

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**



Estimación del potencial eólico para la producción de energía  
eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías - Ayabaca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR**

Neril Moreto Gómez

**ASESORA**

Janet del Milagro Zúñiga Trelles

Morropón, Perú

2020

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 006- 2020/UCSS/FIA/DI

Siendo las 11:30 a.m. del día 16 de mayo de 2020 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- |                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| 1. Alfredo Julián Sandoval Norabuena | presidente      |
| 2. Darwin Vilcherrez Vilela          | primer miembro  |
| 3. Héctor Alonso Escobar García      | segundo miembro |
| 4. Janet del Milagro Zúñiga Trelles  | asesora         |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Estimación del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías - Ayabaca**, que presenta el bachiller en Ciencias Ambientales, **Neril Moreto Gómez** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 16 de mayo de 2020.



Alfredo Julián Sandoval Norabuena  
PRESIDENTE



Darwin Vilcherrez Vilela  
1° MIEMBRO



Héctor Alonso Escobar García  
2° MIEMBRO



Janet del Milagro Zúñiga Trelles  
ASESORA

## DEDICATORIA

*A mi querida madre Antonia Gómez Peña,  
quien con cariño me enseñó los valores  
que hoy me acompañan.*

*A mis hermanos: Porfirio, Andrea y Alonzo  
quienes siempre me apoyaron.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Divino Creador, por haberme dado la vida, salud, sabiduría y fortaleza para culminar mi carrera profesional de Ingeniería Ambiental.*

*Al excelentísimo Monseñor Daniel Turley Murphy quien me brindó su apoyo y confió en mí en todo momento, durante mi paso por la Universidad Católica Sedes Sapientiae.*

*A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, donde recibí una sólida formación en valores.*

*A la Hna. Marielena Mackenna, por su apoyo incondicional.*

*A la Mg. Ing. Janet Del Milagro Zúñiga Trelles asesora de la presente tesis, por acompañarme en el camino de la investigación.*

*A los docentes de la UCSS, por la enseñanza y el esfuerzo de sembrar la semilla del conocimiento en cada alumno.*

*A todos ellos mi eterna gratitud.*

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	6
1.1.3. Marco Normativo.....	8
1.2. Bases teóricas especializadas.....	12
1.2.1. Importancia de la energía para la humanidad.....	12
1.2.2. Tipos de energías.....	13
1.2.3. Ventajas de las energías renovables.....	14
1.2.4. Energía eólica.....	15
1.2.5. Historia del uso de la energía eólica.....	16
1.2.6. Ventajas de la energía eólica.....	20
1.2.7. Impactos ambientales de la energía eólica.....	21
1.2.8. Seguridad energética y energías renovables.....	22
1.3. Parámetros eólicos.....	22
1.3.1. Viento.....	22

1.3.2.	Turbulencia .....	23
1.3.3.	Potencial eólico.....	23
1.3.4.	Energía obtenible del viento .....	23
1.3.5.	Variación vertical del viento.....	25
1.3.6.	Valores de rugosidad del suelo .....	26
1.3.7.	La Ley de Betz.....	26
1.3.8.	Escala de Beaufort .....	27
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....		29
2.1.	Diseño de la investigación.....	29
2.2.	Lugar y Fecha .....	29
2.3.	Software utilizado.....	31
2.4.	Descripción del trabajo de pre campo .....	31
2.5.	Descripción del trabajo de campo .....	36
2.5.1.	Obtención y tratamiento de datos eólicos .....	36
2.5.2.	Extrapolación de la velocidad con la altura .....	41
2.5.3.	Estimación de la potencia del viento a alturas de 10, 40 y 60 m .....	44
2.5.4.	Cálculo de la potencia disponible y aprovechable a 10 m de altura .....	45
2.5.5.	Cálculo de la potencia disponible y aprovechable a 40 m de altura .....	45
2.5.6.	Cálculo de la potencia disponible y aprovechable a 60 m de altura .....	46
2.5.7.	Simulación de la generación de energía teóricamente.....	46
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....		48
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES .....		53
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....		55
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....		56
REFERENCIAS .....		57
TERMINOLOGÍA.....		62
APÉNDICES .....		64

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Potencia eólica instalada en el mundo (MW)</i> .....	18
Tabla 2. <i>Escala de Beaufort</i> .....	27
Tabla 3. <i>Datos generales de la estación Arenales</i> .....	32
Tabla 4. <i>Promedio de la Velocidad del viento en el año 1986</i> .....	34
Tabla 5. <i>Promedio de la velocidad del viento en el año 1987</i> .....	34
Tabla 6. <i>Promedio de velocidad del viento en el año 1988</i> .....	34
Tabla 7. <i>Promedio de la velocidad del viento en el año 1989</i> .....	35
Tabla 8. <i>Promedio de la velocidad del viento en el año 1990</i> .....	35
Tabla 9. <i>Promedio de la velocidad del viento en el año 1991</i> .....	35
Tabla 10. <i>Promedio de la velocidad del viento para los 6 años</i> .....	36
Tabla 11. <i>Promedio de Velocidad del viento del estudio en Campo</i> .....	37
Tabla 12. <i>Altitud, densidad y presión</i> .....	40
Tabla 13. <i>Potencia y energía producida</i> .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Evolución de la potencia eólica (MW).</i> .....	19
<i>Figura 2. Valores de rugosidad del suelo.</i> .....	26
<i>Figura 4. Mapa de ubicación del estudio.</i> .....	30
<i>Figura 3. Mapa eólico del Perú.</i> .....	33
<i>Figura 5. Toma de datos de velocidad y dirección del viento.</i> .....	38
<i>Figura 6. Rosa de viento que señala la procedencia del viento usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2.</i> .....	39
<i>Figura 7. Rosa de viento que señala la dirección del viento, usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2.</i> .....	39
<i>Figura 8. Distribución de Frecuencia del viento, usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2.</i> .....	40
<i>Figura 9. Distribución de Weibull.</i> .....	43
<i>Figura 10. Comparación de velocidades de viento.</i> .....	48
<i>Figura 11. Velocidades promedio año 2018.</i> .....	49
<i>Figura 12. Comparación de velocidades promedio del viento.</i> .....	50
<i>Figura 13. Comparación de velocidades del mes de Mayo.</i> .....	50
<i>Figura 14. Comparación de velocidades de viento del mes de Junio.</i> .....	51
<i>Figura 15. Velocidades mínimas promedio y máximas de viento.</i> .....	51



## ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Cronograma de toma de datos del estudio año 2018.....	64
Apéndice 2. Datos de viento del mes de abril año 2018.....	65
Apéndice 3. Datos de viento del mes de mayo 2018.....	68
Apéndice 4. Datos de viento del mes de junio año 2018.....	71

## RESUMEN

El propósito de este trabajo de investigación, fue evaluar el recurso eólico para su posible utilización en la generación de energía eléctrica en la meseta andina distrito de Frías – Ayabaca. Para ello se realizaron mediciones de viento en el caserío de Arenales, a 3093 m.s.n.m., los registros fueron tomados cada hora, a 10 m de altura, con el anemómetro modelo ABH – 4224, durante los meses de abril, mayo y junio del año 2018.

El estudio encontró que la velocidad promedio del viento fue de 8.703 m/s, los datos fueron registrados a una altura de 10 m, se extrapolaron a 40 m y 60 m para encontrar la velocidad del viento y el potencial eólico. Finalmente se calculó teóricamente la producción de energía eléctrica considerándose para la investigación el aerogenerador de eje horizontal marca Bornay 6000, donde a 60 m de altura la producción de energía eléctrica fue de 22 667.75 kW-h/año.

Adicionalmente, para dar mayor consistencia a la investigación, se recopiló los datos históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de la estación convencional meteorológica del caserío de Arenales meseta andina, correspondientes a los años de 1986 a 1991 en los que estuvo en funcionamiento, obteniéndose la velocidad promedio del viento durante los 6 años fue de 8.05 m/s, con la dirección predominante de Este a Oeste.

**Palabras clave:** Potencial eólico, energía, renovable, energía convencional, aerogenerador, viento.

## ABSTRACT

The purpose of this research work was the evaluation of the wind resource for its possible use in the generation of electrical energy in the Andean plateau district of Frías - Ayabaca. For this purpose, wind measurements were carried out in the Arenales hamlet, at 3093 meters above sea level, the records were taken every hour, at a height of 10 meters, with the model ABH-4224 anemometer, during the months of April, May and June of the year 2018.

The study found that the average wind speed was 8,703 m / s, the data were recorded at a height of 10 m, extrapolated at 40 m and 60 m, to find the wind speed and wind potential. Finally, the production of electrical energy was theoretically calculated, considering the Bornay 6000 horizontal axis wind turbine for research, where at 60 meters above sea level the production of electrical energy was 22 667.75 kW-h / year.

Additionally, to give greater consistency to the research, the historical data of the National Meteorological and Hydrological Service (SENAMHI) was collected from the conventional meteorological station of the Arenales plateau, corresponding to the years 1986 to 1991 in which it was in operation, obtaining the average wind speed during the 6 years was 8.05 m / s, with the predominant direction from East to West.

**Keywords:** Wind potential, energy, renewable, conventional energy, wind turbine, wind.

## INTRODUCCIÓN

El uso de la energía eólica para la producción de electricidad no produce incidencias sobre las características físicas y químicas del suelo, asimismo, no produce contaminantes que afecten a este medio, tampoco vertidos o movimientos de tierras en gran magnitud, caso que es notorio en las energías convencionales. La producción de electricidad utilizando el potencial eólico no se producen alteraciones sobre los acuíferos, por otro lado, no emite gases contaminantes de efecto invernadero, o productos secundarios peligrosos al ambiente (Moreno, 2013).

La Política energética del Perú para el periodo 2010 - 2040 aprobado por el D.S. N° 064-2010-EM tiene como primer objetivo contar con una matriz energética diversificada con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética, mientras que en el sexto objetivo se plantea desarrollar un sector energético con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de desarrollo sostenible (Decreto Supremo N° 064-2010-EM, 2010).

En el Perú, dos instituciones han tenido experiencia con aerogeneradores, ITINTEC desarrolló a nivel experimental un prototipo de aerogenerador de 500 W de potencia con dos álabes, fue instalado en una vivienda en el distrito de Villa el Salvador, sin embargo, el sistema no funcionó satisfactoriamente por falta de viento y un falló en los controles del generador. La otra institución, es Electroperú, dentro de su programa de estudios y trabajos de investigación en el campo de la energía eólica, continuó con los trabajos iniciados por el convenio ítalo-peruano en la caleta de Yasila en 1983 – 1985 (Bahía de Paita) e inició trabajos en la localidad de Torán en el valle de Majes (distrito de Uraca, provincia de Castilla en el Departamento de Arequipa), en el año 1988, la ex-oficina de energías no convencionales instaló dos aerogeneradores de 4 kW, para suministro de energía al pueblo de Torán donde residían 40 familias, dicha instalación

se realizó en dos etapas. A nivel nacional realizó medidas anemométricas para determinar el potencial eólico existente en el país. (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2016)

En 1996, se instaló un aerogenerador de 0.25 MW en Punta Malabrigo (La Libertad) y dos años después, en 1998, se instaló otro prototipo de 0.45 MW en San Juan de Marcona (Ica). En abril 2014 se instaló el primer parque eólico del Perú de grandes dimensiones (32 MW) ubicado en Marcona (Ica). En agosto y septiembre de ese mismo año se conectaron a la red los parques eólicos de Cupisnique (Pacasmayo, La Libertad) con 80 MW y Talara (Piura) con 30 MW respectivamente. A principios de 2016 se conectó el parque eólico Tres Hermanas (Ica) con 97 MW de potencia instalada. La capacidad nominal de todas las instalaciones eólicas conectadas a la red pública hoy en día es de 239 MW (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2016).

Los parques eólicos adjudicados en la cuarta subasta de suministro de electricidad con recursos energéticos renovables al sistema eléctrico interconectado nacional son el parque eólico Nazca en Ica, Huambos y Duna en Cajamarca (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2016).

La presente investigación, estuvo orientada a plantear una alternativa de producción energética, a través del viento como una energía renovable, para ello, fue necesario conocer el potencial eólico para generar información relacionada al tema en mención. Además, esta investigación servirá a entidades públicas o privadas que en el futuro tengan interés por el desarrollo de proyectos relacionados con la generación y aprovechamiento de energías limpias, obtenidas a partir de fuentes inagotables como es el caso del viento presente en la zona estudiada.

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Determinar el potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la meseta andina del distrito de Frías - Ayabaca

## Objetivos específicos

- Determinar la velocidad promedio del viento a partir de los datos de la estación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú que se localizó en la zona de estudio.
- Estimar la velocidad del viento a las alturas de 40 y 60 m.
- Calcular teóricamente la producción de energía eléctrica tomando como referencia el aerogenerador de eje horizontal marca Bornay 6000.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

### 1.1.1. Antecedentes internacionales

Avellaneda (2012) realizó el estudio del potencial eólico en los municipios de Paipa y Sotaquirá en la zona del páramo de Chontales, departamento de Boyacá Colombia, ubicada a 3500 m.s.n.m. El objetivo fue evaluar el potencial la generación de energía eólica como alternativa energética en la zona de estudio. Para ello, colocó un anemómetro en el cerro Los Monjes a 3534 m.s.n.m., páramo de Chontales, municipio de Sotaquirá, departamento de Boyacá, la misma que estuvo operando desde el mes de junio del 2010, hasta el mes enero de 2011. Las variables consideradas en el mencionado estudio fueron: la temperatura, la rugosidad del terreno, altura sobre el nivel del mar, la humedad relativa, la densidad del aire, las horas del día y la variación del viento a lo largo de los períodos climáticos, las horas del día, la altura sobre el nivel de la superficie en que se tomaron las mediciones de velocidad del viento y el tipo de anemómetro que fue utilizado. La información generada a partir de estos análisis permitió observar que el promedio total de velocidad del viento fue de 4.57 m/s y la potencia eólica  $23.2 \text{ W/m}^2$  para un periodo de 184 días que duró el estudio.

Álvarez (2013) realizó el estudio numérico del potencial energético eólico en Tunja Colombia, planteándose el propósito de determinar el potencial del viento en la ciudad de Tunja, del departamento de Boyacá, a la data generada aplicó la distribución de Weibull, en condiciones de temperatura promedio de 12 y 18 °C características del lugar estudiado. La toma de datos de velocidad y dirección del viento se realizó en tres puntos diferentes de la ciudad, el estudio fue llevado a cabo durante los meses comprendidos entre marzo y octubre del año 2012.

