debe garantizar en todo momento su estabilidad ante posibles caídas, desprendimiento de elementos, etc.
- b. Debe cumplir con la normativa establecida por el gobierno local a fin de que el impacto visual sea el mínimo.

**f) Sistema de puesta a tierra y sistema de pararrayos**

Ambos sistemas deben cumplir con lo dispuesto en el Código Nacional de Electricidad – Sistema de Utilización (vigente), del Ministerio de Energía y Minas.

**g) Recomendaciones**

- a. Elaborar previamente un estudio de vientos de las zonas para un óptimo funcionamiento del sistema. Se recomienda que el estudio de vientos cuente con la siguiente información.
- b. Medición periódica de la velocidad y dirección de vientos. Revisión de datos existentes de viento en la zona.
- c. Característica del suelo donde se ubica el aerogenerador (datos de rugosidad).
- d. Medición de parámetros ambientales principales (temperatura, humedad, etc.) Instalar el aerogenerador en un lugar libre de obstáculos para garantizar el libre flujo del viento, procurando localizarlo en cúspides o zonas altas como lomas o cerros con el fin de captar el viento más fuerte. Considerar las futuras construcciones que se pueden generar.

Hacer el debido mantenimiento al sistema de energía eólica de acuerdo a lo indicado por el fabricante.

En caso de instalar un aerogenerador fuera de la edificación o del predio, separarlo de cualquier edificación (por seguridad en caso de colapso), una distancia igual a 1.5 veces su altura total (H). La altura total del aerogenerador se considera como la suma de la altura de la torre más la longitud del elemento de captación de energía (palas u otro, depende el diseño).

#### **2.2.21 Marco legal**

A continuación se encuentran todas las leyes, reglamentos y normas:

- a. Reglamento nacional de edificaciones.
- b. Código nacional de electricidad.
- c. Ley de Promoción y utilización de recursos energéticos renovables no convencionales en zonas rurales, aislada de frontera del país – ley N°26546, del 27.05.2005.
- d. Reglamento de Estándares Nacional de Calidad Ambiental para ruido, (Decreto supremo N°085-2003-PCM)
- e. Norma EM-090 Instalación de Energía Eólica
- f. Ley 28832 asegurar el desarrollo eficiente de la generación
- g. Ley de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energía renovable
- h. Ley de concesiones eléctricas

## **2.3 Definición conceptual de la terminología empleada.**

### **Dirección**

Es la acción y efecto de dirigir (llevar algo hacia un término o lugar, guiar encaminar las operaciones a un fin).

### **Viento**

Es la corriente del aire que se produce en la atmosfera por causas naturales. El viento, por lo tanto, es un fenómeno meteorológico originado en los movimientos de rotación y traslación de la tierra.

### **Velocidad**

Es la magnitud física, a partir de la cual se puede expresar el desplazamiento que realiza un objeto en una unidad determinada de tiempo.

La velocidad representada mediante el símbolo  $V$  y la unidad de medida dentro del sistema internacional es el m/s.

### **Dimensionamiento**

Acción y efecto de determinar el tamaño, o importancia de algo.

Proceso para determinar la dimensión o característica correcta o esperada de algo.

### **Sistema**

Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.

## **Generación**

Acción y efecto de engendrar (entendido como procrear) o de generar (como sinónimo de producir o de causar algo).

## **Potencia eléctrica**

La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico. ... La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).

## **Energía eléctrica**

La energía eléctrica es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones) que se produce en el interior de materiales conductores (por ejemplo, cables metálicos como el cobre).

## **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

Los criterios de investigación que nos permitió desarrollar y concluir se detallan a continuación

#### **a) Investigación aplicada:**

Porque se hará uso de los conocimientos y bases teóricas de ingeniería para dar solución al diseño del sistema eólico y sistema de bombeo.

#### **b) Investigación descriptiva:**

Porque se describe la característica de los equipos seleccionados y las variables en estudios (velocidad del viento y la energía eólica) a través y tal como se presenta en la realidad.

#### **c) Investigación explicativa:**

Porque nos permitió analizar e interpretar un comportamiento para la solución del problema.

### **3.2 Población y muestra**

#### **Población**

El Centro Poblado La Rancheria Bodegones está ubicado en el distrito de Lambayeque, para el acceso hay una carretera no asfaltada por el cual transitan motos y carros, es una zona cálida con un clima agradable, donde la principal fuente de ingreso es la agricultura además de la ganadería, cuenta con una institución educativa primaria, N° 10997 y hay una comisión encargada de ver los problemas que se presentan en la zona. Está

conformado por 50 viviendas y un número de 200 habitantes según la municipalidad de Lambayeque.

**Población:**

Los habitantes del Centro Poblado La Ranchería Bodegones.

**Muestra:**

Conformado por 15 familias del Centro Poblado La Ranchería Bodegones.

### **3.3 Hipótesis**

Si se aprovecha el viento con el dimensionamiento de un sistema eólico para generar energía eléctrica, se podrá bombear agua para el uso diario, excepto para consumo humano (porque contiene un porcentaje elevado de arsénico); en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones – Lambayeque.

### 3.4 Operacionalización

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<b>Variable independiente</b>  Velocidad del viento	Velocidad	Velocidad	m/s	Análisis de documentos  Observación  Entrevista  Encuesta	Guías de observaciones  Cuestionario  Hoja de encuesta  Guía de análisis de documentos	Anemómetro digital  Veleta  Histograma  UNPRG  Fórmulas matemáticas
	Dirección	Perfil vertical del viento	m			
		Rosa de viento	Puntos cardinales			
	Densidad	Densidad del aire	Kg/m <sup>3</sup>			
<b>Variable dependiente</b>  Energía eléctrica para el Sistema de bombeo de agua	Energía	Energía eléctrica	Wh	Análisis de documentos  Observación  Entrevista  Encuesta	Guías de observaciones  Cuestionario  Hoja de encuesta  Guía de análisis de documentos	Multímetro
	Volumen	Capacidad de llenado de la cisterna	m <sup>3</sup>			

### **3.5 Métodos y Técnicas de investigación**

#### **3.5.1 Técnicas**

**Entrevistas:** Es el conjunto de preguntas que se realizaran a los pobladores para determinar la problemática.

**Encuestas:** Se elaborara un cuestionario para recopilar toda la información y analizar estas sobre la necesidad de los agricultores

**Análisis de documentos:** Para el desarrollo de este proyecto se tendrá que recopilar y analizar documentos vinculados al sistema eólico, y sistema de bombeo.

### **3.6 Descripción de los instrumentos utilizados**

Los instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación, son distintos para cada una de las variables como la etapa del trabajo efectuado.

#### **a) Resumen**

Este instrumento se utiliza para rescatar ideas principales de las normas emitidas por el ministerio de energía y minas del Perú y a nivel internacional, que nos ayudaran a tomar como base para nuestro trabajo de investigación.

#### **b) Lista de chequeo**

Este instrumento se utilizó para rescatar la información científica, leyes y normas emitidas por OSINERGMIN, y a nivel internacional con lo que elaboramos nuestro marco conceptual y metodológico.

#### **c) Fotografías**

Con la finalidad de fotografiar el proyecto a realizar.



#### **d) Mapas**

Nos facilitara la ubicación geográfica del Centro Poblado La Ranchería Bodegones, el cual es el objeto de estudio para el trabajo de investigación.

#### **e) Planos**

Nos permite tener un enfoque general acerca del sistema eólico y bombeo.

### **3.7 Análisis Estadístico e interpretación de los datos**

#### **3.7.1 Medidas de tendencia central**

##### **Media (promedio)**

La medida de un conjunto de números, algunas ocasiones simplemente llamada promedio, es la suma de los datos dividido entre el número total de datos.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

#### **3.7.2 Medidas de dispersión**

##### **Rango**

Mide la amplitud de los valores de los datos y se calcula por la diferencia entre el valor más elevado y el valor más bajo.

## CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1 Propuesta de la investigación

Con el objetivo de generar energía eléctrica para bombear agua en el centro poblado La Ranchería Bodegones, ubicado a 4 kilómetros de la provincia de Lambayeque, región de Lambayeque, se propone dimensionar y seleccionar el sistema eólico.

Para lo cual se utilizan las siguientes herramientas:

#### 4.1.1. Encuestas

Las encuestas realizadas a los habitantes del Centro Poblado La Ranchería Bodegones – Lambayeque, se realizaron puntualmente a 15 familias de un total de 200 habitantes, los cuales fueron tomados con la frecuencia para el desarrollo de este proyecto.

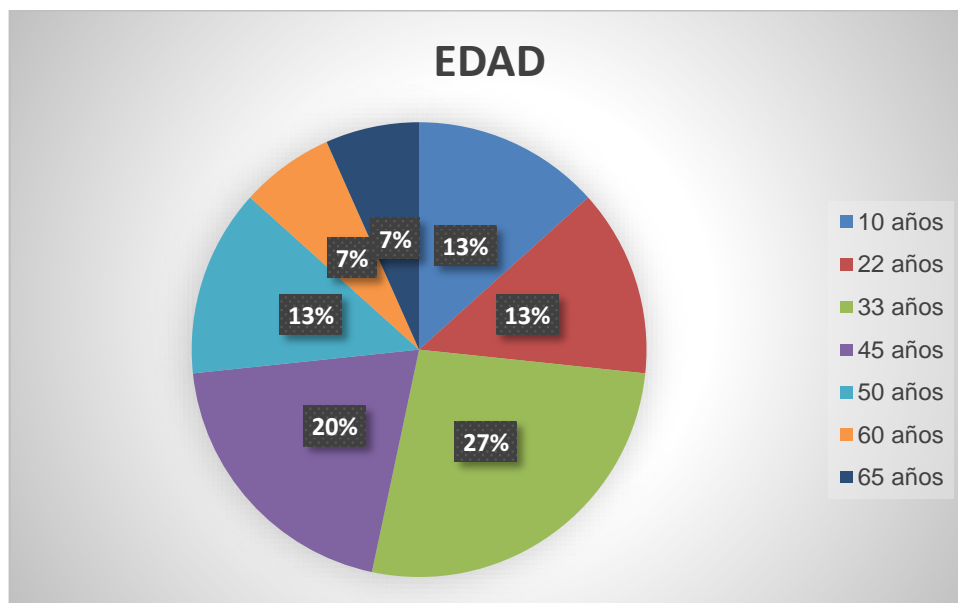
#### A) Variable General

##### EDAD

*Tabla 5: Edad de los pobladores*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
10 años	2	13%
22 años	2	13%
33 años	4	27%
45 años	3	20%
50 años	2	13%
60 años	1	7%
65 años	1	7%
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>100%</b>

*Ilustración 16: Rango de edades promedio*



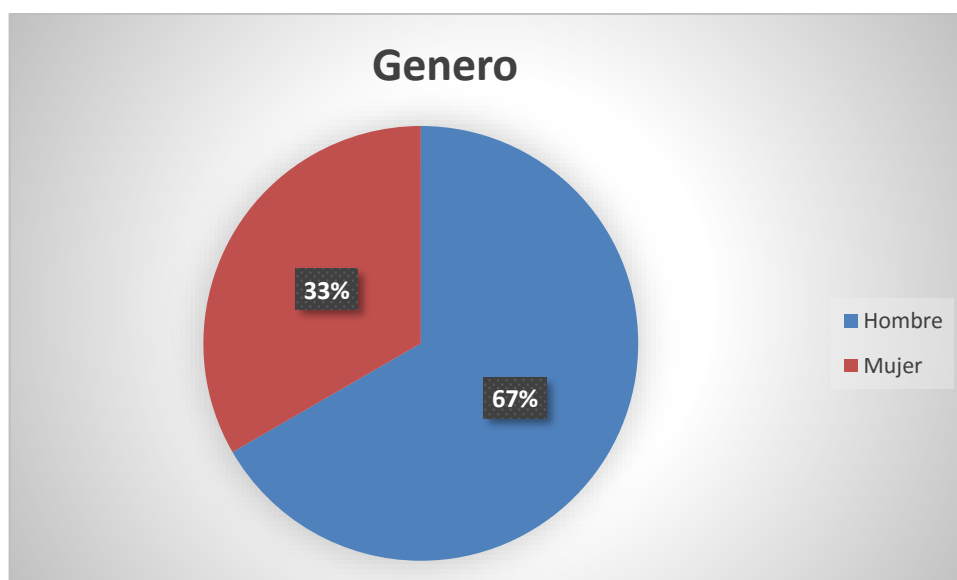
### Análisis

De la ilustración se puede mostrar que la edad promedio es 33 años, con el 20% en el centro poblado Bodegones.

*Tabla 6: sexo de los habitantes del C.P. La Ranchería Bodegones*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
Hombre	10	67%
Mujer	5	33%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 17: Sexo de los habitantes del C.P. La Ranchería Bodegones*

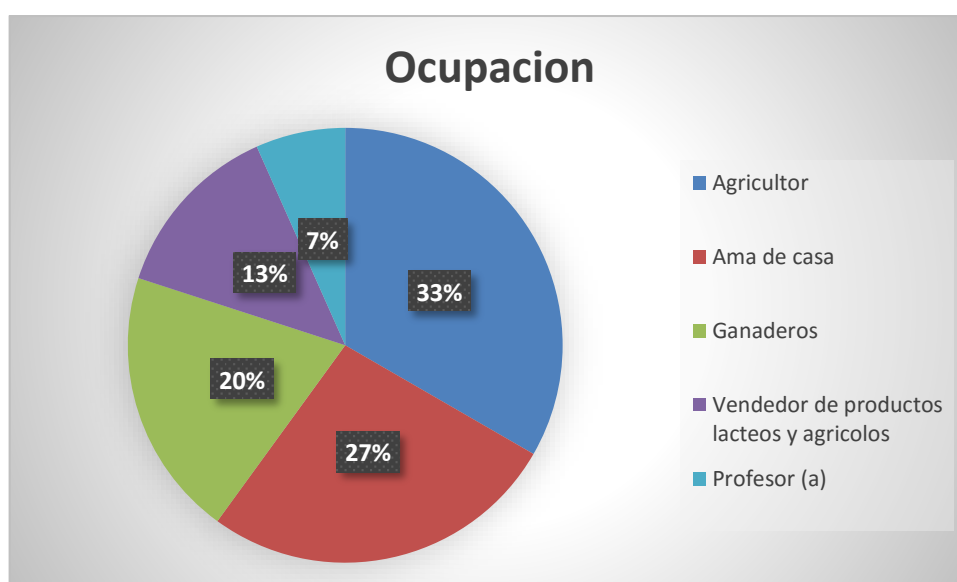


## OCUPACION

*Tabla 7: Ocupación de los pobladores*

Valoración	Frecuencia	Porcentaje
Agricultor	5	33%
Ama de casa	4	27%
Ganaderos	3	20%
Vendedor de productos lácteos y agrícolas	2	13%
Profesor (a)	1	7%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 18: Ocupación de los pobladores*

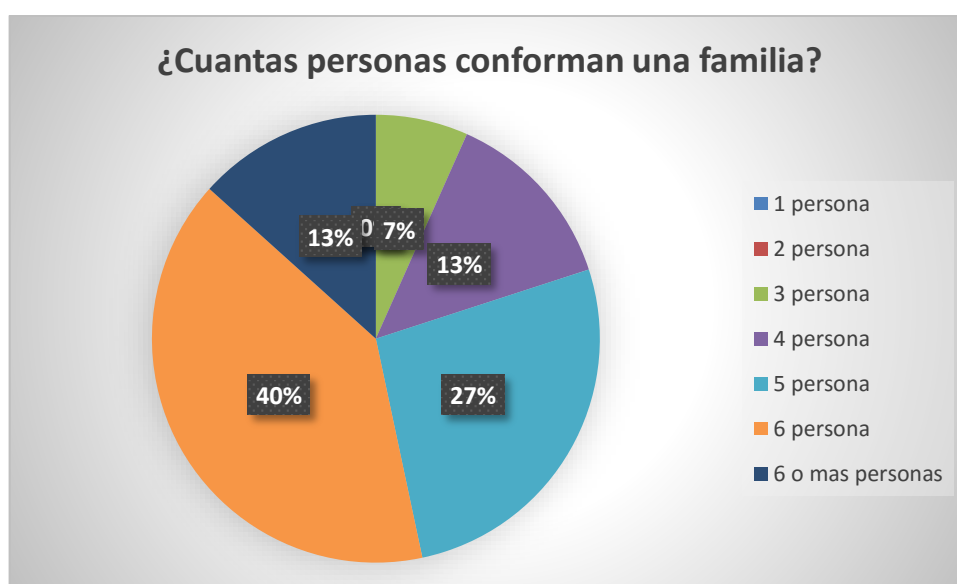


Pregunta 1. ¿Números de personas conforman su familia?

*Tabla 8: Números de personas que conformas una familia*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
1 persona	0	0%
2 persona	0	0%
3 persona	1	7%
4 persona	2	13%
5 persona	4	27%
6 persona	6	40%
6 o más personas	2	13%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 19: Números de personas que conformas una familia*



Pregunta 2: ¿En qué oficio se consume más el agua?

*Tabla 9: Oficio en el que se consume el agua*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
Servicios higiénicos	4	27%
Ducha	2	13%
Riego	3	20%
Animales	2	13%
Lavado de ropa	3	20%
Otros	1	7%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 20: Oficio en el que se consume el agua*

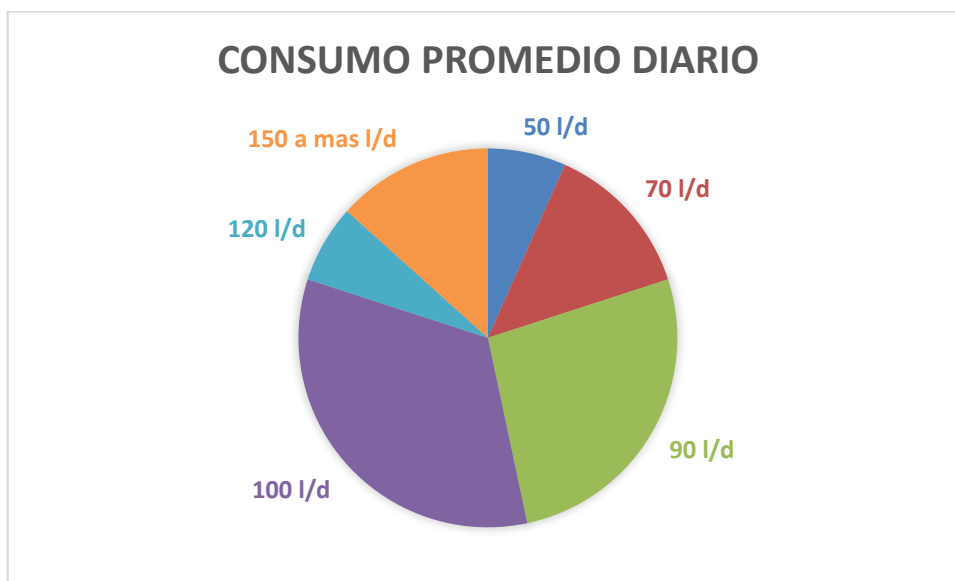


Pregunta 4: ¿Cuánto en promedio es su consumo de agua diario?

*Tabla 10: Consumo promedio de agua diario*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
50 l/d	1	7%
70 l/d	2	13%
90 l/d	4	27%
100 l/d	5	33%
120 l/d	1	7%
150 a más l/d	2	13%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 21: Consumo promedio de agua diario*



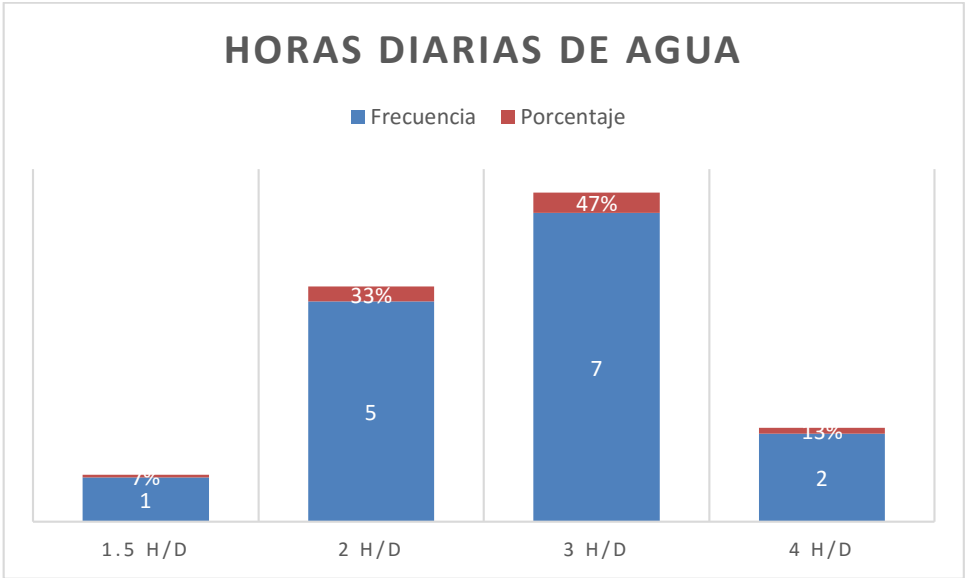


Pregunta 5: ¿Cuántas horas diarias es abastecido por el agua?

Tabla 11: Número de horas diarias de abastecimiento de agua

Valoración	Frecuencia	Porcentaje
1.5 h/d	1	7%
2 h/d	5	33%
3 h/d	7	47%
4 h/d	2	13%
TOTAL	15	100%

Ilustración 22: Número de horas diarias de abastecimiento de agua

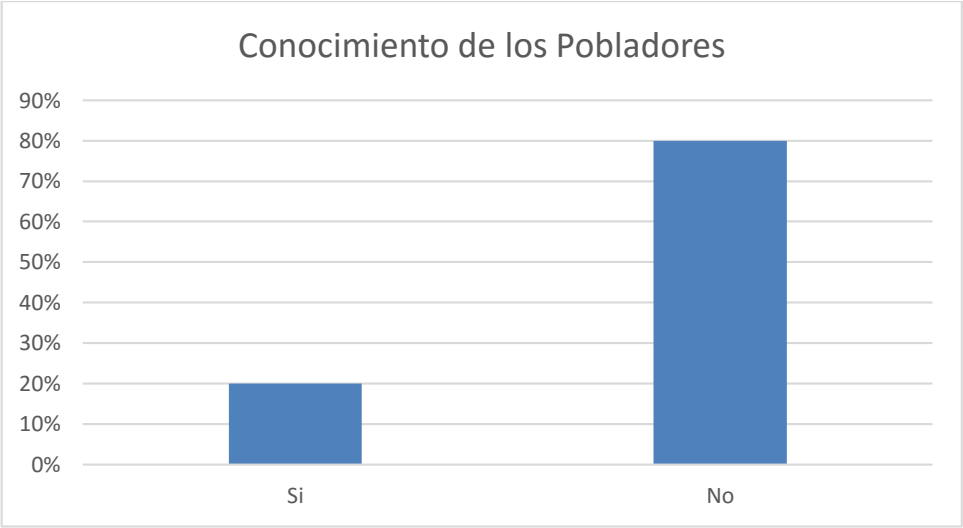


Pregunta 6: ¿Sabe usted como se genera la energía eléctrica a través de la energía eólica?

*Tabla 12: Nivel de conocimiento de los pobladores*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
Si	4	27%
No	11	73%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 23: Nivel de conocimiento de los pobladores*

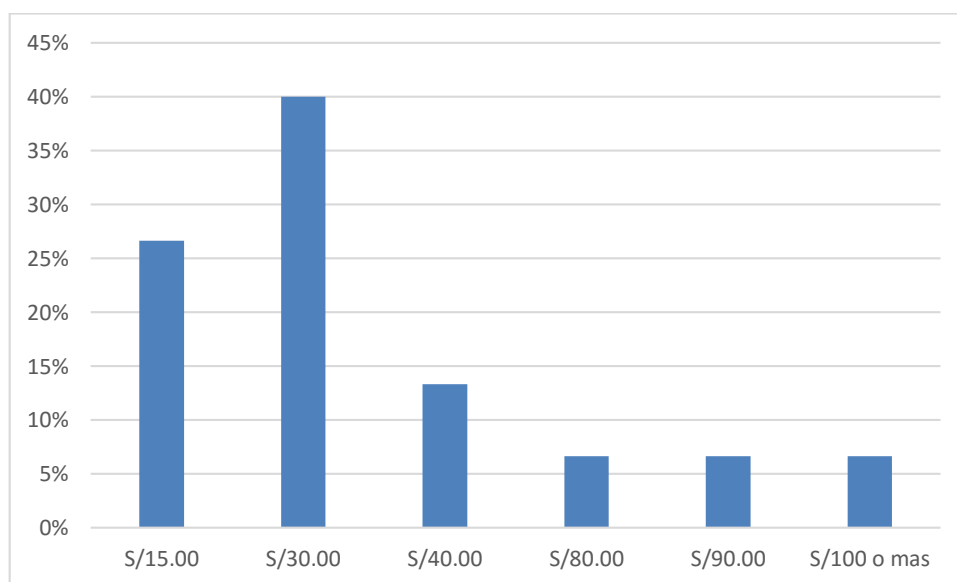


Pregunta 7: ¿Cuál es el monto que paga usted por el servicio del agua?

*Tabla 13: Monto de pago por el servicio del agua*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
S/15.00	4	27%
S/30.00	6	40%
S/40.00	2	13%
S/80.00	1	7%
S/90.00	1	7%
S/100 o mas	1	7%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 24: Monto de pago por el servicio de agua*

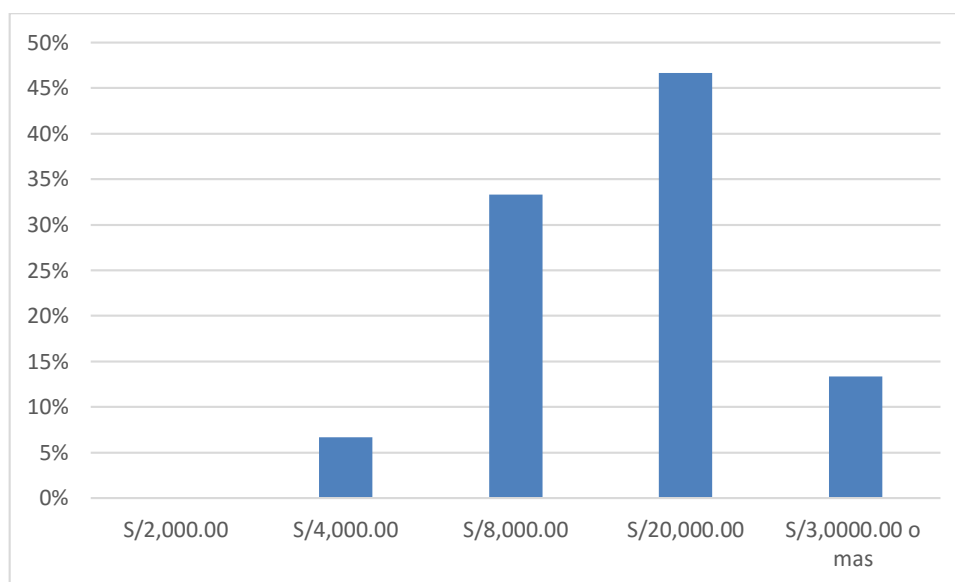


Pregunta 8: ¿Cuánto cree usted que costaría instalar un sistema eólico?