Los datos de la velocidad del viento fueron tomados con anemómetros en cada zona de estudio a 10 m de altura, posteriormente, los datos fueron relacionados con las curvas características de dos aerogeneradores para determinar la cantidad de energía que pueden producir estos si fuesen ubicados en la zona de estudio. La conclusión del estudio fue que la estación Campus Universidad Santo Tomás registró una velocidad del viento de 2.6437 m/s; en la estación de Alto de Soracá, la velocidad fue de 6.7035 m/s, y en la estación de Centro intercomunitario Arquidiocesano fue 6.4568 m/s, siendo esta última estación la que mayor frecuencia de viento presentó. Los vientos presentes en la ciudad de Tunja tuvieron un potencial adecuado en sus diferentes variables para proponer proyectos de energía eólica. La zona con mayor viabilidad para un proyecto de energía eólica fue el Centro Intercomunitario Arquidiocesano, en el Alto de Soracá, la velocidad promedio del viento y el potencial eólico es menor, sin embargo, la frecuencia con la que se presentan los vientos y la velocidad promedio es mayor. Teniendo por resultado más horas de funcionamiento del aerogenerador.

Arnés (2014) realizó un estudio que tuvo como objetivo determinar el potencial eólico para la generación eléctrica en la zona del istmo de Tehuantepec región de Oaxaca y Veracruz – México. Esto con la finalidad de reducir los generadores eléctricos contaminantes como los combustibles fósiles, además de conocer el impacto que esto pudiera tener. Los datos usados para hacer el estudio del potencial eólico fueron adquiridos del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), tomados cada 10 minutos. El autor consideró el promedio de velocidades de viento, las direcciones de viento, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica a una altura de 20 m y otra a 40 m sobre el nivel del suelo. En el periodo de un año, la velocidad media del viento a 20 m fue 7.12673356 m/s en tanto que la velocidad media tomada a 40 m fue de 7.91370097 m/s. El estudio concluyó que Oaxaca es una región que posee un gran potencial eólico para explotar.

Encinas *et al.* (2015) realizaron un estudio denominado: Características del viento y del potencial eólico del altiplano central. El estudio fue llevado a cabo en la localidad de Patacamaya Bolivia, donde instalaron una estación meteorológica autónoma a 3798 m.s.n.m., como región representativa del altiplano boliviano, para poder estimar el



potencial eólico de la región. Los datos tomados fueron, la dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura y humedad relativa a intervalos de cinco minutos durante el periodo del 21 de setiembre 2010 hasta el 20 de enero del 2012. El estudio concluyó con un análisis estadístico de estimación del potencial eólico en el altiplano central, donde el potencial eólico fue de  $22.06 \text{ W/m}^2$  y la producción de energía  $235.36 \text{ kW-h/m}^2$ . Los vientos fueron unidireccionales, con una curva de distribución de curtosis (K) de  $3.1087 \text{ m/s}$  y con un valor medio de  $3.448 \text{ m/s}$ , según el estudio, dicho valor fue posible utilizarlo para la producción de energía en el altiplano central boliviano.

### **1.1.2. Antecedentes nacionales**

Castro y Cruz (2015) evaluaron la posibilidad de producir energía eléctrica a través del viento en el distrito de Quiruvilca, Santiago de Chuco, región La Libertad Perú. Usaron la data diaria de la estación meteorológica del SENAMHI ubicada en Quiruvilca 4727319A, en el periodo de los años que va del 2009 al 2014. Analizaron el comportamiento del viento, así como la modelación y simulación del potencial disponible. En el lugar de estudio, la dirección del viento fue hacia el sureste, con velocidades comprendidas entre  $4.17$  y  $5.47 \text{ m/s}$  a 10 metros de altura sobre el suelo. Además, considerando el valor de rugosidad de  $0.03$ , utilizaron la ley de la potencia logarítmica para extrapolar la velocidad del viento a alturas de  $30$ ,  $50$ ,  $70$  y  $90 \text{ m}$ . También, calcularon la distribución de Weibull para ajustar los datos a la distribución de la probabilidad de viento, determinándose velocidades entre  $4$  y  $8 \text{ m/s}$ , y la máxima frecuencia de  $14 \%$ . Por otro lado, la producción de energía eléctrica fueron simulados con aerogeneradores más comerciales, obteniendo potenciales que van entre  $353.5$  a  $7740.76 \text{ MW-h/año}$ . El análisis económico realizado arrojó que el precio de la producción de energía fluctúa entre  $0.03 - 0.14 \text{ \$/kW}$  y un tiempo de retorno de la inversión (TRI) de  $8.5$  años. El estudio concluyó que el aprovechamiento del potencial eólico en Quiruvilca fue factible para la producción de energía eléctrica, tanto económico técnico y ambientalmente.

Luque (2018) en su estudio, realizado en el distrito de Chiguata – Arequipa, evaluó la posibilidad de aprovechar el recurso del viento para la producción de energía eléctrica. En la investigación utilizó los datos del SENAMHI de la estación meteorológica ubicada en Chiguata, los datos analizados fueron la velocidad y dirección del viento, por un periodo de cuatro años, desde el 2013 hasta el año 2017. Primero, calculó la densidad del aire en el lugar sometido a estudio, luego extrapoló la velocidad del viento y calculó a diferentes alturas sobre el nivel de la superficie, a 30, 60 y 90 m, asimismo, aplicó la distribución Weibull para estimar la probabilidad que presente a 90 m una determinada velocidad de viento. Posteriormente, estimó la potencia eólica presente en el área, luego simuló la producción de energía para el lapso de un año, tomando como referencia varios tipos de aerogeneradores. Los resultados mostraron que a 90 m arriba del suelo, la velocidad promedio del viento en la zona estudiada fue de 4.8 m/s, esto indica, que en el lugar estudiado fue factible utilizar aerogeneradores para la producción de energía eléctrica. La dirección predominante del viento en la zona de estudio fue en dirección oeste, la producción teórica de energía es de 773.82 kW-h/año, para el estudio tomó como referencia el aerogenerador Enercon E-48 de potencia nominal de 800 kW.

Quiñones *et al.* (2019) realizaron un análisis cuantitativo y cualitativo del viento, planteándose como objetivo determinar el potencial eólico en los alrededores de la ciudad de Juliaca región de Puno (Perú). Analizaron los datos históricos del SENAMHI, correspondiente a los años 2013 - 2014, estos datos fueron comparados con data de la NASA (Surface Meteorology and Solar Energy. SSE, 2012). Con los datos de velocidad del SENAMHI obtuvieron la velocidad promedio del viento por cada mes, a una altura de 10 m de la superficie terrestre, luego, calcularon la velocidad promedio a una altura de 25 m mediante la extrapolación para el periodo de referencia. El estudio cuantitativo consistió en el análisis de la velocidad media horaria y media mensual del viento a 25 m sobre el nivel del suelo. Posteriormente, los datos de las velocidades medias diarias y mensuales de ambas entidades fueron comparadas. Observaron diferencia entre las velocidades promedio de viento, entre meses de primavera y verano de 8.93 %, mientras que la velocidad del viento superó los 3 m/s. Las direcciones predominantes del viento fueron de oeste y este. El análisis cualitativo fue la estimación del potencial eólico realizado mediante la distribución de Weibull, la densidad de potencia media anual a 25 m del nivel del suelo fue de 15.91 W/m<sup>2</sup>, duplicándose la potencia a los 50 m. El trabajo

de los investigadores concluyó que la ciudad de Juliaca, fue apta para instalar aerogeneradores eólicos de pequeña potencia, debido a que el viento no fue abundante y tuvo dirección cambiante.

Ccasani (2019) analizó los datos de vientos superficiales registrados durante el periodo comprendido entre los años 2000 al 2010 en el observatorio de Huancayo, perteneciente al Instituto Geofísico del Perú (IGP), tomados a 10 m de altura y a intervalos de 10 minutos. El objetivo fue la caracterización temporal del ciclo diurno y ciclo anual del viento en la zona central oeste del valle del río Mantaro para el potencial uso en la validación de modelos numéricos de la dinámica de la atmósfera, en la generación de la energía eólica y uso agrícola. El análisis fue realizado por separado del vector viento, la intensidad y los componentes zonal y meridional del viento. También calculó el ciclo diurno, la variabilidad interdiaria, el ciclo anual y la variabilidad interanual de los vientos. Realizaron gráficos de la rosa de vientos utilizando datos horarios, diarios y mensuales para conocer la variabilidad y frecuencia de ocurrencia de la dirección de los vientos. En el ciclo anual los vientos más intensos ocurrieron en los meses de julio a septiembre con dirección Sur Este (SE) a Nor Oeste (NO). Adicionalmente, realizó una evaluación del potencial eólico utilizando los datos horarios del viento superficial extrapolados a 98 m de altura, para el año 2009. También determinó el potencial de generación de energía eólica y la energía eléctrica generada (kw-h) para cada estación del año. Los resultados indicaron el potencial eólico aprovechable del viento fue aproximadamente 614.777 kW-h/año.

En la meseta andina distrito de Frías, provincia de Ayabaca, departamento de Piura hasta la fecha no se han realizado estudios de evaluación de estimación del potencial eólico o similares, la presente investigación es única realizada en la zona en mención.

### **1.1.3. Marco Normativo**

En el Perú se han dictado leyes referidas a las energías renovables, a continuación se describen:

## **Ley General del Ambiente N° 28611**

### **Artículo V.- Del principio de sostenibilidad**

La gestión del ambiente y sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente Ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

### **Artículo 77.- De la promoción de la producción limpia**

Las autoridades nacionales, sectoriales, regionales y locales promueven, a través de acciones normativas, de fomento de incentivos tributarios, difusión, asesoría y capacitación, la producción limpia en el desarrollo de los proyectos de inversión y las actividades empresariales en general, entendiendo que la producción limpia constituye la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada para los procesos, productos y servicios, con el objetivo de incrementar la eficiencia, manejar racionalmente los recursos y reducir los riesgos sobre la población humana y el ambiente, para lograr el desarrollo sostenible (Ley General del Ambiente N° 28611, 2005).

Las medidas de producción limpia que puede adoptar el titular de operaciones incluyen, según sean aplicables, control de inventarios y del flujo de materias primas e insumos, así como la sustitución de éstos; la revisión, mantenimiento y sustitución de equipos y la tecnología aplicada; el control o sustitución de combustibles y otras fuentes energéticas; la reingeniería de procesos, métodos y prácticas de producción; y la reestructuración o rediseño de los bienes y servicios que brinda, entre otras (Ley General del Ambiente N° 28611, 2005).

## **Decreto Legislativo N° 1002 Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables**

### **Artículo 1.- Objeto**

El Decreto Legislativo tiene por objeto promover el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables (RER) para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.

El decreto es de aplicación a la actividad de generación de electricidad con RER que empiece en operación comercial a partir de la vigencia del presente Decreto Legislativo. La obtención de los derechos eléctricos correspondientes se sujeta a lo establecido en el Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, el reglamento y normas complementarias.

Podrán acogerse a lo dispuesto en el presente decreto legislativo las nuevas operaciones de empresas que utilicen RER como energía primaria, previa acreditación ante el Ministerio de Energía y Minas.

### **Artículo 3.- Recursos Energéticos Renovables (RER)**

Para efectos del presente Decreto Legislativo, se entiende como RER a los recursos energéticos tales como biomasa, eólico, solar, geotérmico y mareomotriz. Tratándose de la energía hidráulica, cuando la capacidad instalada no sobrepasa de los 20 MW.

### **Artículo 4.- Autoridades competentes**

El Ministerio de Energía y Minas es la autoridad nacional competente encargada de promover proyectos que utilicen RER. Los gobiernos regionales podrán promover el uso de RER dentro de sus circunscripciones territoriales, en el marco del Plan Nacional de Energías Renovables.

### **Artículo 10.- Investigación sobre energías renovables**

El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas y los Gobiernos Regionales, implementará los mecanismos y acciones correspondientes para el desarrollo de

proyectos de investigación sobre energías renovables, promoviendo la participación de universidades, instituciones técnicas y organizaciones de desarrollo especializadas en la materia (Decreto Legislativo N° 1002- 2008- MINEM, 2008)

### **Política nacional energética del Perú 2010 – 2040**

Se mencionan los siguientes objetivos referidos al presente trabajo.

- a) Contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética.
- b) Contar con un abastecimiento energético competitivo.
- c) Acceso universal al suministro energético.
- d) Contar con la mayor eficiencia en la cadena productiva y de uso de energía.
- e) Lograr autosuficiencia en la producción de energéticos.
- f) Desarrollar un sector energético con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de desarrollo sostenible (Decreto Supremo N° 064- 2010-MINEM, 2010).

### **Ley N° 28546, de promoción y utilización de recursos energéticos renovables no convencionales en zonas rurales, aisladas y de frontera del país**

#### **Artículo 1°.- Objeto de la Ley**

La presente Ley tiene por objeto promover el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación, con el fin de contribuir al desarrollo integral de las zonas rurales, aisladas y de frontera del país, así como mejorar la calidad de vida de la población rural y proteger el medio ambiente.

#### **Artículo 2°.- Ámbito de aplicación**

Esta norma es de aplicación a los proyectos de electrificación basados en energías renovables no convencionales, que se desarrollen en zonas calificadas como rurales, aisladas y de frontera del país, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3° de la Ley N° 27744, Ley de electrificación rural y de localidades aisladas y de frontera.

#### **Artículo 6°.- Investigación de fuentes de energía renovable no convencional**

La autoridad nacional competente, en coordinación con los Gobiernos Regionales, implementará los mecanismos y acciones correspondientes para el desarrollo de proyectos de investigación de fuentes de energía renovable no convencional, destinados a electrificación rural, para lo cual contará con la participación de las universidades nacionales y de las instituciones técnicas especializadas en la materia (Ley de promoción y utilización de recursos energéticos renovables no convencionales en zonas rurales, aisladas y de frontera del país N° 28546, 2005).

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. Importancia de la energía para la humanidad**

La energía es el motor para la producción de bienes y servicios en los distintos sectores económicos: agricultura, industria (minería y manufactura), transporte, comercio, administración pública, etc. Asimismo para la prestación de servicios sociales básicos (atención de salud, agua no contaminada, saneamiento, etc.), la mejora del acceso a la enseñanza, en última instancia, el aumento de los ingresos. La energía es esencial para todas las actividades humanas es fundamental para el desarrollo social y económico. La falta de energía es uno de los factores que contribuyen a profundizar la pobreza de individuos, comunidades, naciones y regiones. En cambio, el acceso a la energía brinda muchas oportunidades nuevas. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas no pueden lograrse sin el acceso a servicios energéticos asequibles (Organismo internacional de Energía Atómica [IAEA], 2009).