*Tabla 14: Costo que creen los pobladores por la instalación de un sistema eólico*

Valoración	Frecuencia	Porcentaje
S/2,000.00	0	0%
S/4,000.00	1	7%
S/8,000.00	5	33%
S/20,000.00	7	47%
S/30,000.00 o mas	2	13%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 25: Costo que creen los pobladores por la instalación de un sistema eólico*

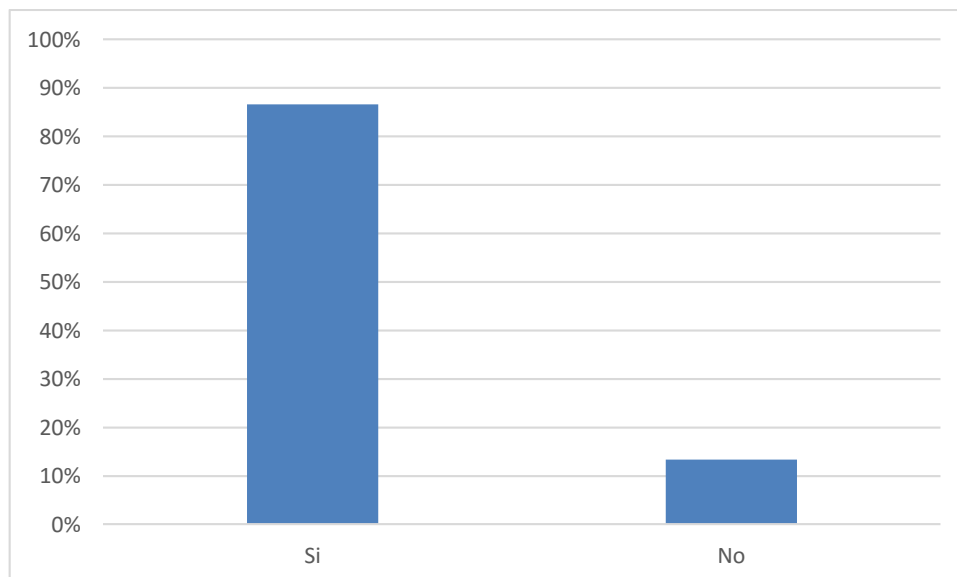


Pregunta 8: ¿Cree usted que este proyecto sería beneficioso para la zona?

*Tabla 15: El proyecto sería beneficioso para la zona*

Valoracion	Frecuencia	Porcentaje
Si	13	87%
No	2	13%
TOTAL	15	100%

*Ilustración 26: El proyecto sería beneficioso para la zona*



#### **4.1.2 Alcances generales**

Consumo de agua diaria por habitante.

Según las encuestas realizadas en el centro poblado La Ranchería Bodegones estiman que el consumo promedio de agua es de 100 lt/d. (ver tabla 10)

Los niveles de consumo de agua diario por persona según la OMS (Organización Mundial de Salud), considera que para el uso doméstico (beber, cocinar, higiene, limpieza. Y otros) es de 50L/h/d, si se consideran actividades de agricultura el consumo es de 100L/h/d.

Mucho más específico, los niveles de consumo de agua según la Norma Técnica “Abastecimiento de Agua y Saneamiento para Pobladores Rurales y Urbanos – Marginales” del MINSA (Ministerio de Salud) lo establece por regiones:

- a) Costa: Norte y Sur, 70 y 120L/h/d
- b) Sierra: Más de 1500 msnm y menos de 1500 msnm, 50 y 60 L/h/d
- c) Selva: 70L/h/d

Según los parámetros que establecen estas dos instituciones, se considera como propuesta 100L/h/d, por ser un parámetro establecido por MINSA para la zona norte de la costa.

#### **4.2 Crecimiento poblacional**

La tasa de crecimiento poblacional por departamento en el Perú, desde el año 2007 hasta 2017 según el Instituto Nacional de Estadística.

*Tabla 16: Crecimiento poblacional del 2007 al 2017*

Departamento	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2007-2017
Total	2,2	2,9	2,5	2,2	1,5	0,7
Amazonas	2,9	4,6	3,0	2,4	0,8	0,1
Áncash	1,5	2,0	1,4	1,2	0,8	0,2
Apurímac	0,5	0,6	0,5	1,4	0,4	0,0
Arequipa	1,9	2,9	3,2	2,2	1,6	1,8
Ayacucho	0,6	1,0	1,1	-0,2	1,5	0,1
Cajamarca	2,0	1,9	1,2	1,7	0,7	-0,3
Prov. Const. del Callao	4,6	3,8	3,6	3,1	2,2	1,2
Cusco	1,1	1,4	1,7	1,8	0,9	0,3
Huancavelica	1,0	0,8	0,5	0,9	1,2	-2,7
Huánuco	1,6	2,1	1,6	2,7	1,1	-0,6
Ica	2,9	3,1	2,2	2,2	1,6	1,8
Junín	2,1	2,7	2,2	1,6	1,2	0,2
La Libertad	2,0	2,8	2,5	2,2	1,7	1,0
Lambayeque	2,8	3,8	3,0	2,6	1,3	0,7
Lima	4,4	5,0	3,5	2,5	2,0	1,2
Loreto	2,8	2,9	2,8	3,0	1,8	-0,1
Madre de Dios	5,4	3,3	4,9	6,1	3,5	2,6
Moquegua	2,0	3,4	3,5	2,0	1,6	0,8
Pasco	2,0	2,3	2,0	0,5	1,5	-1,0
Piura	2,4	2,3	3,1	1,8	1,3	1,0
Puno	1,1	1,1	1,5	1,6	1,1	-0,8
San Martín	2,6	3,0	4,0	4,7	2,0	1,1
Tacna	2,9	3,4	4,5	3,6	2,0	1,3
Tumbes	3,7	2,9	3,4	3,4	1,8	1,2
Ucayali	6,8	5,9	3,4	5,6	2,2	1,4
Provincia de Lima 1/	5,2	5,7	3,7	2,7	2,0	1,2
Región Lima 2/	2,0	1,9	1,9	1,3	1,5	0,8

**Fuente: INEI**

La tasa de crecimiento poblacional para el departamento de Lambayeque durante el 2007 al 2017 es de 0.7.

### 4.3 Tiempo de vida del proyecto

El periodo del proyecto según la Norma Técnica “Abastecimiento de Agua y Saneamiento Para Pobladores Rurales y Urbanos – Marginales” del MINSA (Ministerio de Salud), es de 20 a 30 años de proyección para proyectos con equipos de bombeos y pozos, Tabla 17, es por ello que se estimara para un periodo de 30 años.

*Tabla 17: Números de años que duran los proyectos a los que son aplicados*

a. Obras de captación.	20 a 30 años.
b. Pozos.	20 a 30 años.
c. Planta de tratamiento, reservorios	20 a 30 años.
d. Tuberías de conducción y de distribución.	20 a 30 años.
e. Equipos de bombeo.	5 a 10 años.

**Fuente: OMS**



## CAPITULO V: CALCULOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1 Pozo de agua

El pozo de agua que se encuentra en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones es de tipo pozos excavadores de forma vertical y circular el cual fue construido anteriormente por FONCODES.

Dimensiones

Profundidad: 7m

Diámetro: 2.2m

Nivel de agua: 1.8m

Estos datos fueron medidos en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones, por el tesista y se corrobora con las preguntas realizadas al vigilante encargado.

### 5.2 Cálculos

#### 5.2.1 Calculo del crecimiento poblacional a 30 años

$$P_f = P_a(1 + r)^n$$

$$P_f = 200(1 + 0.015)^{30}$$

$$P_f = 312.6 \equiv 313 \text{ habitantes}$$

Donde:

$P_f$  = Población futura

$P_a$  = Población actual

$r$  = Coeficiente de crecimiento anual

$n$ = número de años a la que se proyecta

El crecimiento poblacional en un periodo de 30 años, que es el tiempo de duración de proyecto de sistema eólico, es de 313 personas, por lo que indica que dentro de 30 años la población aumentara en 113 habitantes más.

### 5.2.2. Calculo de capacidad de la cisterna

#### Volumen de la cisterna

Datos de la cisterna

a) Diámetro : 3.3m

b) Altura : 2.8m

Los datos fueron tomados de la cisterna que está construida en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones.

Volumen de la cisterna. ( $V_c$ )

$$V_c = \text{area de la Base} * \text{altura}$$

$$V_c = \pi R^2 * H$$

$$V_c = \pi \left( \frac{3.3}{2} \right)^2 * 2.8 = 23.948(1000\text{litros}) = 23948 \text{ litros (aprox)}$$

La capacidad de la cisterna es de 23948 litros

### 5.2.3. Calculo para determinar la electrobomba

#### a) Características del fluido a transportar (H<sub>2</sub>O)

$$\text{Densidad del agua } (\rho) = 1\text{gr/cm}^3$$

$$\text{Viscosidad dinamica del agua } (\mu) = 1.519 * 10^{-3}\text{Kg/m.s}$$

## b) Características de la tubería para el sistema

Materiales de la tubería: PVC

Diámetro de la tubería de aspiración y impulsión: 1" = 0.0254m

Rugosidad del material ( $\epsilon$ ) =  $3.0 \times 10^{-7}m$  (según tabla 18)

Tabla 18: Rugosidad

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$

Fuente: Ingeniería grafica

Totalidad de metraje en las tuberías: 19 metros (4 metros por la tubería de aspiración y 15 metros de la tubería de impulsión).

## c) Detalle de accesorios en el sistema ( según tabla N° 19)

3 codos de 90° (con coeficiente de resistencia,  $k' = 1.5$ )

Tabla 19: Coeficientes de resistencia para codos y accesorios

Diámetro del tubo, en pulgadas	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	29
Tubo curvado $R = 3D$ $R = 4D$						0,04 0,025								
Codo de 90°	1,5	1,0	0,8	0,7	0,55	0,3	0,27	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,20
Codo largo de 90°	0,75	0,4	0,3	0,25	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07
Codo de 45°	0,35	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,28	0,25	0,25	0,25
Codo largo de 45°	0,25	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12
Curva de 180°	1,5	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19
Curva de 180° de gran radio	0,8	0,5	0,4	0,35	0,3	0,2	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10
Tes-Flujo principal						0,9								
Flujo derivada	1,8	1,4	1,2	1,1	1,0									
Válvula de compuerta, abierta		0,2-0,3	0,15-0,25	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
cerrada 1/4		0,8 a 0,2							0,15					
cerrada 1/2		4,0 a 0,8							0,6					
cerrada 3/4		16,0 a 2,0							1,5					
Válvula esférica (globo)	12,5	8,5	7,5	6,5	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Válvula de retención (check)	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Válvula de pie							0,8							
Colador		1,5 a 1,0						1,0 a 0,4						

**Nota:** Estos valores son necesariamente aproximados porque el valor específico variara con el tipo de accesorio (por ejemplo, roscado o con brida), las dimensiones geométricas reales y el sistema de construcción (Por ejemplo, forjado o soldado)

**Fuente:** Ing. Nelver Escalante

#### d) Velocidad en la tubería

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4(1.67 * 10^{-3})}{\pi(0.0254^2)} = 3.3 \text{ m/s}$$

Donde:

$v$ : Velocidad del fluido ( $\frac{m}{s}$ )

$\rho$ : Densidad del agua ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$D$ : Diametro de la tubería (m)

$\mu$ : Viscosidad dinamica ( $\frac{Kg}{m.s}$ )

Si,  $\#Re > 3000$ , entonces es flujo turbulento

**f) Cálculo del número de Reynolds en la tubería**

$$\#Re = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{(1 * 10^3)(0.0254)(3.3)}{1.519 * c^{-3}} = 55181 \text{ (flujo turbulento)}$$

Donde:

$v$ : Velocidad del fluido ( $\frac{m}{s}$ )

$\rho$ : Densidad del agua ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$D$ : Diametro de la tuberia (m)

$\mu$ : Viscocidad dinamica ( $\frac{Kg}{m.s}$ )

**g) Factor de fricción**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{\#Re \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\frac{3.10^{-7}}{0.0254}}{3.71} + \frac{2.51}{55181.04 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0204$$

**h) Altura útil**

$$H = H_g + \sum H_p$$

Donde:

$H$ : Altura util de la bomba (m)

$H_g$ : Altura geodesica(m)

$\sum H_p$  : *Perdidas en tuberías y accesorios (m)*

Sabiendo que:

$$\sum H_p = \sum H_{p,tuberías} + \sum H_{p,accesorios}$$

$$\sum H_p = \sum \left( f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \right) + \sum k' v^2 / 2g$$

$$\sum H_p = \left( f \frac{L}{D} + k' \right) v^2 / 2g$$

$$\sum H_p = K Q^2$$

**i)  $f \frac{L}{D}$ , para las tuberías del sistema:**

Tuberías de 1in:

$$f \frac{L}{D} = 0.0204 \frac{19}{0.0254} = 15.26$$

Donde:

$f$ : *factor de fricción*

$L$ : *longitud de la tubería (m)*

$D$ : *diametro de la tubería (m)*

**j)  $k'$ , para los accesorios en cada una de las tuberías del sistema**

**Tuberías de 1in:**

$$k' = 3 \text{ codos de } 90^\circ$$

$$k' = (3 * 1.5) = 4.5$$

Donde:

$k'$ : Coeficiente de resistencia para codos y accesorios

**k) Calculo el  $\sum H_p$**

$$\sum H_p = H_{p,tuberias\ de\ 1in} + H_{p,accesorios.de\ 1in}$$

$$\sum H_p = \left( f \frac{L}{D} + k' \right) \frac{v_{tuberias\ 1\ in}^2}{2g}$$

$$\sum H_p = (15.26 + 4.5) \frac{3.3^2}{2(9.81)}$$

$$\sum H_p = 10.96m$$

Donde:

$f$ : Factor de friccion

$L$ : Longitud de la tuberia (m)

$D$ : Diametro de la tuberia (m)

$k'$ : Coeficiente de resistencia para codo y accesorios

$v_{tuberias\ 1\ in}$ : Velocidad en la tuberia de 1in ( $\frac{m}{s}$ )

$g$ : Constante de gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

**l) Calculando la altura útil**

$$H = H_g + \sum H_p$$

Sabiendo que:

$$H_g = 15 + 4 = 19m(\text{altura geodesica})$$

$$H = 19 + 10.96 = 29.96 = 30m$$

**m) Encontrando la ecuación que defina la curva del sistema de bombeo**

$$\sum H_p = KQ^2, \quad Q, \text{ expresado en } m^3/h$$

$$10.96 = K(6)^2$$

$$K = 0.304$$

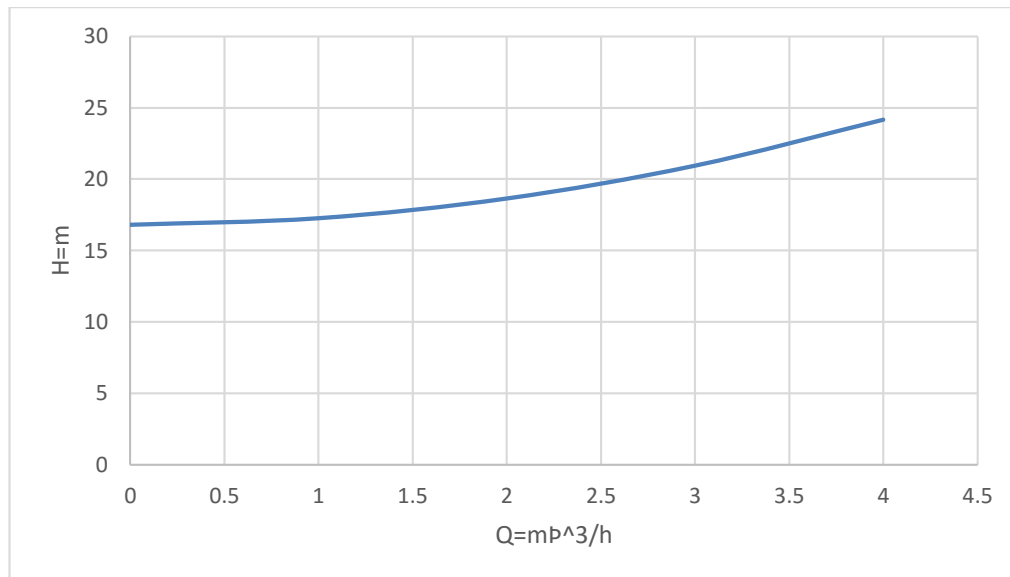
Entonces la ecuación para hallar la curva del sistema a trabajar quedaría de la siguiente manera

$$H = 19 + 0.304Q^2$$



#### n) Curva del sistema

*Ilustración 27: Curva del sistema*



***Fuente: propia***

#### o) Calculando la potencia consumida por la bomba

$$P = \frac{\rho g Q H}{764 * \eta}$$

$$P = \frac{(1 * 10^3)(9.81)(1.67 * 10^{-3})(30)}{746 * 0.6}$$

$$P = 1.09HP \equiv 1.5HP$$

Donde:

*H: Altura util de la bomba (m)*

*Q: Caudal para cada  $H_h$  ( $\frac{m^3}{s}$ )*

$\rho$ : Densidad ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$g$ : Constante de gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

$\eta$ : eficiencia en la bomba que para efecto de calculo se estima en 60%

El resultado se encuentra dentro del rango de potencia de la bomba que seleccionaremos de una potencia de 1.5HP

#### p) Características de la bomba a usar

$$\text{Caudal: } \frac{100L}{\text{min}} = \frac{9.6m^3}{h} = 1.6 * 10^{-3} m^3/s$$

Altura manométrica total: 30m

Marco Pedrollo

Modelo CPm 650M

Tabla 20: Características de la bomba

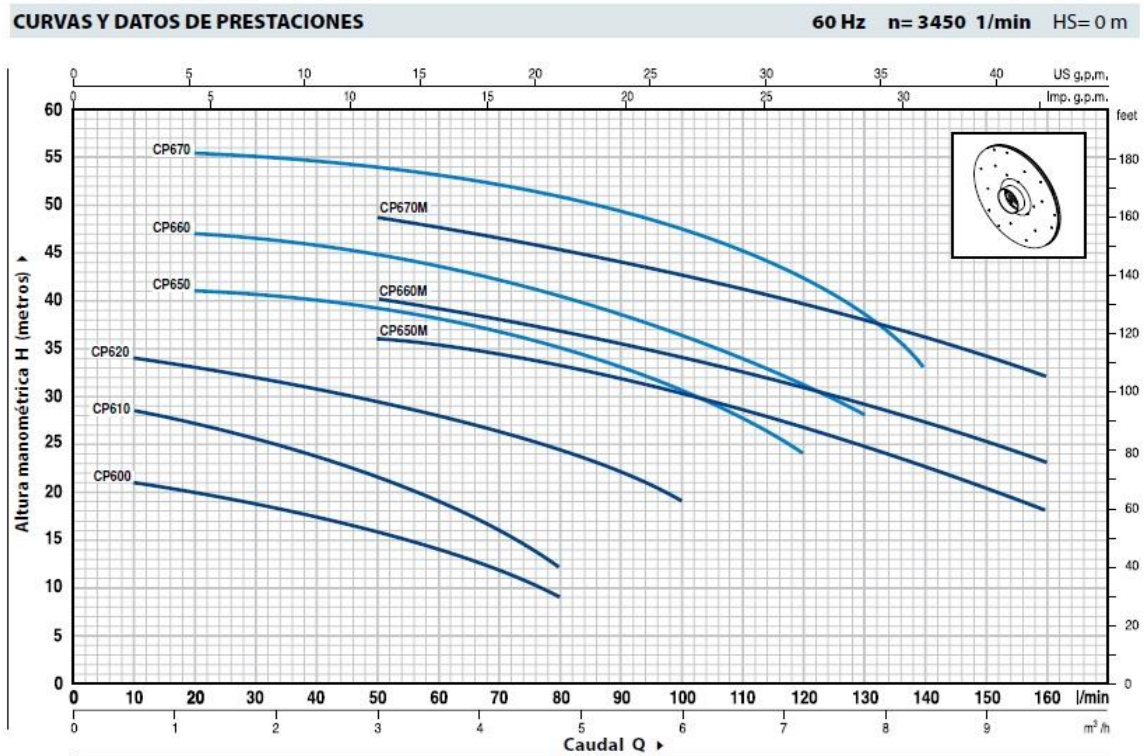
MODELO		POTENCIA		Q	m³/h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9									
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19	16	12									
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19							
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24					
CPm 660	CP 660	1.5	2	H metros	48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28				
CPm 670	CP 670	2.2	3		57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33			
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18	
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23	
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

**Fuente: Catalogo Pedrollo**

Ilustración 28: Curva de la bomba seleccionada



**Fuente: Catalogo Pedrollo**

#### q) Consumo promedio de la población ( $C_p$ )

El número de habitantes del Centro Poblado La Ranchería Bodegones, es de 200 personas actualmente, considerando el crecimiento poblacional a 30 años de 313 personas, y que cada uno consume un promedio de 100 litros de agua diario:

$$C_p = N_h * C_d$$

$$C_p = 313 * 100L$$

$$C_p = 31300L$$

Donde:

$C_p$ : Consumo promedio de la poblacion (litros)

$C_d$ : Consumo diario por persona

$N_h$ : Numero de habitantes

Número de veces por día que trabajará la bomba para suministrar agua a la cisterna.

$$N_{veces} = \frac{C_p}{C_{cisterna}}$$

$$N_{veces} = \frac{31300litros}{23948litros}$$

$$N_{veces} = 1.3 \equiv 2$$

Donde:

$N_{veces}$ : numero de veces de bombeo

$C_p$ : consumo promedio de la poblacion (litros)

$C_{cisterna}$ : capacidad de la cisterna (litros)

Tiempo de trabajo de la bomba para suministrar agua a la cisterna, por día

a) Para bombear los primeros 23948 litros

$$t = C_p / Q_{bomba}$$

$$t = \frac{23948 \text{ litros}}{100 \text{ litros/min}} = 239.48min$$

b) Para bombear, 9352 litros

$$t = C_p / Q_{bomba}$$

$$t = \frac{7352 \text{ litros}}{100 \text{ litros/min}} = 73.52 \text{ min}$$

Convirtiendo a horas:

$$T = 5 \text{ h } 13 \text{ min}$$

#### r) Energía que consume la bomba por día

$$E_{bomba} = P_{bomba} * t$$

$$E_{bomba} = 1100 * \frac{313}{60}$$

$$E_{bomba} = 5738.3 \equiv 5.8 \frac{KWh}{dia}$$

Entonces la energía consumida anual es (CEA):

$$CEA = E_{bomba} * 1.2 * 365$$

$$CEA = 5.8 * 1.2 * 365 \equiv 2540.4 KWh/año$$

Donde:

$E_{bomba}$ : Energía de la bomba  $\frac{Wh}{dia}$

$P_{bomba}$ : Potencia de la bomba (W)

$t$ : Tiempo de trabajo de la bomba

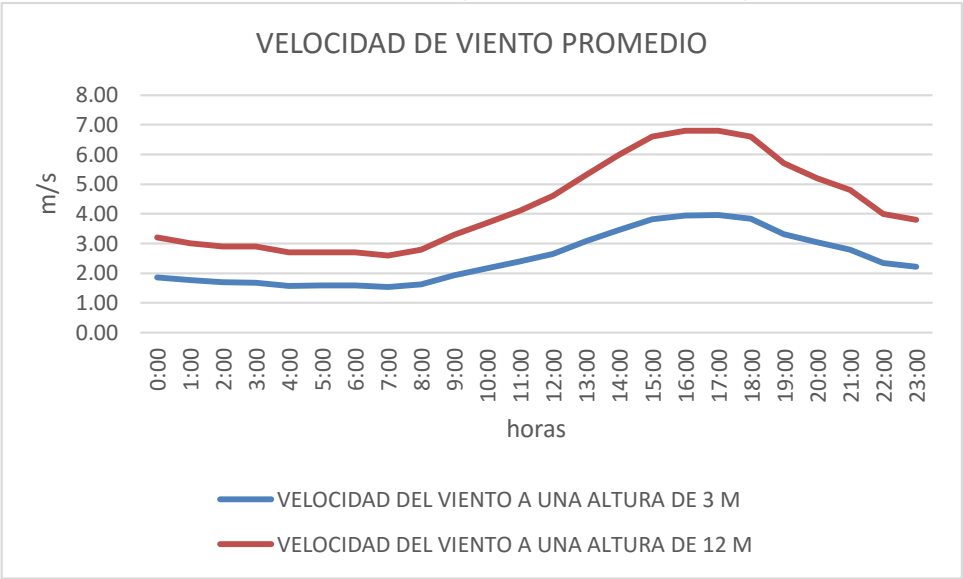
1.2: Margen de seguridad de carga

#### 5.2.4. Cálculo de la velocidad promedio del viento

La velocidad promedio es la utilizada para hallar la potencia eólica.

Primeramente analizamos la información de la velocidad del viento que se muestra en anexo N° 2, estos datos fueron proporcionado por la estación meteorológica del SENAMHI, tipo automática a 3 metros de altura, durante todo el año 2018, pero se trabajó con el mes de julio, por ser el mes donde el viento limitado. Con las mediciones hechas por horas, se obtiene los valores de velocidades promedio como se observa en la Tabla 21.