En el séptimo objetivo de sostenibilidad de las Naciones Unidas referido a la energía asequible y no contaminante, con proyección al 2030, menciona que la energía es fundamental para hacer frente a los grandes desafíos que el mundo enfrenta entre ellos el cambio climático, la producción de alimentos y el aumento de los ingresos, es primordial el acceso universal a la energía.

Trabajar para alcanzar las metas de este objetivo es especialmente importante ya que afecta directamente en la consecución de otros objetivos de desarrollo sostenible. Es

vital apoyar nuevas iniciativas económicas y laborales que aseguren el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoren el rendimiento energético y aumenten el uso de fuentes renovables para crear comunidades más sostenibles e inclusivas y para la resiliencia ante problemas ambientales como el cambio climático.

El avance en todos los ámbitos de la energía sostenible no está a la altura de lo esperado, lograr su acceso universal y alcanzar las metas de este Objetivo. Es necesario incrementar el uso de energía renovable en sectores como el de la calefacción y el transporte. Para ello es necesario las inversiones públicas y privadas en energía; así como mayores niveles de financiación y políticas con compromisos más audaces, además de la buena disposición de los países para adoptar nuevas tecnologías a mayor escala (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018).

### **1.2.2. Tipos de energías**

#### **Energías no renovables**

La mayoría de los países en el mundo dependen del carbón, el petróleo y el gas natural como fuente de energía. Estos combustibles de origen fósil no son renovables, es decir, existen fuentes finitas de cada uno de estos recursos, que finalmente se terminarán por su uso, serán demasiado costosos o demasiado nocivos para el ambiente al momento de extraerlos. Sin embargo, otros tipos de energía como el viento y el sol son renovables, ya que constantemente se renuevan y por tanto no se agotan (Badii *et al.* 2016).

#### **Energías renovables**

Actualmente la crisis energética es una preocupación mundial, la producción de energías a partir de petróleo, carbón y gas natural (combustibles fósiles), son recursos agotables y se ha estimado que las reservas existentes no abastecerán las necesidades de la población mundial con tendencia creciente. Por otra parte, la combustión de energías fósiles es una de las principales fuentes de emisión de gases invernadero. Las fuentes energéticas que provienen de energías renovables son consideradas como una alternativa y posible solución a esta problemática (Almonacid y Nahuelhual, 2009).



Las energías renovables se definen como inagotables, es decir, que se renuevan constantemente, lo que no ocurre con los combustibles fósiles, que existen en determinadas cantidades o reservas, finitas para un determinado tiempo. Las más importantes energías renovables existentes sobre la tierra se pueden nombrar: la geotérmica, la energía marina, biomasa, hidráulica, eólica y la solar. El sol influye directa o indirectamente en la generación de energías renovables; constituyen una excepción, la energía que proviene de las mareas y la geotérmica y la de las mareas (Schallenberg *et al.*, 2008).

Con los compromisos asumidos en el Protocolo de Kioto firmado en el 1997 la producción de las energías renovables han tenido un impulso considerable, el tratado promovió la implementación de las energías renovables a largo plazo. Esto ha permitido realizar investigaciones multidisciplinarias, plantear incentivos y políticas que permitan aprovechar estos recursos naturales. Las energías renovables han tenido dificultad en ser aceptadas, debido a las discrepancias tecnológicas con el sistema eléctrico preexistente y al plan de incentivos que les permitan ser económicamente competitivas (Bojorquez, 2018).

### **1.2.3. Ventajas de las energías renovables**

Las energías renovables tienen beneficios económicos que son superiores a sus costos. Las energías no convencionales frente a otras fuentes de energía convencionales son cada vez más competitivas. Además, en la etapa de fabricación generan muchos de puestos de trabajo tanto, así como en los procesos de instalación, mantenimiento y comercialización, contribuyendo en gran modo al desarrollo de la economía de un país (Shephard, 2018).

Para Oviedo *et al.* (2015), las ventajas de las energías renovables son las siguientes:

- Son energías limpias: con bajo riesgo de contaminación, no producen gases de efecto invernadero, ni mareas negras, ni residuos peligrosos. Son fáciles de desmantelar y no se requiere custodiar sus residuos.

- Son seguras: en comparación a los riesgos presentados por fallas en una central nuclear.
- Son inagotables: porque son fuentes de energías renovables, como el sol, el viento, así como también se podría incluir al agua.
- Son autóctonas: se utilizan cerca de donde se producen, por lo que son independientes del exterior, y generan más empleo local. Reducen la dependencia energética por la autonomía frente a posibles conflictos.
- Son diversas: incluyen la solar, hidráulica, eólica, biomasa, geotérmica, marina, lo que permite a cualquier región del planeta autoabastecerse de estas energías renovables. Cada ciudad debe adaptarse a las energías renovables de acuerdo a su realidad para escoger entre la que más sea conveniente.
- Son responsables: respetan más los recursos naturales debido a su escaso impacto ambiental.
- Son personales: no se requieren grandes empresas ni grandes inversiones para producir un poco de electricidad. Cualquier ciudadano puede convertirse fácilmente en productor de electricidad si tiene una vivienda bioclimática.
- Son diversas y se autoabastecen: genera recursos por sí misma. Desarrolla la industria y la economía de la región en la que se instala, generando gran cantidad de puestos de trabajo.

#### **1.2.4. Energía eólica**

La energía eólica deriva del calentamiento diferenciado de la atmósfera y del relieve irregular de la superficie. La Tierra recibe una pequeña parte de energía solar que es convertida en energía cinética del viento, pudiendo proporcionar hasta cinco veces del total de electricidad que es demandada en toda la tierra, sin causar contaminación ambiental (Santamarta, 2004).

La potencia que se puede obtener con un generador eólico es proporcional al cubo de la velocidad del viento; al duplicarse la velocidad del viento, la potencia se multiplica por ocho, por eso la velocidad promedio del viento es importante cuando se pretende desarrollar un proyecto de instalación de una planta eólica. La energía que proporciona el viento es un recurso que varía, tanto en el tiempo así como de un lugar a otro, pudiendo cambiar mucho en distancias muy reducidas. Generalmente, las zonas de la

costa y las cumbres de las montañas son las zonas adecuadas y mejor dotadas de recurso eólico que puede ser aprovechado para la producción de energía eléctrica (Santamarta, 2004).

La energía eólica es la energía producida por el viento, es una forma indirecta de energía solar, alrededor del 1 o 2 % de la energía que proviene del sol es convertida en viento, esto se debe al calentamiento desigual de la superficie terrestre ocasionando el movimiento del aire, el mismo que puede transformarse en energía mecánica o eléctrica (Salazar, 2019).

### **1.2.5. Historia del uso de la energía eólica**

Este tipo de energía es una de las más antiguas usadas por la humanidad. Desde el siglo II a. C., en China los hombres utilizaban los molinos de viento para moler granos o bombear agua. Con la llegada de la electricidad, a finales del siglo XIX los primeros aerogeneradores se basaron en la forma y el funcionamiento de los molinos de viento, sin embargo, hasta hace poco tiempo la generación de electricidad a través de aerogeneradores no ha jugado un papel importante. La primera persona que utilizó el viento para generar electricidad fue Charles F. Brush, en el año 1888, quien construyó el molino de poste que parecía un ventilador gigante con una cola que podía hacer girar el rotor con el viento. El molino de poste producía alrededor de 12 kW, cantidad que cargaba las baterías en el sótano de la casa de Brush. Estas suministraban energía a las lámparas a pequeños motores eléctricos (Oviedo *et al.*, 2015).

Con la primera crisis del petróleo, sobre todo a partir de los movimientos contra la energía nuclear en el continente Europeo, se despertó el interés en las energías renovables, por ello buscaron nuevos caminos para explotar los recursos del planeta, tanto ecológicamente como rentables económicamente. Los aerogeneradores de aquella época eran demasiado caros, y el elevado precio de la energía que se obtenía a través de los mismos era un argumento para estar en contra de su construcción. Debido a esto, los gobiernos internacionales promovieron la energía eólica en forma de programas de

investigación y de subvenciones, la mayoría de las mismas aportadas por los gobiernos regionales. Fue así como se crearon institutos de investigación que han llevado a cabo una estandarización de las instalaciones y de los métodos de seguridad que han alcanzado un mejor rendimiento económico de las instalaciones. Los altos costes de generación de electricidad a partir del viento se redujeron considerablemente en el año 1981 al 50 % con el desarrollo de un aerogenerador de 55 kW. Las organizaciones ecológicas consideran la energía eólica una de las fuentes de energía más económicas si incluimos los costes externos de generación de energía, por ejemplo, los daños al medio ambiente (Oviedo *et al.*, 2015).

A lo largo de la historia, las energías renovables fueron usadas por la humanidad, como fuente de energía; fue hasta después de la revolución industrial cuando se generaliza el uso de los combustibles fósiles en la producción energética. Durante, unos 200 años, el consumo de energía fue creciente e intensivo que prácticamente ha terminado con los combustibles como el carbón el petróleo (Schallenberg *et al.*, 2008).

El hombre empezó a utilizar fuentes energéticas aprovechando las fuerzas que la naturaleza le proporcionaba, hace unos 2000 años atrás, tales como la energía del agua y, hace unos 1000 años, la energía del viento. Aparecen así los molinos de agua, primero, y luego los molinos de viento, que se utilizaron en un inicio para moler grano (Schallenberg *et al.*, 2008).

El uso más antiguo de la energía eólica del que se tiene documentación es como medio de locomoción. Existen dibujos egipcios de 5000 años de antigüedad, que muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo. Hasta el siglo XIX, con el perfeccionamiento e introducción de las máquinas de vapor, la navegación dependió casi exclusivamente de este recurso energético. Ya en el siglo XX, con la invención de los motores de combustión interna, la navegación a vela quedó relegada solo a las actividades deportivas y a algunas actividades comerciales en pueblos costeros. Recientemente, sobre todo motivadas por los aumentos de los precios del petróleo de los años 1973 y 1979, se realizaron experiencias y construyeron barcos prototipo que

utilizan la energía eólica como medio para ahorrar combustible. En transporte transoceánico, con los diseños actuales, podrían alcanzarse ahorros del orden del 10 % (Moragues y Rapallini, 2003).

### **Potencia eólica en el mundo**

La potencia eólica instalada en el mundo creció en 9.6 % en el 2018, hasta situarse en 591.000 MW, según datos del Global Wind Energy Council (GWEC). China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los primeros productores mundiales (Asociación Empresarial eólica [AEA], 2019), tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

*Potencia eólica instalada en el mundo (MW)*

<b>País</b>	<b>2018</b>
China	211.392
Estados Unidos	96.665
Alemania	59.311
India	35.039
España	23.484
Reino Unido	20.970
Francia	15.309
Brasil	14.702
Canadá	12.805
Italia	9.958

*Fuente:* AEA, 2019.

En el 2018, el mercado eólico, según los estudios del Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC), en el mundo la potencia eólica instalada bordea los 591 GW. China, EE.UU., Alemania e India son los países con mayor potencia eólica. En América del Sur, Brasil instaló cerca de 2 GW, en medio de la crisis política y económica, también México acumuló aproximadamente de 1 GW. Según informaciones de GWEC, en el 2018, en toda Sudamérica habría instalado 11.9 GW, con un aumento del 12 % en comparación con el año 2017 (AEA, 2019), como se observa en la Figura 1.

## EVOLUCIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA EN EL MUNDO (EN MW). AÑO 2018

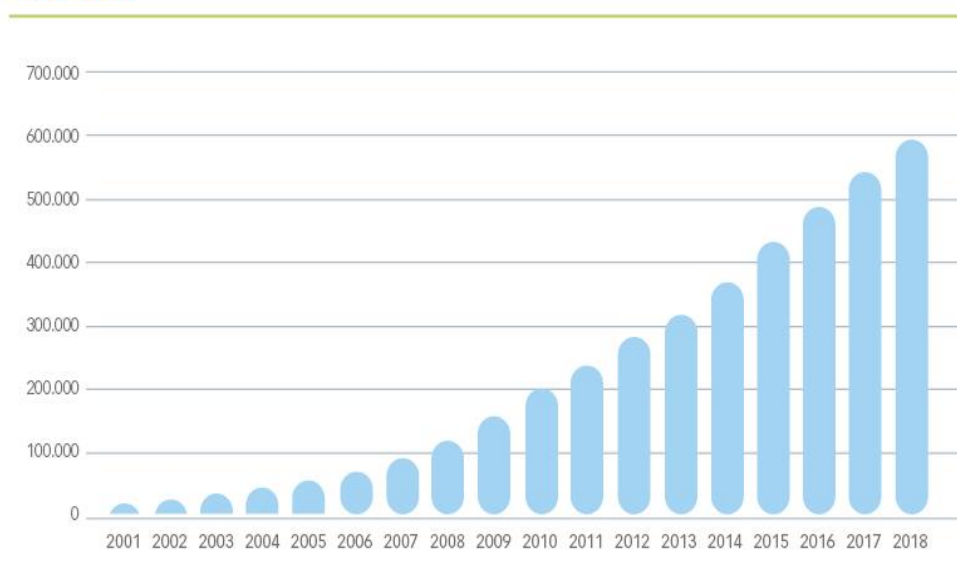


Figura 1. Evolución de la potencia eólica (MW). Fuente: AEA, 2019.

### Energía eólica en el Perú

En el año 2010, en el Perú, de las 45 empresas que generaron energía eléctrica por encima de los 20 MW para el consumo nacional, 15 de ellas lo hicieron mediante centrales térmicas, utilizando bagazo, carbón y derivados del petróleo como combustible para su funcionamiento, siendo estos costosos y altamente nocivos para el medio ambiente. El Estado peruano, en la búsqueda de contrarrestar este problema económico y ambiental, ha implementado políticas para el aprovechamiento de los recursos naturales, como el Decreto Legislativo N° 1002, que promueve la inversión en electricidad con el uso de energías renovables. Esta norma fue reglamentada en el año 2008 y el Ministerio de Energía y Minas viene convocando licitaciones para la realización de proyectos de plantas eólicas, puesto que, actualmente, es el único rubro de energías renovables con proyectos, siendo el parque eólico de Marcona de 32 MW, en la provincia de Ica, el primer parque eólico inaugurado en el Perú Herrada *et al.* (2014).

En abril de 2014, se instaló en Marcona el primer parque eólico del Perú de grandes dimensiones (32 MW). En agosto y septiembre de ese mismo año se conectaron a la red

los parques eólicos de Cupisnique (Pacasmayo, La Libertad) con 80 MW y Talara (Piura) con 30 MW respectivamente. A principios de 2016 se conectó el parque eólico Tres Hermanas (Ica) con 97 MW de potencia instalada. La capacidad nominal de todas las instalaciones eólicas conectadas a la red pública hoy en día es de 239 MW.

En febrero de 2016, se resolvió la adjudicación de potencia de la Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), donde en primera ronda se adjudicó un proyecto eólico de 126 MW (de los 34 proyectos eólicos presentados en primera ronda) y en segunda ronda se adjudicaron dos proyectos eólicos de 18 MW cada uno (del total de los siete proyectos eólicos presentados en segunda ronda). La potencia total asignada fue de 162 MW (MINEM, 2016).

En las regiones del país el potencial eólico del Perú no está determinado, existen y se están realizando mediciones del recurso eólico en zonas puntuales, sin embargo, se está avanzando lentamente con valores obtenidos del atlas eólico que contiene datos referenciales (Ramírez, 2015).

#### **1.2.6. Ventajas de la energía eólica**

- Es energía renovable e inagotable.
- Es una energía limpia, sin emisión de gases de efecto invernadero.
- El ruido ocasionado por los aerogeneradores es muy bajo, puede mantenerse una conversación sin esfuerzo en la base del mismo. Se podría decir que el sonido es comparable un frigorífico a una distancia de 50 metros.
- Las plantas eólicas, solo ocupan un porcentaje de 2 % de la tierra. El 98 % puede ser usado para otros fines como en la producción de pastos, obras viales, fábricas, entre otros.
- En los aerogeneradores se viene utilizando la más reciente tecnología y se sigue innovando actualmente por lo que hace flexible el diseño de aerogeneradores.

- Es considerada como la energía renovable con mayor ritmo de crecimiento en la última década (Pérez, 2018).

### **1.2.7. Impactos ambientales de la energía eólica**

#### **Impacto visual**

En las instalaciones eólicas, el impacto visual depende de criterios fundamentalmente subjetivos. Una planta eólica con pocos aerogeneradores, para algunas personas, consideran que es llamativo, debido a que atraerá visitantes, en tanto que con mayor número de máquinas eólicas, el impacto visual se hace más notorio. En ambos casos provocan un impacto paisajístico (Luque, 2018).

#### **Impacto sobre las aves**

Estudios realizados sobre energía eólica concluyen que la muerte de aves en las plantas eólicas por colisión con las aspas, es muy bajo, en comparación a la muerte por causas naturales. Según los resultados de un estudio español, descubrió que el porcentaje de colisiones de aves con las aspas de los aerogeneradores es de alrededor de 0.1 %. En Dinamarca, estudios similares realizados, concluyeron que ante la presencia de aerogeneradores, las aves se acostumbran rápidamente y desvían su trayectoria durante el vuelo para evitar colisionar (Luque, 2018).

#### **Impacto acústico**

En la década de 1980, se determinó que el origen del ruido de las máquinas eólicas se debía a las formas como eran diseñadas, en los últimos tiempos, se ha investigado mucho respecto al impacto acústico y se ha logrado bajar el nivel de ruido a menos de la mitad. Esto ha permitido que las poblaciones más cercanas a las plantas eólicas no



detectan ningún incremento en el sonido, al contrario notándose mucho más, el ruido producido por el propio viento (Luque, 2018).

## **Impacto social**

Ante la implementación de parques eólicos, la población, muchas veces responde negativamente, esto obliga al desarrollo de proyectos offshore dentro de zonas marinas alejadas de la población, factor que eleva los costos de interconexión a la red eléctrica (Gómez, 2015).

### **1.2.8. Seguridad energética y energías renovables**

La combustión de los combustibles fósiles usados para producir energía térmica y eléctrica produce gases contaminantes de efecto invernadero (GEI), estos a su vez causan efectos nocivos al ambiente. La Agencia Internacional de Energía (AIE), en el año 2015, preparó un informe sobre la producción y uso actual de energía no es compatible, el informe sostiene que no es sostenible con los requisitos ambientales internacionales, ni pasa la prueba de seguridad energética. El informe del año 2013, la AIE establece las dos terceras partes de las emisiones de los gases de efecto invernadero, provienen del sector energético y por tanto sobre este mismo recae la responsabilidad de alcanzar o no los objetivos del cambio climático. Es necesario que los países industrializados adopten medidas más efectivas de regulación y control de los GEI, e implementen políticas y tecnologías de producción y desarrollo más limpio Umbarila *et al.* (2016).

## **1.3. Parámetros eólicos**

### **1.3.1. Viento**

En la tropósfera, el movimiento de las masas de aire origina el viento, en la capa más baja de la atmósfera. Es decir, las masas de aire caliente ascienden dejando vacío para

las capas de aire frío, en el gradiente vertical de presión origina movimientos verticales en las masas de aire, aunque de menor intensidad que los horizontales. Los vientos que se producen en la atmósfera, son importantes para la producción de energía especialmente, los que se producen a nivel de la superficie terrestre (Mur, 2005).

### **1.3.2. Turbulencia**

La velocidad del viento es influenciada por la turbulencia, siendo estas, la presencia de cambios repentinos e instantáneos en la dirección del viento, que son originados especialmente en lugares donde existe la presencia de obstáculos como los edificios, la vegetación, e inclusive los mismos aerogeneradores. Por ello, para evitar el efecto de las turbulencias, al momento de instalar los aerogeneradores en el parque eólico, es recomendable mantener una distancia mínima de entre 3-5 veces el diámetro del rotor, además de aumentar la altura de las turbinas (Puerta, 2018).

### **1.3.3. Potencial eólico**

La velocidad potencial de viento, es un concepto importante, se define como la velocidad con la que sopla el viento en un terreno totalmente abierto y plano, generalmente a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo. La velocidad de viento potencial es básicamente una magnitud de escala media que no depende de características de rugosidad de la zona. En un terreno abierto y plano, esta velocidad se relaciona con el de viento a 60 y 100 metros de altura sobre el terreno. Estas alturas son las consideradas en la elaboración de los mapas eólicos (Pinilla, 1997).

### **1.3.4. Energía obtenible del viento**

Moragues y Rapallini (2003), plantean 6 ecuaciones que permiten realizar el cálculo de la energía obtenible del viento, las mismas que a continuación se describen:

$$E_c = \frac{1}{2}mV^2 \quad \dots \text{ecuación (1)}$$

Donde:

$E_c$  = energía cinética [J/s]

$m$  = flujo de aire [kg/s]

$V$  = velocidad del viento [m/s]

Asumiendo que el área barrida por las palas del aerogenerador representa un área de captación  $A$ , y la dirección del viento es perpendicular, el flujo de aire circulante que la atraviesa será:

$$P_a = \frac{1}{2}\eta\delta V^3 \quad \dots \text{ecuación (2)}$$

Siendo  $d$  = densidad del aire [ $\text{kg/m}^3$ ]

$A$  = área de captación [ $\text{m}^2$ ]

La máxima energía teórica captada por unidad de tiempo cuya área es ( $A=1$ ) que es extraída de una masa de aire en movimiento:

$$P_m = \frac{1}{2} \delta V^3 \quad \dots \text{ecuación (3)}$$

En un estudio eólico, la potencia meteorológica se expresa en  $\text{W/m}^2$ , la velocidad del viento, que atraviesa la superficie de captación, no es nula, la potencia dada en la ecuación anterior, no será totalmente aprovechable. Betz determinó que ningún rotor es ideal, la máxima energía recuperable, que produce una máquina eólica, es equivalente a  $16/27$  ( $\approx 60\%$ ) de la energía total. Esto implica que es necesario conocer la eficiencia o rendimiento  $\eta$  de la máquina eólica, para caracterizar la velocidad del viento.

La potencia total para el área descrita por las palas en movimiento

$$A = \pi R^2 = \pi D^2/4 \dots \text{ecuación (4)}, \text{ en } \text{W/m}^2, \text{ queda como:}$$

$$P_t = \frac{1}{2}\eta\delta(\pi D^2/4)V^3 \dots \text{ecuación (5)}$$

Siendo:  $D$  y  $R$  = diámetro y radio del rotor expresado en metros. La densidad media del aire es  $1.225 \text{ kg/m}^3$ , valor que multiplicado por  $\pi/4$  da aproximadamente 1. Por lo tanto,

se puede expresar la potencia obtenible de una máquina eólica, tomando el diámetro en metros y la velocidad en metros por segundo, como:

$$P \approx \frac{1}{2} \rho V^3 \dots \text{ecuación (6)} \text{ (Moragues y Rapallini, 2003).}$$

### 1.3.5. Variación vertical del viento

Los gradientes verticales de temperatura están estrechamente relacionados con la variación vertical del viento, es decir, con la estabilidad atmosférica. Se determina mediante la ley potencial,  $V/V_0 = (h/h_0)^\alpha$ , donde  $\alpha$  es un parámetro que está en función de la cobertura vegetal y del factor de rugosidad del terreno.

#### Determinación de la atmósfera neutra y homogénea en alturas inferiores a 100 m

$$V = \frac{V^*}{K \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \dots \text{ecuación (7)} \text{ (Mur, 2005)}$$

Donde  $V^*$  Velocidad de fricción,  $k$  es una constante, y  $z_0$  es la longitud de rugosidad superficial.

#### Atmósfera no neutra

$$V = \frac{V^*}{K \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0} - \Psi\left(\frac{z}{L}\right)\right)} \dots \text{Ecuación (8)} \text{ (Mur, 2005)}$$

La función correctora por la estabilidad atmosférica se representa por el símbolo Psi ( $\Psi$ ) que tiene como valor negativo de  $-4.7 \cdot z/L$  para atmósfera estable cuando ( $L \geq 0$ ) y  $(1-16 \cdot z/L)^{1/4-1}$  para atmósfera estable cuando ( $L < 0$ ) siendo  $L$  es la longitud de Monin - Obukhov, cuyo valor es  $L = (C_p/k) \cdot (T_0/g) \cdot (v^*3/H_0)$ , siendo:

$C_p$  : calor específico del aire a presión constante

$T_0$  y  $H_0$  : temperatura absoluta y el flujo de calor en la superficie del suelo

Para estimar la longitud de la rugosidad a partir de las medidas de velocidad del viento de una altura  $z$ , a otra altura  $z'$ , asumiendo el comportamiento de una atmósfera neutra, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\frac{V(z')}{V(z)} = \frac{\ln z' - \ln z_0}{\ln z - \ln z_0} \quad \dots \text{Ecuación (9) (Mur, 2005, p. 7)}$$

### 1.3.6. Valores de rugosidad del suelo

Son importantes en los estudios eólicos, como se aprecia el coeficiente de fricción del suelo tiene valores para cada tipo de suelo que se empleará más adelante en el cálculo de la extrapolación del viento como se muestra en la Figura 2



Figura 2. Valores de rugosidad del suelo. Fuente: Mur, 2005.

### 1.3.7. La Ley de Betz

Albert Betz fue un reconocido físico alemán considerado uno de los pioneros de las turbinas, la Ley de Betz, es utilizada en el actual mecanismo de aprovechamiento del aire, propuso en una su obra Energía Eólica la utilización de los molinos de viento en

1926, propuso un tipo de ley que hasta hoy se conserva en los campos de aprovechamiento de esta energía. En el estudio realizado por Betz, concluye que un rotor que se encuentre en su máxima capacidad para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica, solo logrará aprovechar entre el 59.6 % y 59.3 %, esta ley del aprovechamiento de fluidos newtonianos, en este caso específicamente el aire en altas velocidades y en movimiento, se conoce comúnmente como el Limite de Betz que no es más que la máxima potencia que puede ser extraída del viento (Antolínez, 2017).

### 1.3.8. Escala de Beaufort

La Escala de Beaufort mide empíricamente la intensidad del viento, está basada principalmente en los estados de las olas del mar. La denominación completa es Escala de Beaufort de Fuerza de Vientos (Luque, 2018).

La tabla Beaufort es la referencia internacional que clasifica y define cada tipo de viento en función de su velocidad, esta se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

*Escala de Beaufort*

<b>Fuerza</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Denominación</b>
0	0 – 0.5	0 - 1	Calma
1	0.6 – 1.7	2 - 6	Ventolina
2	1.8 – 3.3	7 - 12	Suave
3	3.4 – 5.2	13 - 18	Leve
4	5.3 – 7.4	19 - 26	Moderado
5	5.7 – 9.8	27 - 35	Regular
6	9.9 – 10.4	36 - 44	Fuerte
7	12.5 – 15.2	45 - 54	Muy fuerte
8	15.3 – 18.2	55 - 65	Temporal
9	18.3 – 21.5	66 - 77	Temporal fuerte
10	21.6 – 25.1	78 - 90	Temporal muy

---

			fuerte
11	25.2 - 29	91 - 104	Tempestad
12	Más de 29	Más de 104	Huracán

---

*Fuente:* (Bornay Aerogeneradores, 2011, p. 36).

## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Diseño de la investigación**

La presente investigación es de tipo descriptivo:

La investigación descriptiva como su mismo nombre lo dice, se basa en la descripción, registro, análisis e interpretación de los fenómenos y panorama actual, relacionado al tema de investigación. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes, sobre un individuo o una población. La investigación descriptiva se basa en realidades de hecho, la característica principal de la investigación descriptiva es presentar una interpretación correcta de un fenómeno (Tamayo, 2003).

### **2.2. Lugar y Fecha**

El estudio se realizó por un periodo de tres meses en el caserío de Arenales Meseta Andina cuyas coordenadas son, latitud  $4^{\circ} 56'9''$  y longitud  $79^{\circ} 53'26''$ , distrito de Frías, provincia de Ayabaca, departamento de Piura. Los límites del distrito de Frías, son los siguientes:

Norte: Sapollica

Nor este: Lagunas y Pacaypampa.

Nor oeste: Tambo Grande.

Sur este: Santo Domingo y Chalaco.

Sur oeste: Chulucanas.