*Ilustración 29: Velocidad promedio del mes de julio*



**Fuente: Estación SENAMHI - LAMBAYEQUE**

Tabla 21: Velocidades del viento promedio del mes de julio

HORA	VELOCIDAD DEL VIENTO A UNA ALTURA DE 3m (m/s)	VELOCIDAD DEL VIENTO A UNA ALTURA DE 12 M (m/s)
0:00	1.86	3.20
1:00	1.76	3.00
2:00	1.70	2.90
3:00	1.67	2.90
4:00	1.57	2.70
5:00	1.58	2.70
6:00	1.59	2.70
7:00	1.54	2.60
8:00	1.63	2.80
9:00	1.93	3.30
10:00	2.16	3.70
11:00	2.40	4.10
12:00	2.65	4.60
13:00	3.08	5.30
14:00	3.46	6.00
15:00	3.81	6.60
16:00	3.94	6.80
17:00	3.96	6.80
18:00	3.83	6.60
19:00	3.32	5.70
20:00	3.04	5.20
21:00	2.79	4.80
22:00	2.35	4.00
23:00	2.21	3.80

Fuente: Estación SENAMHI – LAMBAYEQUE

Las mediciones para la velocidad del viento fueron tomadas a 3m de la Estación Lambayeque, tipo automático SENAMHI.

La altura de los 12 metros, es la altura donde se instalara el aerogenerador ya que en el lugar cuentan con un molino de viento que no funciona. La velocidad del viento a 12 metros es determinado por la ley exponencial de Hellman.

$$V_h = V_{ref} * \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

Donde:

$V_h$ : Velocidad del viento a 12 metros (es la incognita)

$V_{ref}$ : Velocidad del viento a 03 metros (es obtenido por el cuadro)

$h = 12m$

$h_{ref} = 03m$

$\alpha = 0.4$  (coeficiente de rugosidad)

*Tabla 22: Coeficiente de rugosidad*

Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0.08 - 0.12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0.08$
Terrenos pocos accidentados	$\alpha = 0.13 - 0.16$
Zonas rusticas	$\alpha = 0.20$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0.20 - 0.26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0.24 - 0.40$

**Fuente, Atlas eólico SENAMHI**



Así obtenemos la velocidad del viento a una altura de 12 metros. Observamos que a mayor altura, mayor velocidad del viento y por consecuencia mayor generación de energía eléctrica.

El viento sigue una distribución del Weibull, pero en este caso para simplificar los cálculos se estima que la velocidad del viento se distribuye según el Historial de Cargas de la Tabla N°23. Sabiendo que el aerogenerador trabaja 17 horas ya que sobrepasan los 3m/s según la tabla N°21, porque los aerogeneradores comerciales empiezan a producir energía eléctrica a partir de los 3m/s según los catálogos de fabricación de aerogeneradores “NOHANA3000”, como podemos observar en la tabla N°23, que las 17 horas superan los 3m/s que son repartidos a continuación y la ilustración N°30, se calcula la velocidad promedio:

*Tabla 23: Datos para el Histograma de Carga*

INTERVALOS DE VELOCIDADES	CANTIDADES DE VELOCIDADES	VELOCIDAD PROMEDIO DE LOS INTERVALOS	PORCENTAJE DE LAS VELOCIDADES
3 – 4 m/s	5	3.4	29.41%
4 – 6 m/s	7	4.81	41.18%
6 – 25 m/s	5	6.56	29.41%

***Fuente: Propia***

- El tiempo que trabaja el aerogenerador son 17 horas.
- Intervalos de velocidades: de las 17 horas se tomó los 3 grupos con mayores velocidades, en este caso; 3 – 4 m/s, 4 – 6 m/s, 6 – 25 m/s.
- Cantidades de velocidades: de los tres intervalos cuantas velocidades tiene cada uno y por lo tanto significa igual número de horas de trabajo.

d) Porcentaje de velocidades: se realiza para conocer el Histograma de Cargas, se obtiene para cada intervalo.

$$\text{porcentaje de velocidades} = \frac{\text{cantidades de velocidades} * 100\%}{\text{horas de trabajo del aerogenerador}}$$

Al conocer el Histograma de Cargas se calcula la velocidad ponderada según su probabilidad.

$$V_p = 3.4 * 0.2941 + 4.8 * 0.4118 + 6.56 * 0.2941$$

$$V_p = 4.91 \text{ m/s}$$

Es la velocidad de diseño que tomaremos para nuestro sistema eólico.

#### 5.2.5. Cálculo de la Potencia Eólica ( $P_{eolic}$ )

Primeramente dimensionamos el diámetro del rotor para el aerogenerador, en el cual la más viable es de 4.1 metros ya que es una medida comercial de rotores según la fábrica de aerogeneradores “ALFASOLAR”. Entonces:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \pi * \frac{(4.1)^2}{4} = 13.20 \text{ m}^2$$

Donde:

$A$  = area de barrido del rotor ( $\text{m}^2$ )

$d$  = diametro del rotor ( $\text{m}$ )

Reemplazando:

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

$$P_{eolic} = \frac{1}{2} * 1.164 * 13.20 * 4.91^3$$

$$P_{eolic} = 909.37W$$

Donde:

$P_{eolic}$ : potencia eolica (W)

$\rho$ : densidad del aire ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

A: area ( $m^2$ )

v: velocidad ( $\frac{m}{s}$ )

Con el mismo método de cálculo, se determina la potencia nominal (que es la potencia máxima), teniendo como dato la velocidad máxima del aerogenerador que es de 6.8m/s, obteniendo como resultado 2415.59W; con este resultado se realiza un correcto seleccionamiento del aerogenerador.

Tabla 24: Descripción de parámetros del aerogenerador

Características	Datos
Modelo	GEH-5000-DR-48
Potencia nominal	5KW
Voltaje nominal	48 Vcc
Diámetro del aspa	4.1 m
Velocidad del viento inicial	3.0 m/s
Velocidad del viento Nominal	12 m/s
Velocidad del Viento Máxima	25 m/s
Velocidad de rotación nominal	500RPM
Velocidad máxima rotacional	550RPM
Numero de cuchillas	3
Longitud de la hojas	2.02 m
Material de la cuchilla	FRP
Generador	Generador de fases PM
Sistema de frenado	Sistema de control electromagnético
Tipo	Rotor a favor del viento
Orientación	Eléctrica
Control de guiñada	pasivo
Peso total	120 Kg
Altura de la torre	12 m
Garantía	5años/2años

**Fuente: alfasolar**

#### 5.2.6. Cálculo de la Potencia Mecánica del Rotor ( $P_{mec.rot}$ )

$$P_{mec.rot} = C_p(P_{eolica})$$

$$P_{mec.rot} = 0.59(909.37)$$

$$P_{mec.rot} = 536.53W$$

Donde:

$P_{mec.rot}$ : potencia mecanica del rotor

$C_p$ : coeficiente de potencia 0.59 (para geracion de electricidad)

$P_{eolica}$ : potencia eolica (W)

### 5.2.7. Cálculo de la Potencia Eléctrica

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

$$P_{elec} = 536.53 * 0.95$$

$$P_{elec} = 509.70W$$

Donde:

$P_{elec}$ : potencia electrica (W)

$P_{mec.rot}$ : potencia mecanica del rotor

$R_{sm}$ : rendimiento del sistema mecanico 0.95

### 5.2.8. Cálculo de la Energía del aerogenerador ( $E_A$ )

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

$$E_A = 509.70 * 17 * 0.95$$

$$E_A = 8231.66Wh \equiv 8.2KWh/dia$$

Entonces la producción de energía anual estimada por la turbina (PEEA) es:

$$PEEA = 8.2 * 365 \equiv 2993KWh/año$$

$$\frac{PEEA}{CEA} > 1$$

$$\frac{2993}{2540.4} > 1$$

$$1.17 > 1$$

Donde:

$P_{elec}$ : potencia electrica (W)

$H_t$ : horas de trabajo (horas)

$R_{se}$ : rendimiento del sistema electrico 0.95

$PEEA$ : Produccion de energia anual estimada por la turbina ( $\frac{KWh}{año}$ )

$CEA$ : Energia consumida anual estimada por la bomba ( $\frac{KWh}{año}$ )

Por lo tanto la turbina producirá más energía que la consumida y la población tendrá saldo a favor. Por lo tanto cubre la necesidad del Centro poblado La Ranchería Bodegones.

### 5.2.9. Baterías

Cualquier batería está hecha de un número de células conectadas en serie, por lo que su voltaje suma un valor estándar, como 12 voltios y 24 voltios, según la fábrica Solostocks, las baterías no deben superar el 70% de su capacidad nominal.

#### 5.2.9.1. Capacidad total de las baterías ( $C_t$ )

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

$$C_t = \frac{5800 * 1.2 * 2}{48 * 0.2} = 1450Ah$$

Donde:

$C_t$  = Capacidad total de las baterías ( $\frac{Wh}{dia}$ )

$C_B$ : Capacidad de la batería

$n^\circ$ : 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%

#### 5.2.9.2. Números de Baterías

$$n^\circ = \frac{C_t}{C_B}$$

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

$$n^\circ = 12.08 \equiv 12 \text{ baterías}$$

$C_t$ : capacidad total de las baterías

$C_B$ : Capacidad de la batería

Se seleccionó 12 unidades de baterías de 120Ah obteniendo una capacidad total de 1440, ya que es el más próximo 1450Ah.

Tabla 25: Descripción de parámetros de la batería

Características	AGM Power 120
Voltaje (V)	12
Número de células	6
Dimensiones (mm)	330x173x217
Peso (Kg)	28.5
Capacidad en C100 (A)	120
Capacidad en C10 (A)	100
Método de carga (77°C)	
Uso cíclico (V)	14.4-15.0
Corriente inicial (A)	25
Temperatura de compensación (mV/°C)	-30
Uso flotación (V)	13.6-13.8
Temperatura de compensación (mV/°C)	-20

Fuente: Catalogo solostocks pág. 2

#### 5.2.10. Numero de Reguladores

$$N_{Reg} = \frac{I_{REG}}{i_{reg}}$$

$$N_{Reg} = \frac{70}{62.8}$$

$$N_{Reg} = 1.11 \equiv 1 \text{ Regulador}$$

Donde:

$I_{REG}$ : Corriente maxima que debe soportar el regulador (A)

$i_{reg}$ : Corriente de cada regulador (A)



Se determina la corriente de salida del regulador

$$i_{reg} = i_{NA} * 1.25$$

$$i_{NA} = P_{NA}/V_{NA}$$

$$i_{NA} = \frac{2416}{48} = 50.3A$$

Entonces:

$$i_{reg} = 50.3 * 1.25 \equiv 62.8A$$

Donde:

1.25: *Factor de seguridad del regulador*

$i_{NA}$ : *Corriente nominal del aerogenerador (A)*

$P_{NA}$ : *Potencia nominal del aerogenerador (W)*

$V_{NA}$ : *Voltaje nominal del aerogenerador (V)*

Por lo tanto se seleccionó un regulador de 70A con una tensión nominal de 48V.

*Tabla 26: Descripción de parámetros del Regulador*

Características	Datos
Modelo del producto	SK7048D
voltaje	48V
Voltaje de entrada de energía Solar o eólica	≤100V
Corriente eléctrica de carga	70A
Voltaje desconectado de sobretensión	64V
Perdida de no carga	≤13mA
Caída de voltaje del circuito de carga	≤0.3V
Caída de voltaje del circuito de descarga	≤0.16V
Voltaje de carga absorbida	14.4V
Voltaje de carga igualado	14.6V
Duración de carga de absorbido	2 horas
Diámetro de alambre de instalación	≥25mm <sup>2</sup>
Temperatura de almacenamiento	-30 – 80°C
Peso total (Kg)	1.33Kg
Dimensiones	220x153x77mm

*Fuente: Catalogo SoloStocks, Pág. 152*

#### 5.2.11. Numero de inversores

##### a) Potencia del Inversor

Potencia de la bomba (W): 1100 W

$$P_{inv} = P_B * 1.5$$

$$P_{inv} = 1100 * 1.5 \equiv 1650W$$

$P_{inv}$ : potencia del inversor a seleccionar (W)

$P_B = \text{potencia de la bomba (W)}$

## b) Numero de Inversores

$$N_{inversor} = P_B / P_{inv}$$

$$N_{inversor} = 1100 / 1650$$

$$N_{inversor} = 0.67 \equiv 1 \text{ inversor}$$

Por lo tanto se seleccionó un inversor con una potencia de salida de 2000W, una tensión de entrada de 48Vcd y tensión de salida 220ca.

*Tabla 27: descripción de parámetros del Inversor (hibrido)*

Características	Datos
<b>Modelo</b>	SUN20000L-2KTL
<b>Potencia de salida</b>	2000W
<b>Potencia de entrada</b>	3000Wp
<b>Potencia aparente máximo</b>	2200VA
<b>Tensión de entrada</b>	48Vcd
<b>Eficiencia</b>	97%
<b>Tensión de salida</b>	220Vca-230Vca
<b>Peso</b>	7.07Kg
<b>Dimensiones</b>	468x262x105mm
<b>Salidas</b>	2

**Fuente: Catalogo HUAWEI**

### 5.2.12. Corriente del Conductor

Primeramente debemos hallar la máxima demanda total ( $M_{dt}$ ), para el dimensionamiento que contara con una bomba de 1.5 HP.

$$Potencia = 1.5Hp * \frac{746w}{1Hp}$$

$$Potencia = 1.1Kw \equiv 1100W$$

Calculando la máxima demanda total ( $M_{dt}$ ).

$$M_{dt} = P * fd$$

$$M_{dt} = 1100 * 0.8 \equiv 880W$$

Donde:

$M_{dt}$ : Maxima demanda total (W)

$P$ : Potencia (W)

$fd$ : Factor de demanda (0.8)

**a) Corriente del conductor, desde el generador hasta el Inversor ( $I_{cc}$ ).**

$$I_{cc} = \frac{P}{V}$$

$$I_{cc} = \frac{509.7}{48}$$

$$I_{cc} = 10.61A$$

Donde:

$I_{cc}$ : Corriente del conductor para el Inversor (A)

$P$ : Potencia eléctrica del aerogenerador (W)

$V$ : Voltaje = 48V

Tabla28: Selección en mm<sup>2</sup> del conductor Aerogenerador-Inversor

Sección del conductor de cobre según IRAM 20183	AWG	Corriente máxima admisible
S (mm2)		I (A)
1	18	9.6
1.5	16	13
2.5	14	18
4	12	24
6	10	31
10	8	43
16	6	59
25	4	77
35	2	96
50	1	116
70	1/0	148

Fuente: Catalogo Indeco

El conductor seleccionado será de 10mm<sup>2</sup> calibre 8, por el aire.