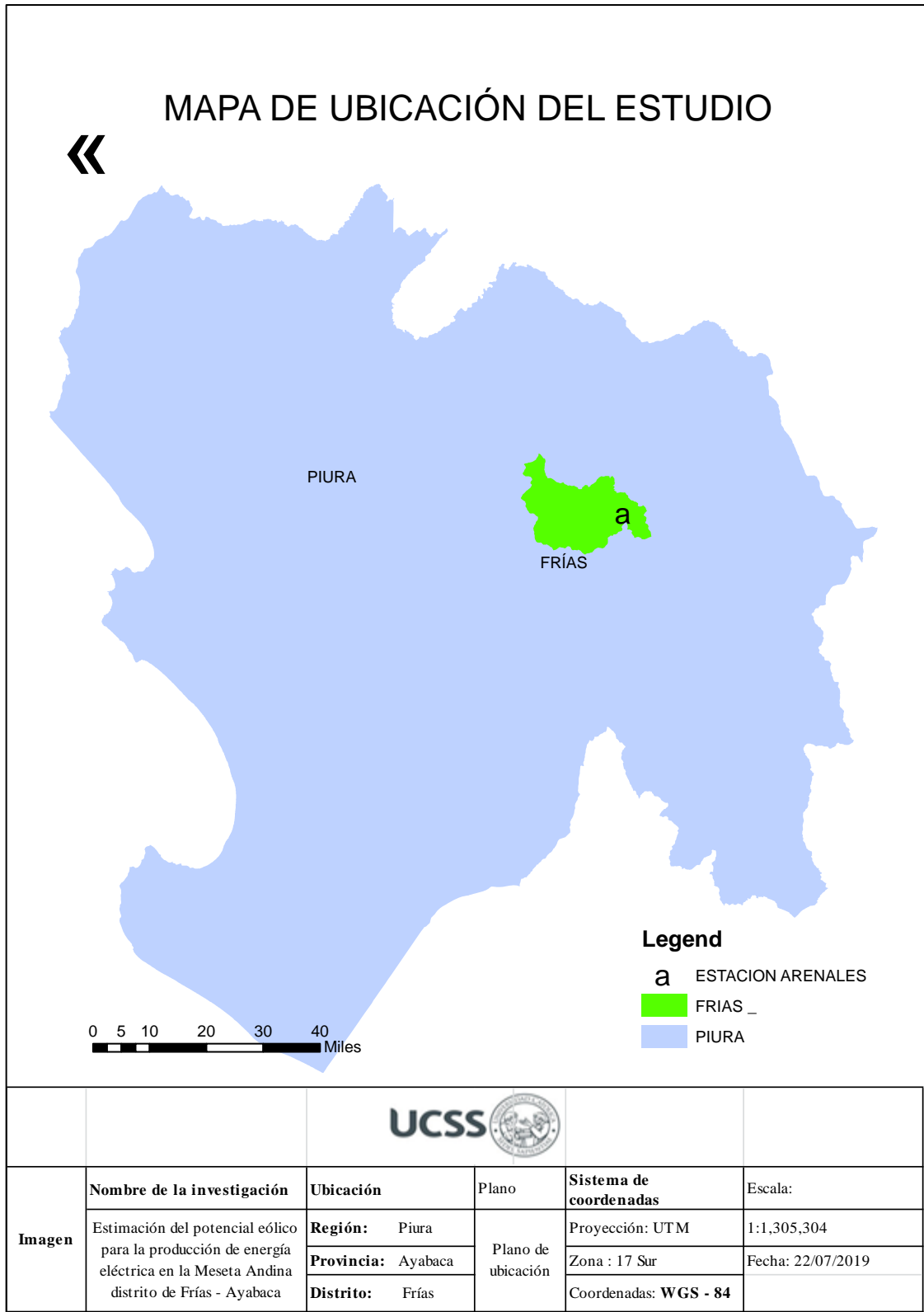


Figura 3. Mapa de ubicación del estudio. Fuente: Elaboración propia.

### **2.3. Software utilizado**

- Excel.
- WRPLOT VIEW versión 8.0.2.

### **Instrumentación**

01 Estación meteorológica hidrológica de Arenales (SENAMHI).

01 Anemómetro modelo ABH – 4224.

01 Veleta.

01 Laptop.

01 Calculadora científica.

### **2.4. Descripción del trabajo de pre campo**

Para el estudio, se recopilaron datos de los archivos históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación meteorológica ubicada en el Caserío de Arenales Meseta Andina. La data comprende desde el mes de agosto de 1986 hasta el mes de agosto de 1991, periodo en que estuvo funcionando la mencionada estación.

Tabla 3

*Datos generales de la estación Arenales*

<b>Dato</b>	<b>Descripción</b>
Estación	Arenales
Tipo	Convencional – meteorológica
Departamento	Piura
Provincia	Ayabaca
Distrito	Frías
Caserío	Arenales
Latitud	4°55'1" sur
Longitud	75°51'1" oeste
Altitud	3093 m.s.n.m.

*Fuente:* Elaboración propia.

Según el Atlas eólico del Perú del año 2016, las zonas con mayor potencial eólico se encuentran en las zonas de costa, así como en ciertas regiones de la sierra, mientras que las zonas de selva tienen un potencial mucho menor que el resto.

Existen algunas zonas en la sierra que pueden resultar de interés desde el punto de vista del recurso eólico disponible. Dado que existe un menor conocimiento de estas áreas (puesto que no se han llevado a cabo campañas de medidas eólicas intensivas) es necesario validar los resultados del Atlas Eólico en estas zonas (MINEM, 2016).

En la Figura 4, se observa las velocidades del viento en las todas las regiones del Perú, donde el color marrón representa la máxima velocidad del viento.

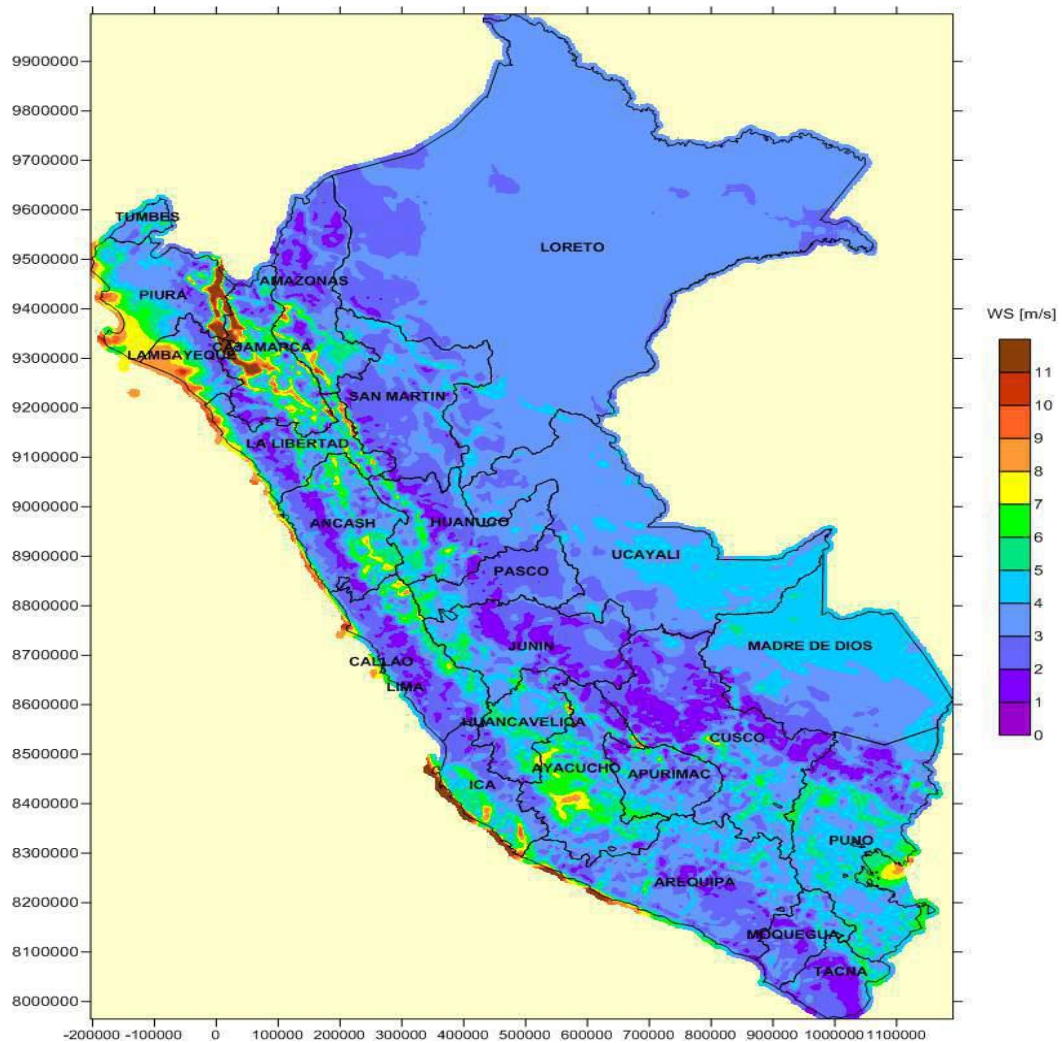


Figura 4. Mapa eólico del Perú. Fuente: MINEM, 2016.

En las Tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se presentan el promedio de las velocidades de viento, de la estación Arenales, redondeadas a 2 decimales, desde el mes de agosto de 1986 hasta agosto de 1991. Las horas de toma de las velocidades de viento según los datos históricos del SENAMHI han sido registradas todos los días a las 13:00 horas de cada mes del año.

Según los datos históricos de SENAMHI, la mayor velocidad del viento en el año de 1986 se presenta en el mes de setiembre y las velocidades más elevadas fueron en los meses de agosto y setiembre y la mínima en el mes de diciembre como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

*Promedio de la Velocidad del viento en el año 1986*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Velocidad								10.39	10.75	8.7	7.63	7
m/s												

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

En el año 1987, las velocidad mínima es de 6.18 m/s registrada en el mes de noviembre y la máxima es de 12.3 m/s del mes de junio se aprecia en la Tabla 5.

Tabla 5

*Promedio de la velocidad del viento en el año 1987*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Velocidad												
m/s	7.3	9.3	8.6	6.5	9.2	12.3	9.14	12	7.13	6.97	6.18	7.04

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

En la Tabla 6, se puede apreciar que la velocidad máxima del viento en el año 1988 se presenta en el mes de julio y la velocidad mínima en el mes de enero.

Tabla 6

*Promedio de velocidad del viento en el año 1988*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Velocidad												
m/s	5.3	5.33	7.25	5.45	7.18	7.68	11.63	9.48	9.23	6	6.43	5.4

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

En la Tabla 7, se aprecia las velocidades de viento correspondiente al año 1989, donde la velocidad máxima del viento se presentó en el mes de julio y la mínima en el mes de marzo.

Tabla 7

*Promedio de la velocidad del viento en el año 1989*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov	Dic.
Velocidad												
m/s	7.15	5.48	4.43	6.58	9.29	7.29	11.23	10.34	8.71	6.42	8.29	7.26

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

En la Tabla 8, en el año 1990, se aprecia que la máxima velocidad del viento se produjo en el mes de julio y la mínima en octubre. Cabe señalar que en el mes de agosto, según los datos históricos del SENAMHI, no existen datos registrados.

Tabla 8

*Promedio de la velocidad del viento en el año 1990*

Mes	Ene	Feb.	Mar	Abr	May.	Jun	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov	Dic.
Velocidad												
m/s	8.86	5.3	7.29	6.08	10.36	9.87	10.48	-----	8.79	5.28	6.81	6.74

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

En la Tabla 9, se observa respecto al año 1991, que la máxima velocidad de viento corresponde al mes de agosto y la mínima a marzo. Los datos registrados por la estación Arenales solo fueron registrados hasta el mes de agosto del mismo año.

Tabla 9

*Promedio de la velocidad del viento en el año 1991*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Velocidad												
m/s	7.72	7.39	5.6	6.33	7.43	7.93	9.23	14.34	-----	-----	-----	-----

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

La Tabla 10 presenta los promedios de velocidad del viento durante los seis años que al promediarlos se obtuvo el valor de 7.95 m/s, la máxima velocidad se presentó en el año 1986 y la más baja en el año 1988.

Tabla 10

*Promedio de la velocidad del viento para los 6 años*

Año	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Velocidad (m/s)	8.89	7.86	7.20	7.71	7.81	8.25

*Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos de SENAMHI.

Se ha podido observar que las tendencias en todos los años son similares, es así que las máximas velocidades de viento se presentaron en los meses de junio, julio y agosto y las más bajas velocidades se presentaron en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y marzo.

## **2.5. Descripción del trabajo de campo**

### **2.5.1. Obtención y tratamiento de datos eólicos**

El estudio fue complementado con la toma de datos para comparar los cambios de comportamiento del viento dado que la última medición registrada por la estación Arenales data del mes de agosto de 1991.

La frecuencia de toma de datos se efectuó a cada hora, durante los días 1, 15 y 30 de los meses de abril, mayo y junio del año 2018, dicha metodología fue adoptada a criterio propio del tesista, se registró los datos de velocidad y dirección del viento tal como se muestra en el Apéndice 1.

### **Medida de la velocidad del viento**

La velocidad del viento se tomó con el anemómetro modelo ABH – 4224, a una altura de 10 metros sobre el suelo, 3 días por mes, las medidas de la velocidad fueron registradas a cada hora del día, como se muestra el Apéndice 2, 3 y 4, las unidades de la velocidad son expresadas en metros por segundo (m/s).

En la Tabla 11 se presentan las velocidades promedio de viento de los datos de los meses de abril, mayo y junio tomados en el caserío de Arenales Meseta Andina de Frías.

Tabla 11

*Promedio de Velocidad del viento del estudio en Campo*

<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
Abril	2018	8.57
Mayo	2018	8.26
Junio	2018	9.28
<b>PROMEDIO</b>		<b>8.7</b>

*Fuente:* Elaboración propia.





*Figura 5.* Toma de datos de velocidad y dirección del viento. *Fuente:* Elaboración propia.

### **Medida de la dirección del viento**

Conocer la dirección del viento es de gran importancia, al momento de ubicar los aerogeneradores dentro de la planta eólica, para saber la variación de la dirección del viento al que debe ser acorde con la orientación del aerogenerador.

La representación de la corriente de distribución direccional del viento es la llamada rosa de vientos, que representa una cantidad porcentual del tiempo de donde procede el viento de una distribución y dirección de la velocidad en cada intervalo direccional. Este gráfico suele dividirse en un número de sectores múltiplo de cuatro (12, 16, 32, etc.) (MINEM, 2016).

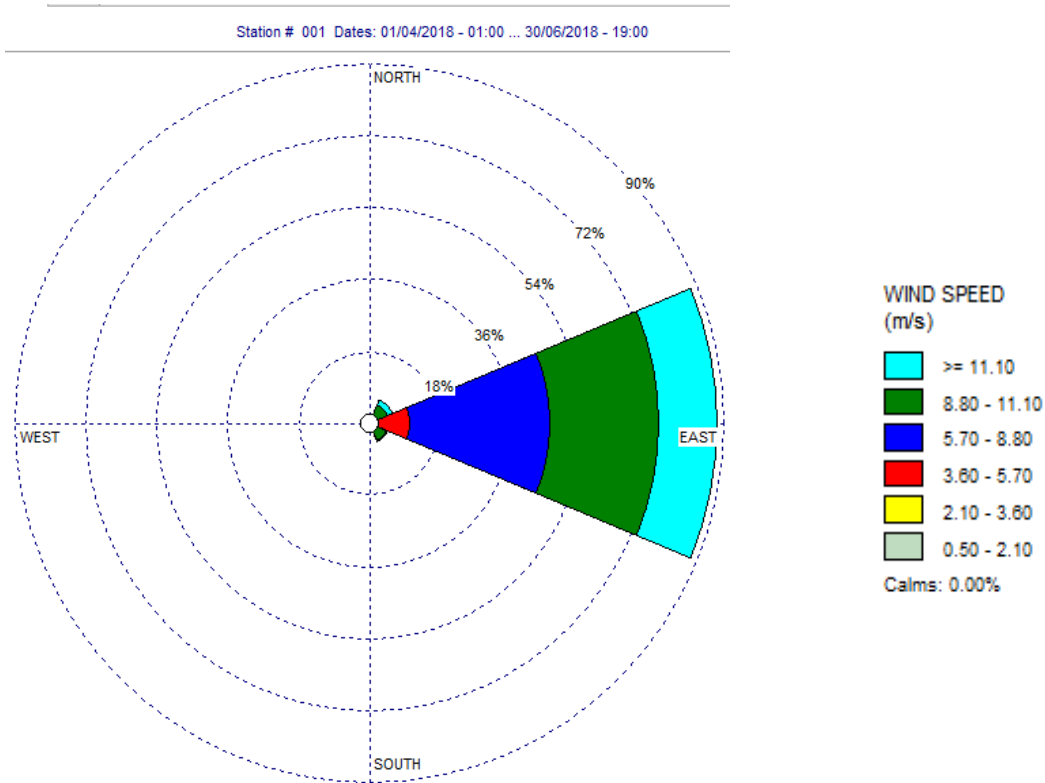


Figura 6. Rosa de viento que señala la procedencia del viento usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2. Fuente: Elaboración propia.

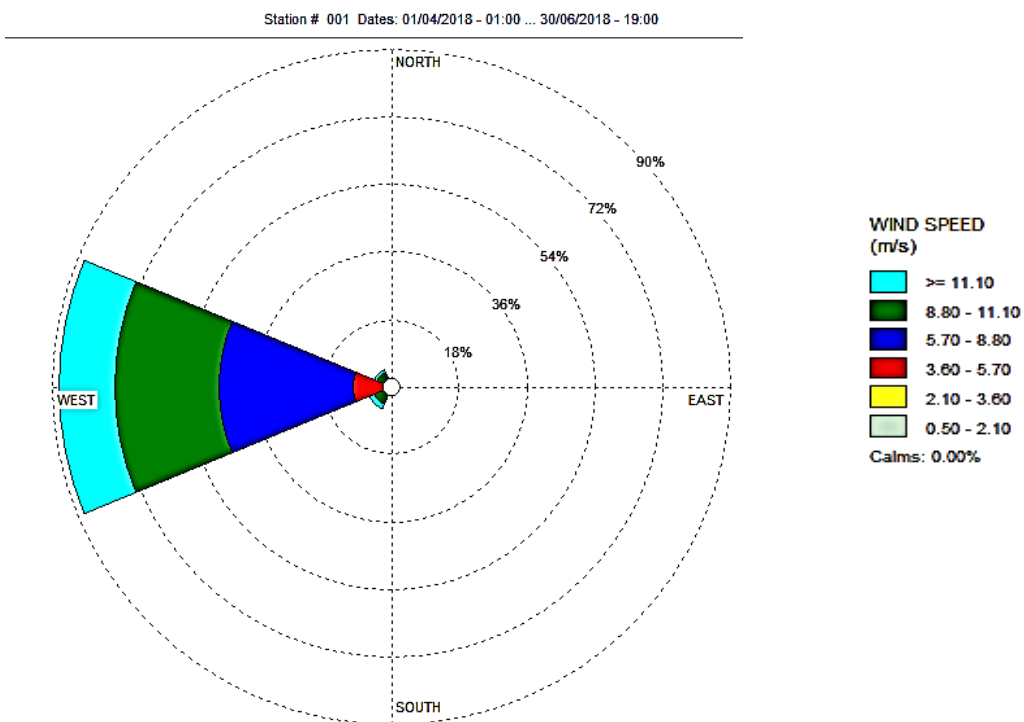


Figura 7. Rosa de viento que señala la dirección del viento, usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2. Fuente: Elaboración propia.

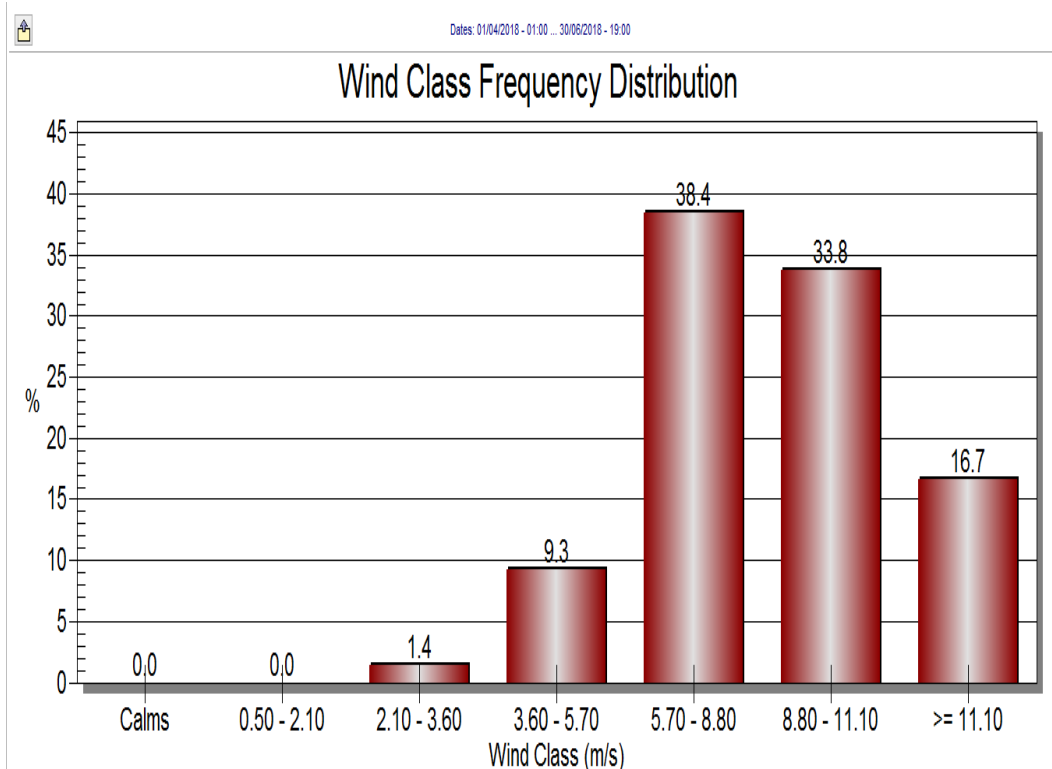


Figura 8. Distribución de Frecuencia del viento, usando el Software WRPLOT VIEW versión 8.0.2. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se puede observar que las velocidades de viento entre 5.70 m/s y 8.80 m/s tienen la mayor frecuencia en 38.4 %. La mínima frecuencia se encuentra entre las velocidades de 2.10 y 3.60 con un 1.4 %.

### Medida de la presión atmosférica (P) y la Densidad ( $\rho$ ) del aire

En el estudio, para obtener la presión atmosférica y la densidad se obtuvo tomando como densidad  $0.909 \text{ kg/m}^3$ , según los datos de la tabla 12.

Tabla 12

*Altitud, densidad y presión*

Altitud (m)	Presión (mbar)	Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )
0	1013.2	1.225
100	1001.3	1.213

200	989.5	1.202
300	977.73	1.190
400	966.11	1.179
500	954.6	1.167
1000	898.7	1.112
2000	794.9	1.007
<b>3000</b>	<b>701.1</b>	<b>0.909</b>
4000	616.4	0.819
5000	540.2	0.736

*Fuente:* Castro y Cruz, 2015, p. 9.

### 2.5.2. Extrapolación de la velocidad con la altura

Los datos de velocidad del viento registrados a una altura de 10 metros de altura se extrapolaron para determinar la velocidad a 40 y 60 metros de altura tomando el valor de 0.03 para  $Z_0$ , correspondiente a un campo sin construcción y sin árboles especificado en la Figura 1, sobre los valores de rugosidad asociados a las distintas superficies del suelo. La fórmula empleada para la extrapolación es la siguiente:

$$V_z = \frac{V_{ref} \ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \dots \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

$V_z$ : Velocidad del viento a la altura  $Z$ .

$V_{ref}$ : Velocidad del viento conocida para la altura de referencia.

$Z$ : velocidad del viento a una altura “n”.

$Z_0$ : Longitud de rugosidad, se da en metros, depende del tipo de terreno.

$Z_{ref}$ : Altura de referencia, para este caso 10 m (Castro y Cruz, 2015).

### Estimación de la velocidad del viento a 40 metros de altura

Para la estimación de la velocidad del viento se utilizó la fórmula siguiente:

$$V_z = \frac{V_{ref} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)} \dots$$

Reemplazando datos se tiene

$V_z$ :?

$V_{ref}$ : 8.7

$Z$ : 40m

$Z_0$ : 0.03

$Z_{ref}$ : 10m

La velocidad del viento calculada a 40 metros de altura es de 10.78 m/s aproximadamente.

### **Estimación de la velocidad del viento a 60 metros de altura**

$$V_z = \frac{V_{ref} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)} \dots$$

Reemplazando datos en la fórmula se obtiene:

$V_z$ :?

$V_{ref}$ : 8.7

$Z$ : 60 m

$Z_0$ : 0.03

$Z_{ref}$ : 10 m

La estimación de la velocidad del viento a 60 metros de altura es de 11.39 m/s aproximadamente.

### **Cálculo de potencia eólica disponible**

La potencia eólica disponible ( $P_d$ ) es la cantidad de energía que pasa en un tiempo determinado, por un área “A” perpendicular al flujo de viento con velocidad “v” es lo que se conoce como energía cinética, la fórmula es:

$$\text{Potencia disponible (Pd)} = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot v \cdot A = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad \dots \text{Ecuación (11)}$$

Para calcular el potencial eólico de una corriente de aire en movimiento es proporcional a la densidad, del área perpendicular que enfrenta al rotor con la velocidad elevada al cubo. En el Sistema Internacional (SI), la potencia se expresa en vatios (Mur, 2005).

### Distribución de Weibull

En estudios sobre energía eólica, la distribución de Weibull, es la más utilizada, la fórmula es:

$$P(v) = \left(\frac{k}{c}\right)^{k-1} \cdot \left(\frac{v}{c}\right) \cdot C \cdot \exp\left(-\frac{v}{c}\right)^k \dots \text{ecuación (12)}$$

Donde:

P (v): Probabilidad estadística que se presente una determinada velocidad (v).

K: Factor adimensional de forma

C: Factor de escala (m/s) el valor es próximo a la velocidad media.

(Mur, 2005, p. 28).

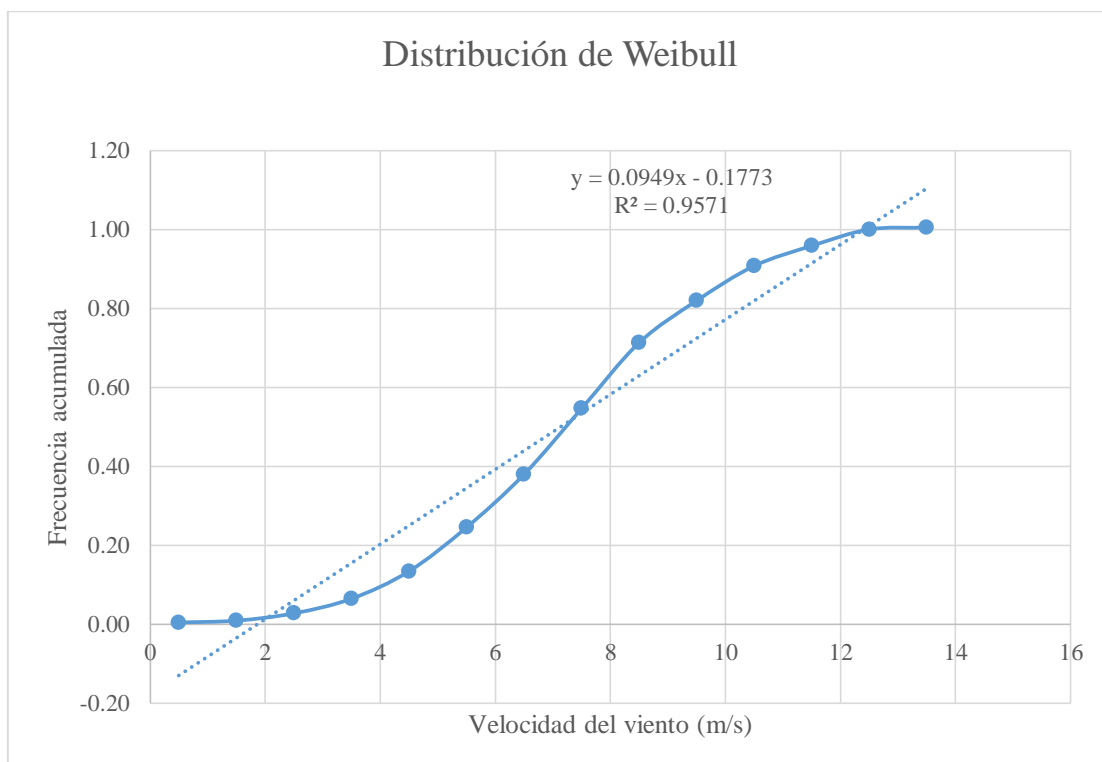


Figura 9. Distribución de Weibull.

Fuente: Elaboración propia.