**b) Corriente del conductor, desde el Inversor hasta la Bomba**

$$I_{CB} = \frac{M_D}{K * V * \cos \varphi}$$

$$I_{CB} = \frac{895.2}{1 * 220 * 0.85}$$

$$I_{CB} = 4.78 \text{ A}$$

Se considera el 25% de reserva, para ser carga especial.

$$I_{cb} = 4.78 + (4.78 * 0.25)$$

$$I_{cb} = 5.975 \text{ A}$$

Donde:

$I_{CB}$ : Corriente del conductor para la bomba (A)

$M_D$ : Maxima demanda total (W)

$K$ : Monofasica = 1

$V$ : Voltaje = 220V

$\cos \varphi$ : Factor de potencia = 0.85

*Tabla 29: Selección en mm<sup>2</sup> del conductor Inversor-Bomba*

Sección del conductor de cobre según IRAM 20183	AWG	Corriente máxima admisible
S (mm2)		I (A)
1	18	9.6
1.5	16	13
2.5	14	18
4	12	24
6	10	31
10	8	43
16	6	59
25	4	77
35	2	96
50	1	116
70	1/0	148

**Fuente: Catalogo Indeco**

El conductor seleccionado será de 2.5mm<sup>2</sup> calibre 14, por el aire.

### 5.2.13. Caída de Tensión

a) Caída de Tensión, desde el generador hasta las Baterías

$$\Delta V = \frac{I_{cc} * \rho * L}{S}$$

$$\Delta V = \frac{10.61 * 1.25 * 0.0175 * 20}{10}$$

$$\Delta V = 0.46V$$

Donde:

$\Delta V$ : Caída de tensión de la línea (Voltios)

$I_{cc}$ : Corriente del conductor (Voltios)

$\rho$ : Resistividad de CU.

$S$ : Área del conductor ( $mm^2$ )

$L$ : Longitud de la línea (m)

1.25: Factor de seguridad del conductor

Por lo tanto la selección del conductor es correcta porque no sobrepasa la caída de tensión del 2.5% (1.2V) del 48V.

#### **b) Caída de Tensión, desde el Inversor hasta la Bomba**

$$\Delta V = \frac{K * I_{cb} * \rho * L * \cos \varphi}{S}$$

$$\Delta V = \frac{1 * 5.975 * 0.0175 * 15 * 0.85}{2.5}$$

$$\Delta V = 0.53V$$

Donde:

$\Delta V$ : Caída de tensión de la línea (Voltios)

$I_{cb}$ : Corriente del conductor (A)

$\rho$ : Resistividad de CU.

$K$ : Monofasica = 1

$S$ : Area del conductor ( $\text{mm}^2$ )

$L$ : Longitud de la linea (m)

Por lo tanto la selección del conductor es correcta porque no sobrepasa la caída de tensión del 2.5% (5.5V) del 220V.

### **5.3. Plan de mantenimiento**

El sistema eólico y el sistema de bombeo requieren de un mantenimiento adecuado, por lo que si esto no se realiza el sistema tendrá problemas en un mediano y largo plazo. Hay tareas de mantenimiento que de no llevarse a cabo conducirán simplemente a una reducción del rendimiento del sistema, y por otra parte las omisiones podrían provocar el deterioro de algunos de los elementos o el acortamiento de su vida útil. En el caso del pozo es un mantenimiento de limpieza a corto plazo.

#### **5.3.1. Mantenimiento preventivo**

##### **5.3.1.1. Cimentación y torre:**

- a) Grietas cimentación.
- b) Pared de aprieta.

##### **5.3.1.2. Generador**

- a) Engrase de rodamientos.



- b) Inspección y apriete de caja de bornes.
- c) Inspección anillos y escobillas.
- d) Limpieza de intercambiador y filtros.
- e) Megado de devanados estator y rotor.

#### **5.3.1.3. Caja multiplicadora**

- a) Engrase al engranaje y piñón.
- b) Inspección al engranaje y piñón.
- c) Inspección de los dientes del engranaje.
- d) Inspección de los dientes del piñón

#### **5.3.1.4. Rotor**

- a) Fisuras y tornillos soportes cono del buje.
- b) Retenes y engrase de rodamientos de alabes.
- c) Pares de aprietes rodamientos alabes – buje.
- d) Uniones rotor y eje principal.
- e) Engrase de rodamientos eje principal
- f) Comprobación alineación eje principal.

#### **5.3.1.5. Palas**

- a) Inspección visual de las palas.
- b) Detención de fisuras.

- c) Inspección del extender de las palas.

#### **5.3.1.6. Regulador**

- a) Revisión de bornes.
- b) Inspección de diodos.
- c) Funcionamiento de los indicadores e intensidad y caídas de tensión entre terminales.
- d) Cableado y conexión de terminales.

#### **5.3.1.7. Inversor**

- a) Inspección visual de las alarmas
- b) Inspección del cableado y la limpieza del inversor.

#### **5.3.1.8. Baterías**

- a) Nivel de carga.
- b) Terminales, su conexión y engrase.
- c) Apriete terminales sobre bornes.

#### **5.3.1.9. Bomba**

- a) Inspección anillos y escobillas.
- b) Engrase de rodamientos.
- c) Megado de devanados estator y rotor.
- d) Inspección a la caja o cuerpo.

En este mantenimiento habrá de incluir todas las operaciones de mantenimiento, las cuales se presentan detalles en el siguiente cuadro de tareas, que son necesarios para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil. La periodicidad mínima establecida (en meses) se presenta en la tabla.

#### **LEYENDA DE ABREVIATURAS:**

V: Inspección visual

CF: Comprobación de funcionamiento.

AV: Actuación de verificación.

## 5.4. Presupuesto

Tabla 30: Costo del sistema eólico

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	COSTO TOTAL S/.
Aerogenerador + Torre NOHANA 5KW	UND	1	3500.00	3500.00	11585.00
Batería Monoblock AGM 12V 120AH	UND	12	210.00	2520.00	8341.20
Regulador SK7048D	UND	1	180.00	180.00	595.80
Inversor Huawei	UND	1	850.00	850.00	2813.50
Conductor de 2.5mm2 (ROJO)	MTS	15	0.70	10.50	34.76
Conductor de 2.5mm2 (AZUL)	MTS	15	0.70	10.50	34.76
Conductor de 16mm2	MTS	20	1.20	24.00	79.44
Conductor de 16mm2	MTS	20	1.20	24.00	79.44
Llave termomagnetico de 2x20A Bticino	UND	1	12.00	12.00	39.72
Caja porta medidor de 26x16x9cm	UND	1	10.00	10.00	33.10
Electrobomba Pedrollo 1.5 HP	UND	1	375.00	375.00	1241.25
Válvulas para flotador de 1/2"	UND	1	9.00	9.00	29.79
<b>TOTAL (Incluye IGV)</b>				<b>7525.00</b>	<b>24907.75</b>

**Fuente: Propia**

Tabla 31: Costo del pozo a tierra de sistema

POSO A TIERRA					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	COSTO TOTAL S/.
Sal industrial	UND	1	7.20	7.20	23.83
Cemento conductor	UND	1	8.00	8.00	26.48
Bentonita sódica	UND	1	5.70	5.70	18.87
Varilla de Cobre 3/4"	UND	1	75.00	75.00	248.25
Cable de cobre 3/42	MTS	15	0.70	10.50	34.76
Conductor de 8mm2 para PT	MTS	30	1.00	30.00	99.30
Conectores de cobre 3/4" para la Varilla	UND	2	6.00	12.00	39.72
Bóveda de concreto para PT	UND	1	11.00	11.00	36.41
Tuberías pvc 5/8" y accesorios	UND	10	3.00	30.00	99.30
Tierra de chacra	CUBOS	3	8.00	24.00	79.44
Alquiler de teluometro	UND	1	21.00	21.00	69.51
<b>TOTAL (Incluye IGV)</b>				<b>234.40</b>	<b>775.86</b>

**Fuente: Propia**

*Tabla 32: Costo de mano de obra, instalación y equipo*

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)	COSTO TOTAL S/.
Montaje y ensamblaje del sistema eólico	UND	1	150.00	150.00	496.50
Traslado del aerogenerador	UND	1	250.00	250.00	827.50
Instalación del aerogenerador	UND	1	120.00	120.00	397.20
Mano de obra para PT	PERSONAS	3	20.00	60.00	198.60
<b>TOTAL (Incluye IGV)</b>				<b>520.00</b>	<b>1721.20</b>

***Fuente: Propia***

*Tabla 33: Presupuesto general*

GASTOS TOTALES	TOTAL (\$)	TOTAL (S/. )
COSTO DEL SISTEMA EOLICO	7525.00	24907.75
COSTO DEL POZO A TIERRA	234.40	775.86
MANO DE OBRA -INSTALACION	520.00	1721.20
COSTO DE MANTENIMIENTO	90.00	297.90
COSTO ADMINISTRATIVO	300.00	993.00
<b>TOTAL (Incluye IGV)</b>	<b>8669.40</b>	<b>28695.71</b>

***Fuente: Propia***

Considerando que cada 1 año, se realice 2 veces un plan de mantenimiento para el sistema eólico, lo cual es considerado un pequeño costo de mantenimiento totalizado en S/. 297.90.

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

a) Se obtuvo una velocidad promedio de 4.91 m/s a 12 m, un potencial eólico de 909.37 W, un potencial eléctrico de 509.70 W y por último se determinó la energía que produce el aerogenerador, que es 8.2 KWh/día.

b) El consumo promedio de toda la población (200 habitantes) es de 31300 L/día con una proyección de crecimiento a 313 habitantes en 30 años.

c) Se seleccionó un aerogenerador eólico con una potencia nominal de 5KW y una tensión nominal de 48V Modelo GEH-5000, con una torre de 12m de altura y el diámetro de rotor de 4.1m. Se utilizó 12 baterías Monoblock AGM de 12V 120Ah con un banco de baterías de 1440Ah, un regulador controlador SK7048D con una tensión de 48V y un peso de 1.33Kg, un inversor Huawei hibrido de 2000W de potencia, y una tensión de entrada de 48Vcc, salida 220-230V en corriente alterna. Se seleccionó una bomba centrífuga (electrobomba) de marca PEDROLLO, CPm 650 monofásica de 1.5HP (1.1KW) con un caudal de 100 L/min (6m<sup>3</sup>/h) y la cantidad de energía eléctrica que alimenta la bomba es de 5.8 KWh/día. Obteniendo un presupuesto general del proyecto de 8669.40 dólares que equivalen a 28695.71 soles.

d) Se elaboró un plan de mantenimiento preventivo para garantizar el tiempo de vida del aerogenerador, en él se detalla las actividades a realizar por cada componente.

## **6.2. Recomendaciones**

- a) Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo que fue este, siempre se desea que haya mejora continua del mismo; por lo tanto se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto, la complementación de diseño (dimensionamiento) de sistemas eólicos para mayores demanda de crecimiento poblacional
- b) Se recomienda que incluyan otro tipo de aerogeneradores para realizar la comparación de eficiencia de estos y la variación del presupuesto general
- c) Se recomienda a los profesionales de la zona a apoyar en los estudios de los recursos renovables para ser aprovechados de la mejor manera y eficientemente.
- d) Se recomienda emplear otros programas que complementen los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- José Luis Gonzales Royo. Manual de energía eólica.[internet] 1er ed. España. 2006 [actualizado 10 de enero 2011; citado 5 de mar 2019]. Disponible en: [www.innovaglobalsol.com](http://www.innovaglobalsol.com)
- 2.- H, Daniel Dei, La tesis, tercera edi. Uruguay Prometeo libros; 2015
- 3.- José Ramírez Caro, como diseñar una investigación académica, primera edi. Costa Rica, Montes de María Editores, 2011.
- 4.- Ministerio de energía y minas. Atlas eólico del Perú. Perú, Barlovento Recursos naturales, 2016.
- 5.- Eduardo García Correa. Manual Teórico de Capacitación en energía eólica. Lima, diciembre 2005.
- 6.- Unidad de Planeamiento Minero Energética. Formulación de un programa básico de Normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Versión 01. Bogotá, Febrero 2003.
- 7.- Miguel Ángel Quispe Conde. Diseño y selección de un sistema eólico solar para la generación de energía eléctrica que mejore el sistema de bombeo de agua. Tesis. Puno – Perú, 2016.
- 8.- Dany Franco Auccacusi Montejo. Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi-Pucyura. Tesis. Cusco – Perú, 2014.