Donde  $Y=0.0949x-0.1773$

$$\alpha = -0.773$$

$$k = 0.949$$

$$C = e^{\alpha/k}$$

$$C = 6.48 \text{ m/s}$$

### **2.5.3. Estimación de la potencia del viento a alturas de 10, 40 y 60 m**

Para la estimación de la posible producción de energía eléctrica, se ha considerado el aerogenerador de eje vertical marca Bornay 6000 cuyas especificaciones técnicas son las siguientes:

Número de hélices: 3

Diámetro: 4 m.

Material Fibra de vidrio/carbono.

Dirección de rotación Anti-horaria.

#### **Velocidad de viento**

Para arranque: 3.5 m/s.

Para potencia nominal: 12 m/s.

Para frenado automático: 14 m/s.

Máxima velocidad del viento: 60 m/s.

#### **Especificaciones eléctricas**

Alternador trifásico de imanes permanentes.

Imanes Neodimio.

Potencia nominal: 6000 W.

Voltaje: 48, 120 Voltios.

RPM: 600.

Regulador 48 Voltios 150 Amperios.

120 Voltios Conexión a red (Bornay Aerogeneradores, 2011, p. 6).

#### **2.5.4. Cálculo de la potencia disponible y aprovechable a 10 m de altura**

##### **Potencia disponible (Pd)**

Remplazando en la Ecuación N° 11:

$$P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Donde:

$P_d$ : Potencia disponible.

$\rho$  : Densidad considerando el valor 0.909 kg/m<sup>3</sup>.

A: Área de la circunferencia ( $\Pi \cdot r^2$ )

r: radio de las palas del aerogenerador, en el presente estudio, el radio del aerogenerador Bornay 6000 es 2 m.

v: Velocidad es 8.07m/s

Reemplazando los datos en la fórmula se determina que la potencia disponible es:

$$P_d = 3001.69 \text{ w.}$$

##### **Potencia aprovechable**

La potencia aprovechable, según la ley de Betz, sostiene que es imposible que un aerogenerador pueda aprovechar el 100 % de la energía.

“Por tanto, la máxima potencia eólica que se puede extraerse es 59.25 % de la energía cinética que contiene una masa de aire en movimiento” (Mur, 2005, p. 14).

Aplicando el principio anterior se determinó la potencia aprovechable a una altura de 10m dando como resultado 3001.69W.

#### **2.5.5. Cálculo de la potencia disponible y aprovechable a 40 m de altura**

##### **Potencia disponible**

Remplazando en la Ecuación N° 11:

La potencia disponible a los 40 m de altura es 7155.22 W.



### **Potencia aprovechable**

La potencia aprovechable aplicando la Ley de Betz, es 4239.47 W.

“La máxima potencia eólica que se puede extraerse es 59.25 % de la energía cinética que contiene una masa de aire en movimiento” (Mur, 2005, p. 14).

### **2.5.6. Cálculo de la potencia disponible y aprovechable a 60 m de altura**

#### **Potencia disponible**

Remplazando en la Ecuación N° 11:

Reemplazando datos se obtiene la potencia disponible es 8434.26 W.

#### **Potencia aprovechable**

Aplicando el principio de Betz, se obtiene que la potencia aprovechable a los 60 m de altura es 4997.30 W.

### **2.5.7. Simulación de la generación de energía teóricamente**

Para calcular la generación de energía, se utiliza la siguiente fórmula (Luque, 2018)

$$E = N_h \int_{u_m}^{u_M} g(u) \cdot F(u) d(u) \dots \text{ecuación 13}$$

Donde:

E: Energía producida por año (MW-h/año).

$N_h$ : Número de datos.

$U_m$ : Es la menor velocidad de viento necesitada para que comiencen a funcionar las aspas del aerogenerador.

$u_M$ : Valor de la velocidad de corte, es la velocidad en la cual los aerogeneradores cesan la producción de energía y se apagan con el fin de evitar daños a la turbina eólica.

$g(u)$ : Esta dada por el fabricante es la curva de potencia del aerogenerador, representa la potencia generada por las diferentes velocidades de viento.

$F(u)$ : Función de probabilidad que representa el potencial eólico

Reemplazando datos en la Ecuación 13, se obtiene la energía producida por el aerogenerador Bornay de la forma siguiente:

E: Energía producida por año

$N_h$ : 72 datos registrados

um: velocidad de arranque del aerogenerador Bornay es 3.5 m/s.

uM: Velocidad de corte o frenado es 14 m/s

$g(u)$ : Curva de potencia del aerogenerador es igual 6000 W

$F(u)$ : Función de probabilidad que representa el potencial eólico.

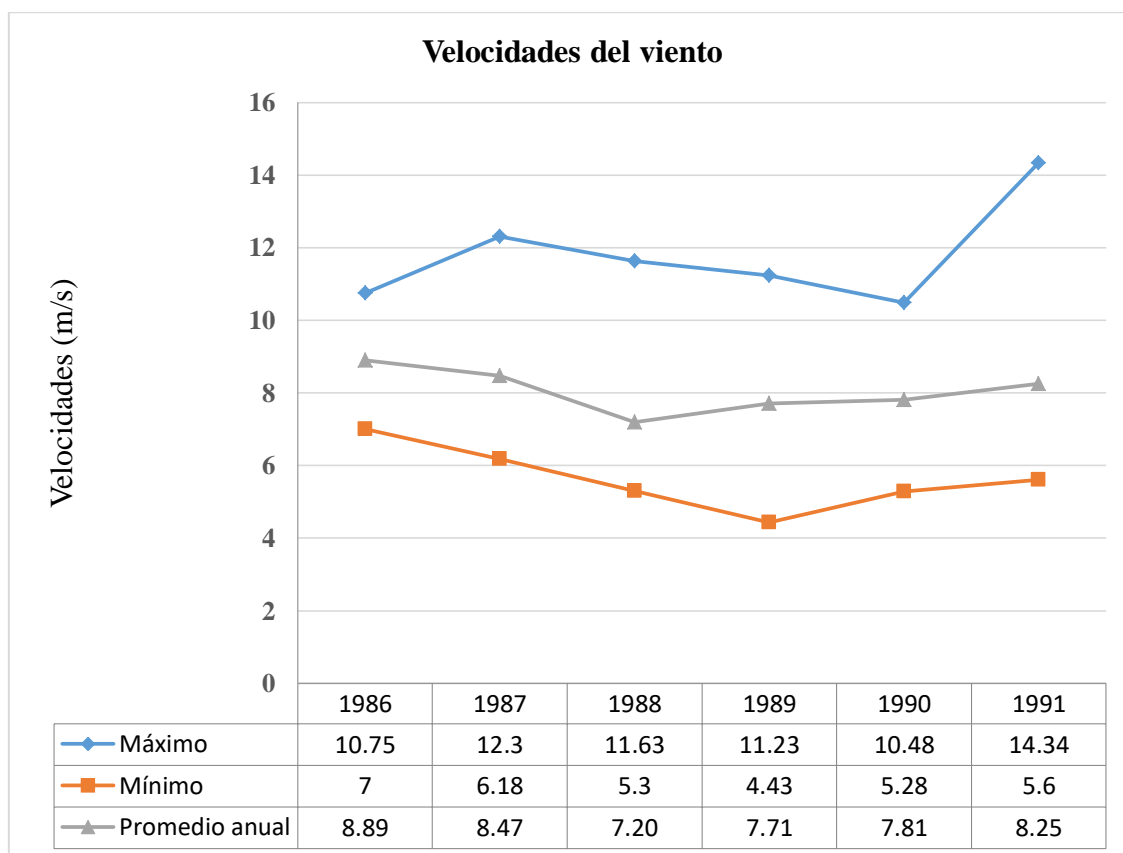
El resultado de la energía producida a los 10 m de altura es 8067.28 kW-h/año.

Así mismo, aplicando la Ecuación 13, se determina la energía producida a los 40 m de altura es 19 230.24 kW-h/año, mientras que la estimación de energía para 60 m de altura es 22 667.75 kW-h/año.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Se realizó la recopilación y procesamiento de los datos de viento desde 1986 hasta 1991 de la estación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación Convencional – meteorológica que estuvo localizada en el caserío de Arenales Meseta Andina.

En la Figura 10, se presenta las velocidades de viento máximas, mínimas y promedios anuales desde el año 1986 a 1991; la máxima velocidad se registró en el año 1986 y la mínima en el año 1988.



*Figura 10.* Comparación de velocidades de viento. *Fuente:* Elaboración propia a partir de los datos del SENAMHI.

- Se determinó, según los datos históricos recopilados del SENAMHI, la velocidad promedio del viento durante los 6 años fue de 8.05 m/s, con la dirección predominante de Este a Oeste.
- Se realizó el registro en campo, de los datos del viento por el suscrito, en el caserío de Arenales Meseta Andina con el anemómetro modelo ABH – 4224 a 10 m de altura, sobre el nivel del suelo, durante los meses de abril, mayo y junio del año 2018, determinándose que la velocidad promedio de viento fue de 8.703 m/s y con dirección de viento predominante de los puntos cardinales Este a Oeste.

En las Figura 11, se muestran las velocidades promedio del viento de los meses de abril, mayo y Junio del año 2018.

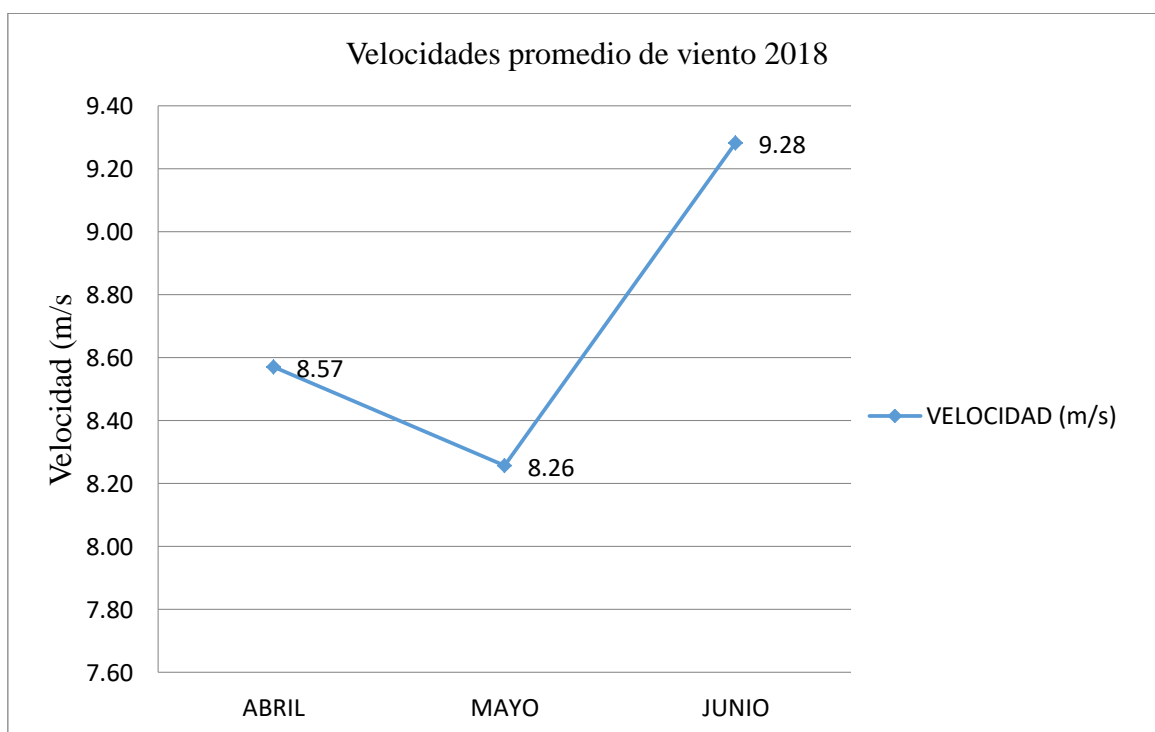


Figura 11. Velocidades promedio año 2018.

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 12, 13 y 14, se compara las velocidades promedio del viento del mes de abril, mayo y junio de los datos del SENAMHI correspondiente a los años 1986, 1987, 1987, 1988, 1989, 1990 y 1991 con los datos tomados en campo tomados en la presente investigación.

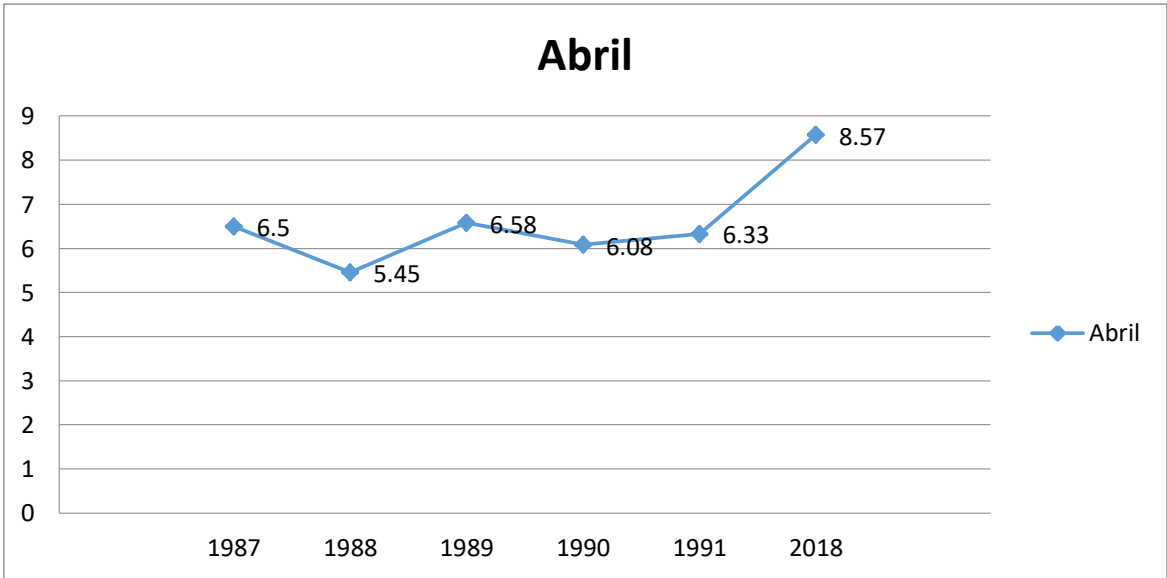


Figura 12. Comparación de velocidades promedio del viento.

Fuente: Elaboración propia.