- 9.- Ana María Cerdán Cabrea. Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas acoturísticas en la Pitaya-Veracruz. Tesis. México, 2011.
- 10.- Neidaly Sánchez Gallego. Diseño de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua. Tesis. Pereira, 2016.
- 11.- Chávez, I. f. (2010). “evaluación técnica y económica para la generación de energía eléctrica híbrido eólica – solar para la comunidad de san luis en el distrito Pimentel”. Tesis. Chiclayo, (2010).
- 12.- AlfaSolar. Generadores eólicos. Vol.2. Montevideo: Septiembre del 2011, disponible en: [www.alfasolar.om.uy](http://www.alfasolar.om.uy)
- 13.- Pedrollo C.P. Electrobombas centrifugas.vol.3. San Bonifacio (Verona): 2005, disponible en: [www.pedrollo.com](http://www.pedrollo.com)
- 14.- Fernanda Valoes Das Neves. Energía eólica: Panorama y estudio de sensibilidad de un parque eólico. Proyecto. Goias: 2009.
- 15.- Dodero Juan Bautista/ García Fernández María. Generador eólico de baja potencia. Proyecto final. Buenos Aires: Noviembre 2012.
- 16.- Instituto para diversificación y ahorro de energía. Guía práctica de la energía consumo eficiente y responsable. Caja de Ahorros del mediterráneo. Argentina: 2010.
- 17.- Santos Ansón Fernández. Instalación eólico – fotovoltaico para suministro de riego por goteo para uso agrícola. Titulación. Cartagena: Septiembre 2013.

- 18.- Joaquín Jordán Arias. Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad. Tesis. Lima, agosto 2009.
- 19.- Nuñez torre, Raul Martin, Diseñ de un sistema eólico para la generación de energia eléctrica. Tesis. Pimentel, Perú 2015.
- 20.- Manuel Alejandro Navas Muñoz. Riego cuantificado con energía eólica. Tesis. Santiago, Chile 2008.
- 21.- Mercedes Díaz Torres. Energía renovable y eficiencia energética. Primera edi. Canarias, 2008.
- 22.- Wilfredo Jara Tirapegui. Introducción a la energía renovable no convencional. Primera edi. Endesa Chile, 2006.

# ANEXOS

# **Anexo N°1: Formato de encuesta**

## ENCUESTA

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica

### PROYECTO DE INVESTIGACION

**“Dimensionamiento y selección de un sistema eólico para la generación de energía eléctrica en un sistema de bombeo de agua en el Centro Poblado La Ranchería Bodegones – Lambayeque”.**

### FORMATO DE ENCUESTA CENTRO POBLADO BODEGONES

Apellidos y nombres:

.....

Edad: ..... Ocupación:.....

Sexo: ..... Fecha: .....

1.- ¿Cuántas personas conforman tu familia?

2 Personas ☐

4 Personas ☐

3 Personas ☐

5 o más personas ☐

2.- ¿En qué oficio consume más agua?

Baño ☐

Ducha ☐

Cocina ☐

Lavado de ropa ☐

Otros ☐

3.- ¿Cuánto en promedio es su consumo de agua diario?

50 litros/día ☐

70 litros/día ☐

100 litros/día ☐

120 litros/día ☐

150 a más litros/día ☐

4.- ¿El abastecimiento diario de agua actualmente le es suficiente para cubrir todas sus necesidades?

Si ☐

No ☐

A veces ☐

5.- ¿Cuántas horas diarias es abastecido con el agua?

1 horas/día ☐

2 horas/día ☐

3 horas/día ☐

4 horas/día o más ☐

6.- ¿Conoce usted que es una energía limpia?

Si ☐

No ☐

7.- ¿Tiene conocimiento usted de cómo se genera la energía eléctrica a través de la energía eólica?

Si ☐

no ☐

8.- ¿Cuál es el periodo de pago por el servicio del agua?

Diariamente ☐

Semanalmente ☐

Mensualmente ☐

Anualmente ☐

9.- ¿Cuál es el monto que paga usted por el servicio de agua?

S/. 20 – 40 ☐

S/. 40 – 60 ☐

S/. 100 – 125 ☐

S/. 150 a más ☐

10.- ¿Cuánto cree usted que costaría instalar un sistema eólico?

S/. 2000.00 ☐

S/. 4000.00 ☐

S/. 8000.00 ☐

S/. 20000.00 ☐

S/. 25000.00 ☐

S/. 30000.00 a más ☐

## **Anexo N°2: Rango de velocidades que fueron tomados durante el 2018**

VELOCIDAD DEL VIENTO SENAMHI 2018 A UNA ALTURA DE 13METROS (SENAMHI)												
DIAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	4.00	6.00	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00
2	6.00	6.00	6.00	4.00	6.00	4.00	4.00	6.00	6.00	8.00	4.00	6.00
3	6.00	6.00	6.00	8.00	6.00	4.00	4.00	4.00	6.00	4.00	8.00	4.00
4	4.00	4.00	6.00	6.00	4.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	6.00	4.00
5	4.00	8.00	4.00	6.00	6.00	4.00	4.00	6.00	6.00	2.00	6.00	4.00
6	6.00	6.00	4.00	6.00	6.00	4.00	4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00
7	4.00	6.00	6.00	6.00	6.00	4.00	2.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00
8	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	6.00	4.00	4.00	4.00	2.00	8.00
9	4.00	4.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00	4.00	2.00	4.00	6.00
10	4.00	4.00	6.00	6.00	8.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	6.00
11	6.00	6.00	4.00	6.00	4.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	6.00	6.00
12	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	8.00	4.00	8.00	6.00
13	6.00	6.00	6.00	4.00	4.00	6.00	4.00	4.00	4.00	4.00	8.00	6.00
14	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00	4.00	4.00	SM	8.00	4.00
15	6.00	4.00	4.00	SM	6.00	6.00	6.00	6.00	8.00	2.00	6.00	6.00
16	6.00	4.00	4.00	6.00	6.00	4.00	2.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00
17	6.00	4.00	8.00	6.00	6.00	6.00	4.00	6.00	8.00	6.00	6.00	8.00
18	4.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	6.00	4.00	8.00	8.00	8.00	8.00
19	6.00	4.00	4.00	6.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	4.00
20	4.00	4.00	8.00	8.00	4.00	2.00	8.00	6.00	6.00	4.00	8.00	8.00
21	6.00	4.00	6.00	6.00	4.00	2.00	6.00	6.00	6.00	6.00	10.00	8.00
22	6.00	6.00	2.00	4.00	6.00	2.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
23	4.00	4.00	4.00	6.00	6.00	2.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	4.00
24	4.00	4.00	2.00	6.00	6.00	6.00	6.00	4.00	6.00	6.00	2.00	4.00
25	4.00	6.00	8.00	4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	8.00	SM	4.00
26	4.00	4.00	6.00	6.00	4.00	6.00		4.00	8.00	4.00	8.00	4.00
27	6.00	6.00	4.00	8.00	6.00	4.00	4.00	4.00	6.00	4.00	8.00	8.00
28	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	4.00	2.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00
29	6.00		4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	4.00	6.00	8.00	6.00
30	4.00		SM	4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	6.00	6.00	6.00	8.00
31	6.00		4.00		4.00		6.00	6.00		8.00		8.00



VELOCIDAD DEL VIENTO JULIO - 2018 (POR HORAS) A 3 METROS DE ALTURA (m/s)															
HORA	01-Jul	02-Jul	03-Jul	04-Jul	05-Jul	06-Jul	07-Jul	08-Jul	09-Jul	10-Jul	11-Jul	12-Jul	13-Jul	14-Jul	15-Jul
0:00	1.6	1.6	2.8	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6
1:00	2.1	1.6	3.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6
2:00	2.1	1.6	2.1	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
3:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
4:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
5:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
6:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6
7:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
8:00	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	1.6
9:00	2.1	2.1	1.6	2.1	2.1	2.1	1.6	1.6	2.1	2.1	2.1	2.1	1.6	2.1	1.6
10:00	2.1	2.8	2.1	2.8	2.8	2.1	2.1	1.6	3.4	2.1	2.8	2.8	2.1	2.1	1.6
11:00	3.4	2.8	2.1	3.4	3.4	2.1	2.1	2.8	3.4	2.8	3.4	2.8	2.1	2.8	1.6
12:00	3.4	3.4	2.8	3.4	3.4	2.1	2.1	2.8	3.4	3.4	3.4	3.4	2.1	3.4	2.1
13:00	3.4	4	3.4	3.4	4	2.1	2.8	3.4	4	3.4	3.4	3.4	2.1	3.4	2.8
14:00	3.4	4	4	3.4	4	3.4	2.8	4	4	3.4	3.4	4	3.4	4	3.4
15:00	3.4	4	4.6	4	4	3.4	3.4	4	4	4	4	4	3.4	4	3.4
16:00	3.4	4	3.4	4	4	4	3.4	3.4	4	4	4.6	4	3.4	4	3.4
17:00	3.4	4	3.4	4	3.4	4	3.4	4	3.4	4	4.6	4	3.4	4	2.8
18:00	3.4	3.4	3.4	4	3.4	3.4	2.8	4	3.4	4	4	4	3.4	3.4	3.4
19:00	2.8	2.8	3.4	3.4	2.8	2.8	2.1	3.4	2.8	3.4	2.8	3.4	3.4	3.4	3.4
20:00	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3.4	2.8	2.8	2.8	3.4	2.8	3.4
21:00	2.1	2.8	2.1	2.1	2.8	2.1	2.1	2.8	2.8	2.8	2.1	2.8	2.8	2.8	2.8
22:00	1.6	2.1	1.6	1.6	3.4	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	1.6	2.1	2.1	2.1	2.1
23:00	2.1	3.4	2.1	1.6	2.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.1	2.1	1.6

VELOCIDAD DEL VIENTO JULIO - 2018 (POR HORAS) A 3 METROS DE ALTURA (m/s)																
HORA	16-Jul	17-Jul	18-Jul	19-Jul	20-Jul	21-Jul	22-Jul	23-Jul	24-Jul	25-Jul	26-Jul	27-Jul	28-Jul	29-Jul	30-Jul	31-Jul
0:00	1.6	2.1	2.1	2.1	1.6	1.6	3.1	2.2	1.8	2.2	1.8	2.2	1.8	1.8	2.2	1.3
1:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.7	1.8	1.8	2.2	1.3	2.2	1.8	1.8	1.8	0.9
2:00	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	2.2	1.3	1.3	2.2	1.3	1.8	1.8	2.7	1.3	1.3
3:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.2	2.2	1.8	1.8	1.3	1.8	1.3	1.8	1.3	1.3
4:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.8	2.2	1.8	1.3	1.3	1.8	1.3	1.3	1.3	0.9
5:00	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.2	1.8	1.3	0.9	1.3	2.2	1.3	1.3	1.3	1.3
6:00	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.8	1.8	1.3	0.4	0.9	2.2	1.3	1.3	1.3	1.3
7:00	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	1.3	1.3	1.3	0.9	0.9	1.8	1.3	1.8	1.3	1.3
8:00	1.6	1.6	2.1	1.6	1.6	1.6	2.2	1.8	0.9	1.3	0.9	1.3	1.3	2.2	1.8	1.3
9:00	2.1	1.6	3.4	2.1	2.1	2.1	2.7	1.8	0.9	1.8	1.3	1.3	1.3	2.2	1.8	1.8
10:00	2.1	2.1	2.8	2.1	2.8	2.8	2.7	0.9	0.9	2.2	1.8	1.8	1.3	2.2	2.2	0.9
11:00	2.1	1.6	2.8	2.8	2.8	4	3.1	0.4	0.9	2.2	1.8	2.2	1.3	2.2	2.2	0.9
12:00	3.4	1.6	2.8	2.8	3.4	4	4	1.3	0.9	2.2	1.8	2.7	1.3	2.7	1.8	0.9
13:00	3.4	2.1	3.4	2.8	3.4	3.6	4.5	2.2	3.6	2.2	1.8	2.7	1.3	4	2.7	2.7
14:00	3.4	2.8	3.4	2.8	3.4	4.5	4.9	3.1	3.6	2.2	3.6	3.1	2.2	4	3.1	2.7
15:00	3.4	2.8	3.4	3.4	3.4	4.9	4.9	3.1	4.5	4	4	4.5	3.6	4.5	3.1	3.1
16:00	3.4	3.4	2.8	4	4.6	4.9	4.9	4	4.5	4	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1	3.6
17:00	3.4	3.4	3.4	5.3	5.3	4.9	4.5	3.6	4	4	4	4.5	4.5	4.5	3.6	4
18:00	3.4	2.8	4	4	4.6	4.5	4.5	4	4.5	4	4	4	4.5	4.5	4	4
19:00	2.8	2.8	4	3.4	4	4	3.6	3.6	4	3.1	4	3.1	3.6	3.6	3.1	4
20:00	2.8	2.8	3.4	2.8	3.4	3.6	2.7	3.1	3.1	3.6	3.6	3.1	3.1	2.7	2.7	4
21:00	2.8	2.8	3.8	2.8	3.4	4	2.7	3.1	2.7	3.1	3.1	2.7	2.7	2.7	2.7	3.6
22:00	2.8	2.1	2.8	2.8	2.8	3.6	2.7	2.7	2.2	2.7	3.1	2.2	2.2	2.2	2.2	3.6
23:00	2.8	2.1	2.8	2.1	2.1	3.1	2.7	2.2	2.2	2.7	2.7	2.2	1.8	2.7	2.2	3.1

**VELOCIDAD DEL VIENTO 2018 A 12M DE ALTURA APLICANDO LA  
LEY EXPONECIAL DE HELMAM**

ENERO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	6	5.810940223
4	0.4	12	13	4	3.873960149
5	0.4	12	13	4	3.873960149
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	4	3.873960149
8	0.4	12	13	4	3.873960149
9	0.4	12	13	4	3.873960149
10	0.4	12	13	4	3.873960149
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	6	5.810940223
13	0.4	12	13	6	5.810940223
14	0.4	12	13	2	1.936980074
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	4	3.873960149
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	4	3.873960149
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	4	3.873960149
24	0.4	12	13	4	3.873960149
25	0.4	12	13	4	3.873960149
26	0.4	12	13	4	3.873960149
27	0.4	12	13	6	5.810940223
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	6	5.810940223
30	0.4	12	13	4	3.873960149
31	0.4	12	13	6	5.810940223

FEBRERO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	6	5.810940223
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	6	5.810940223
4	0.4	12	13	4	3.873960149
5	0.4	12	13	8	7.747920297
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	6	5.810940223
8	0.4	12	13	6	5.810940223
9	0.4	12	13	4	3.873960149
10	0.4	12	13	4	3.873960149
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	4	3.873960149
13	0.4	12	13	6	5.810940223
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	4	3.873960149
16	0.4	12	13	4	3.873960149
17	0.4	12	13	4	3.873960149
18	0.4	12	13	4	3.873960149
19	0.4	12	13	4	3.873960149
20	0.4	12	13	4	3.873960149
21	0.4	12	13	4	3.873960149
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	4	3.873960149
24	0.4	12	13	4	3.873960149
25	0.4	12	13	6	5.810940223
26	0.4	12	13	4	3.873960149
27	0.4	12	13	6	5.810940223
28	0.4	12	13	4	3.873960149

MARZO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	6	5.810940223
4	0.4	12	13	6	5.810940223
5	0.4	12	13	4	3.873960149
6	0.4	12	13	4	3.873960149
7	0.4	12	13	6	5.810940223
8	0.4	12	13	4	3.873960149
9	0.4	12	13	6	5.810940223
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	4	3.873960149
12	0.4	12	13	6	5.810940223
13	0.4	12	13	6	5.810940223
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	4	3.873960149
16	0.4	12	13	4	3.873960149
17	0.4	12	13	8	7.747920297
18	0.4	12	13	6	5.810940223
19	0.4	12	13	4	3.873960149
20	0.4	12	13	8	7.747920297
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	2	1.936980074
23	0.4	12	13	4	3.873960149
24	0.4	12	13	2	1.936980074
25	0.4	12	13	8	7.747920297
26	0.4	12	13	6	5.810940223
27	0.4	12	13	4	3.873960149
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	4	3.873960149
30	0.4	12	13	SM	
31	0.4	12	13	4	3.873960149

ABRIL					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	4	3.873960149
3	0.4	12	13	8	7.747920297
4	0.4	12	13	6	5.810940223
5	0.4	12	13	6	5.810940223
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	6	5.810940223
8	0.4	12	13	6	5.810940223
9	0.4	12	13	6	5.810940223
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	4	3.873960149
13	0.4	12	13	4	3.873960149
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	SM	
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	6	5.810940223
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	8	7.747920297
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	4	3.873960149
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	6	5.810940223
25	0.4	12	13	4	3.873960149
26	0.4	12	13	6	5.810940223
27	0.4	12	13	8	7.747920297
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	4	3.873960149
30	0.4	12	13	4	3.873960149

MAYO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	6	5.810940223
4	0.4	12	13	4	3.873960149
5	0.4	12	13	6	5.810940223
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	6	5.810940223
8	0.4	12	13	6	5.810940223
9	0.4	12	13	6	5.810940223
10	0.4	12	13	8	7.747920297
11	0.4	12	13	4	3.873960149
12	0.4	12	13	6	5.810940223
13	0.4	12	13	4	3.873960149
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	6	5.810940223
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	4	3.873960149
21	0.4	12	13	4	3.873960149
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	6	5.810940223
25	0.4	12	13	4	3.873960149
26	0.4	12	13	4	3.873960149
27	0.4	12	13	6	5.810940223
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	6	5.810940223
30	0.4	12	13	4	3.873960149
31	0.4	12	13	4	3.873960149

JUNIO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	4	3.873960149
3	0.4	12	13	4	3.873960149
4	0.4	12	13	4	3.873960149
5	0.4	12	13	4	3.873960149
6	0.4	12	13	4	3.873960149
7	0.4	12	13	4	3.873960149
8	0.4	12	13	6	5.810940223
9	0.4	12	13	SM	
10	0.4	12	13	4	3.873960149
11	0.4	12	13	4	3.873960149
12	0.4	12	13	6	5.810940223
13	0.4	12	13	6	5.810940223
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	4	3.873960149
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	4	3.873960149
19	0.4	12	13	4	3.873960149
20	0.4	12	13	2	1.936980074
21	0.4	12	13	2	1.936980074
22	0.4	12	13	2	1.936980074
23	0.4	12	13	2	1.936980074
24	0.4	12	13	6	5.810940223
25	0.4	12	13	6	5.810940223
26	0.4	12	13	6	5.810940223
27	0.4	12	13	4	3.873960149
28	0.4	12	13	4	3.873960149
29	0.4	12	13	4	3.873960149
30	0.4	12	13	6	5.810940223



JULIO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	6	5.810940223
2	0.4	12	13	4	3.873960149
3	0.4	12	13	4	3.873960149
4	0.4	12	13	6	5.810940223
5	0.4	12	13	4	3.873960149
6	0.4	12	13	4	3.873960149
7	0.4	12	13	2	1.936980074
8	0.4	12	13	6	5.810940223
9	0.4	12	13	6	5.810940223
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	6	5.810940223
13	0.4	12	13	4	3.873960149
14	0.4	12	13	6	5.810940223
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	2	1.936980074
17	0.4	12	13	4	3.873960149
18	0.4	12	13	6	5.810940223
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	8	7.747920297
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	6	5.810940223
25	0.4	12	13	4	3.873960149
26	0.4	12	13	SM	
27	0.4	12	13	4	3.873960149
28	0.4	12	13	2	1.936980074
29	0.4	12	13	6	5.810940223
30	0.4	12	13	4	3.873960149
31	0.4	12	13	6	5.810940223

AGOSTO					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	4	3.873960149
4	0.4	12	13	6	5.810940223
5	0.4	12	13	6	5.810940223
6	0.4	12	13	4	3.873960149
7	0.4	12	13	4	3.873960149
8	0.4	12	13	4	3.873960149
9	0.4	12	13	6	5.810940223
10	0.4	12	13	4	3.873960149
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	4	3.873960149
13	0.4	12	13	4	3.873960149
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	4	3.873960149
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	6	5.810940223
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	4	3.873960149
25	0.4	12	13	6	5.810940223
26	0.4	12	13	4	3.873960149
27	0.4	12	13	4	3.873960149
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	4	3.873960149
30	0.4	12	13	6	5.810940223
31	0.4	12	13	6	5.810940223

SEPTIEMBRE					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	6	5.810940223
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	6	5.810940223
4	0.4	12	13	6	5.810940223
5	0.4	12	13	6	5.810940223
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	6	5.810940223
8	0.4	12	13	4	3.873960149
9	0.4	12	13	4	3.873960149
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	8	7.747920297
13	0.4	12	13	4	3.873960149
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	8	7.747920297
16	0.4	12	13	4	3.873960149
17	0.4	12	13	8	7.747920297
18	0.4	12	13	8	7.747920297
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	6	5.810940223
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	6	5.810940223
25	0.4	12	13	6	5.810940223
26	0.4	12	13	8	7.747920297
27	0.4	12	13	6	5.810940223
28	0.4	12	13	4	3.873960149
29	0.4	12	13	4	3.873960149
30	0.4	12	13	6	5.810940223

OCTUBRE					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	6	5.810940223
2	0.4	12	13	8	7.747920297
3	0.4	12	13	4	3.873960149
4	0.4	12	13	4	3.873960149
5	0.4	12	13	2	1.936980074
6	0.4	12	13	4	3.873960149
7	0.4	12	13	4	3.873960149
8	0.4	12	13	4	3.873960149
9	0.4	12	13	2	1.936980074
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	4	3.873960149
12	0.4	12	13	4	3.873960149
13	0.4	12	13	4	3.873960149
14	0.4	12	13	SM	
15	0.4	12	13	2	1.936980074
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	8	7.747920297
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	4	3.873960149
21	0.4	12	13	6	5.810940223
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	6	5.810940223
25	0.4	12	13	8	7.747920297
26	0.4	12	13	4	3.873960149
27	0.4	12	13	4	3.873960149
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	6	5.810940223
30	0.4	12	13	6	5.810940223
31	0.4	12	13	8	7.747920297

NOVIEMBRE					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	6	5.810940223
2	0.4	12	13	4	3.873960149
3	0.4	12	13	8	7.747920297
4	0.4	12	13	6	5.810940223
5	0.4	12	13	6	5.810940223
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	6	5.810940223
8	0.4	12	13	2	1.936980074
9	0.4	12	13	4	3.873960149
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	8	7.747920297
13	0.4	12	13	8	7.747920297
14	0.4	12	13	8	7.747920297
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	6	5.810940223
18	0.4	12	13	8	7.747920297
19	0.4	12	13	6	5.810940223
20	0.4	12	13	8	7.747920297
21	0.4	12	13	10	9.684900372
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	6	5.810940223
24	0.4	12	13	2	1.936980074
25	0.4	12	13	SM	
26	0.4	12	13	8	7.747920297
27	0.4	12	13	8	7.747920297
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	8	7.747920297
30	0.4	12	13	6	5.810940223

DICIEMBRE					
DIA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
1	0.4	12	13	4	3.873960149
2	0.4	12	13	6	5.810940223
3	0.4	12	13	4	3.873960149
4	0.4	12	13	4	3.873960149
5	0.4	12	13	4	3.873960149
6	0.4	12	13	6	5.810940223
7	0.4	12	13	4	3.873960149
8	0.4	12	13	8	7.747920297
9	0.4	12	13	6	5.810940223
10	0.4	12	13	6	5.810940223
11	0.4	12	13	6	5.810940223
12	0.4	12	13	6	5.810940223
13	0.4	12	13	6	5.810940223
14	0.4	12	13	4	3.873960149
15	0.4	12	13	6	5.810940223
16	0.4	12	13	6	5.810940223
17	0.4	12	13	8	7.747920297
18	0.4	12	13	8	7.747920297
19	0.4	12	13	4	3.873960149
20	0.4	12	13	8	7.747920297
21	0.4	12	13	8	7.747920297
22	0.4	12	13	6	5.810940223
23	0.4	12	13	4	3.873960149
24	0.4	12	13	4	3.873960149
25	0.4	12	13	4	3.873960149
26	0.4	12	13	4	3.873960149
27	0.4	12	13	8	7.747920297
28	0.4	12	13	6	5.810940223
29	0.4	12	13	6	5.810940223
30	0.4	12	13	8	7.747920297
31	0.4	12	13	8	7.747920297

VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO POR HORAS DEL MES DE JULIO - 2018					
HORA	$\alpha$	h(m)	H(m)	VH(m/s)	Vh (m/s)
0:00	0.4	12	3	1.86	3.238448095
1:00	0.4	12	3	1.76	3.064337983
2:00	0.4	12	3	1.7	2.959871915
3:00	0.4	12	3	1.67	2.907638881
4:00	0.4	12	3	1.57	2.733528769
5:00	0.4	12	3	1.58	2.75093978
6:00	0.4	12	3	1.59	2.768350791
7:00	0.4	12	3	1.54	2.681295735
8:00	0.4	12	3	1.63	2.837994836
9:00	0.4	12	3	1.93	3.360325174
10:00	0.4	12	3	2.16	3.760778433
11:00	0.4	12	3	2.4	4.178642704
12:00	0.4	12	3	2.65	4.613917985
13:00	0.4	12	3	3.08	5.36259147
14:00	0.4	12	3	3.46	6.024209898
15:00	0.4	12	3	3.81	6.633595292
16:00	0.4	12	3	3.94	6.859938439
17:00	0.4	12	3	3.96	6.894760461
18:00	0.4	12	3	3.83	6.668417315
19:00	0.4	12	3	3.32	5.78045574
20:00	0.4	12	3	3.04	5.292947425
21:00	0.4	12	3	2.79	4.857672143
22:00	0.4	12	3	2.35	4.091587647
23:00	0.4	12	3	2.21	3.84783349

# **Anexos N°3: Fotografías del Centro Poblado Bodegones**



***Torre de concreto – cisterna – aerogenerador del Centro Poblado***



***Escalera hacia la parte superior de la torre – cisterna***





***Puerta de ingreso a sala de bombeo***





***Tesista en el lugar de estudio***



***Parte interior de la torre – cisterna***



***Pozo de agua a bombear***





**Parte interior del pozo**



***Centro Poblado La Ranchería Bodegones***



# **Anexo N°4: Plano de localización**





# **Anexo N°5: Instalación del aerogenerador – torre cisterna – pozo a tierra**



# **ANEXO 6: Distribución eléctrica del sistema eólico**