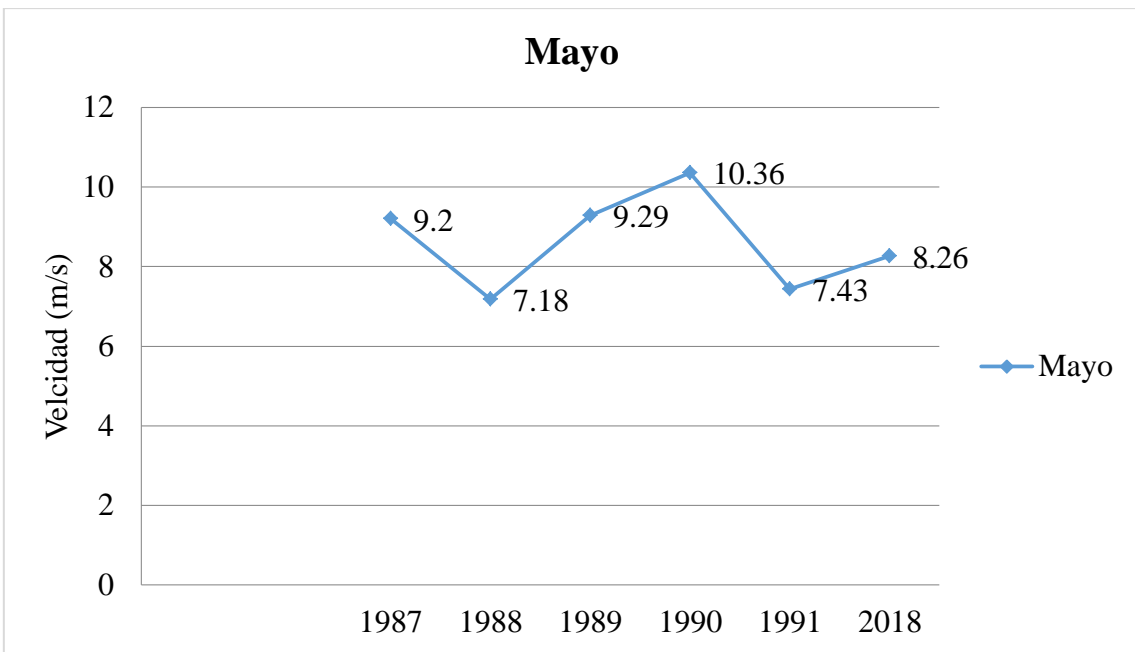


Figura 13. Comparación de velocidades del mes de Mayo.

Fuente: Elaboración propia.

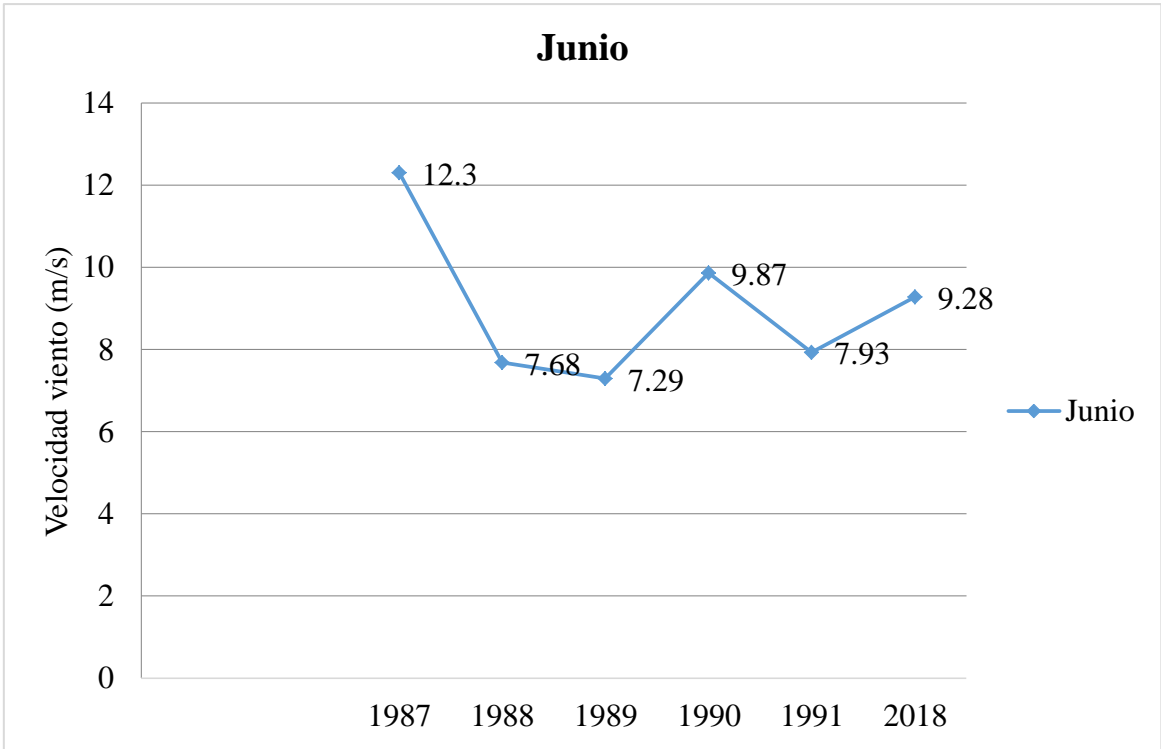


Figura 14. Comparación de velocidades de viento del mes de Junio.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15, se efectúa la comparación de las velocidades de viento de los meses de abril, mayo y junio de los datos de SENAMHI con los datos tomados por el suscrito en el año 2018.

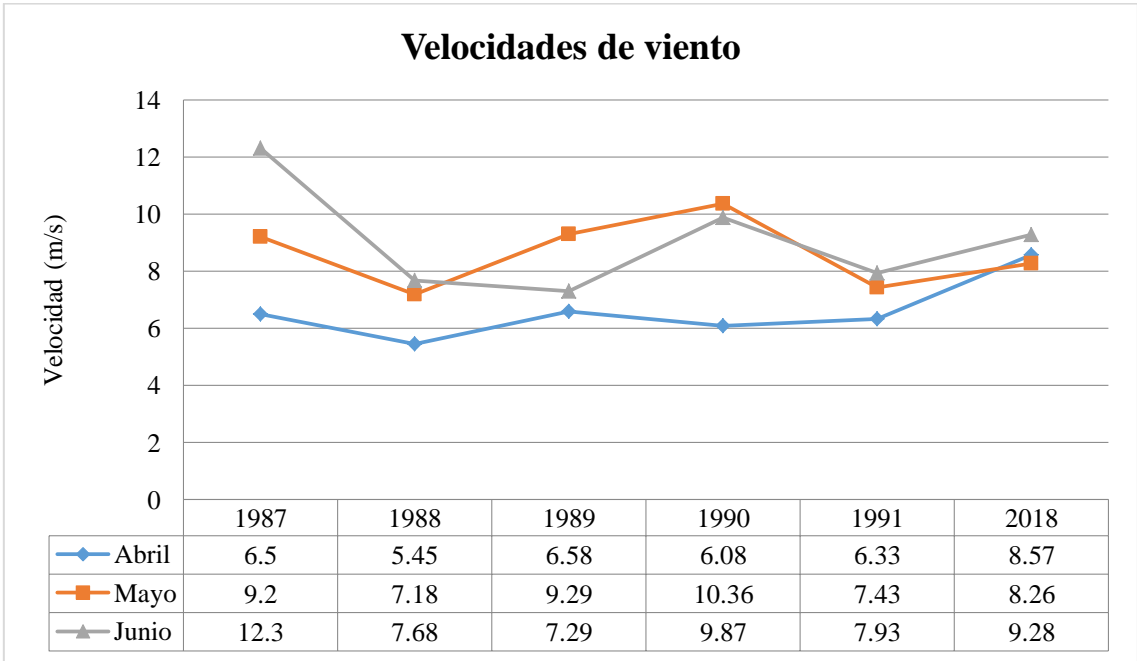


Figura 15. Velocidades mínimas promedio y máximas de viento.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Se calculó la velocidad a los 40 m y 60 m de altura sobre el nivel del suelo través de la extrapolación de la velocidad obtenida a los 10 m, determinándose a 40 m velocidad es 10.78 m/s, mientras que la velocidad a los 60 m es 11.39 m/s se puede observar en la Tabla 13.

3.3 Se calculó la potencia disponible y aprovechable así como también la energía a 10 m, 40 m, y 60 m de altura sobre el nivel del suelo, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

*Potencia y energía producida*

<b>Altura</b>	<b>Velocidades</b>	<b>Potencia Disponible</b>	<b>Potencia Aprovechable. (Betz)</b>	<b>Energía</b>
(m)	(m/s)	(kW)	(kW)	kW-h/año
10	8.703	3.00169	1.77850	8067.28
40	10.78	7.15522	4.23947	19230.24
60	11.39	8.434.26	4.99730	22667.75

*Fuente:* Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

A partir de los resultados encontrados en el presente estudio se afirma que, en el caserío de Arenales Meseta Andina de Frías, existe potencial eólico con vientos regulares, según la Escala de Beaufort (Tabla 2) cuyo rango de valores del promedio de velocidad es entre 5.7 y 9.8 m/s para la producción de energía eléctrica a través de aerogeneradores. Estos resultados guardan relación con los estudios realizados por otros autores internacionales como, Avellaneda (2012), Álvares (2013), Arnés (2014) y Encinas *et al.*(2015), asimismo, con los autores nacionales, Castro y Cruz (2015), Luque (2018) y Quiñones *et al.* (2019) quienes realizaron estudios de viento similares para la producción de energía eléctrica a través de aerogeneradores.

Según los resultados encontrados por Álvares (2013) quien determinó una velocidad promedio de viento (6.7 m/s), sostuvo que dicha velocidad tiene un potencial adecuado para proponer proyectos de energía eólica. Haciendo una comparación con el presente estudio, donde la velocidad promedio fue 8.703 m/s, resultado que constituye una alternativa para la producción de energía eléctrica a través del viento en la Meseta Andina distrito de Frías provincia de Ayabaca - Piura.

A partir de los hallazgos de Arnés (2014) quien realizó mediciones a 20 y 40 m sobre el suelo, las velocidades promedio fueron 7.13 m/s y 7.9 m/s respectivamente, comparados con los resultados de la presente investigación a 20 m de altura sobre el suelo la velocidad promedio fue de 10.78 m/s. Los valores encontrados por Arnés son inferiores, sin embargo, el referido autor concluyó que en Oaxaca hay gran potencial eólico para explotar.

Luque (2018) en su estudio, encontró que la velocidad promedio del viento a una altura de 90 m sobre el nivel del suelo fue de 4.8 m/s, el mencionado resultado, comparado con el



presente estudio es inferior en 3.5 m/s, frente al resultado de 7.95 m/s a la altura de 10 m. La dirección predominante del viento en la zona de estudio fue en dirección Oeste, en el estudio se consideró al aerogenerador Enercon E-48 de potencia nominal de 800 kW determinándose que la producción de energía fue 773.82 kW-h/año. Estos resultados de igual manera, son inferiores en cuanto a velocidad del viento, potencial y energía producida teóricamente con el presente estudio, en lo que sí coinciden ambos estudios es que el viento tiene una dirección Oeste.

Los resultados encontrados del promedio de la velocidad del viento y dirección obtenida en la fase de campo en el año 2018, son parecidos a los resultados de la fase de pre campo de los datos históricos del SENAMHI desde el año 1986 hasta 1991.

Al comparar los resultados de las potencias disponible y aprovechable a 10 m, 40 m, y 60 m de altura sobre el nivel del suelo (Tabla 12), se puede observar que a los 60 m de altura sobre el nivel del suelo se obtiene mayor velocidad del viento, mayor potencial eólico y mayor producción de energía eléctrica. Los resultados de la energía producida utilizando el aerogenerador de eje horizontal a los 10 m de altura fue 8067.28 kW-h/año. Asimismo, la energía producida a los 40 m de altura fue 19230.24 kW-h/año, mientras que la estimación para los 60 m de altura fue 22667.75 kW-h/año aproximadamente.

El presente estudio afirma, que en la zona, es viable la instalación de un parque eólico para la generación de energía eléctrica, utilizando el potencial del viento, lo que permitirá disponer de energía renovable que no contamina el ambiente, permitiendo una seguridad energética para la zona de la Meseta Andina de la Región Piura.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se recopiló los datos de la velocidad del viento durante el estudio de pre campo desde 1986 a 1991 registrados por SENAMHI en la estación convencional – meteorológica ubicada en el caserío de Arenales Meseta Andina, se determinó que la velocidad promedio es 8.05 m/s.
2. Se determinó el potencial eólico aprovechable del viento a diferentes alturas sobre el nivel del suelo en la Meseta Andina del distrito de Frías – Ayabaca - Piura obteniendo los siguientes valores: a 10 m es de 1.77850 kW; a 40 m es 4.33947 kW y 60 m es de 4.99730 kW.
3. Se calculó la velocidad del viento promedio, según los datos registrados a 10 m de altura sobre el nivel del suelo en el estudio de campo durante los meses de abril, mayo y junio del año 2018 es de 8.703 m/s. Asimismo se calculó la velocidad mediante extrapolación de velocidad a 40 y 60 m obteniendo velocidades de 10.78 y 11.39 m/s respectivamente.
4. Se calculó teóricamente la producción de energía eléctrica teniendo como referencia el aerogenerador de eje horizontal marca Bornay 6000. A la altura de 10 m la energía producida es 8067.28 kW-h/año, a los 40 m la energía es 19230.24 kW-h/año y a 60 m es de 22667.75 kW-h/año. Concluyéndose en la investigación que en la zona estudiada es posible la producción de energía eléctrica utilizando el potencial eólico de la zona.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

1. Utilizar como antecedente el presente estudio en posteriores investigaciones orientados a la explotación y aprovechamiento de las energías renovables, que contribuyan a la seguridad energética y al crecimiento de la región Piura.
2. Sugerir a las instituciones académicas, promover el desarrollo de estudios sobre energía eólica para conocer y aprovechar los potenciales de viento como medida sustentable que coadyuve a frenar el calentamiento global.
3. Instar a los organismos públicos y privadas, a que apuesten por proyectos de implementación de parques eólicos donde se aproveche el potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la zona de la Meseta Andina distrito de Frías, provincia de Ayabaca, región Piura.
4. Recomendar a la UCSS, establecer convenios interinstitucionales con entidades públicas y privadas tanto nacionales e internacionales que dispongan de equipos e instrumentos necesarios para realizar estudios de energía eólica.
5. Sugerir al SENAMHI, la reactivación de la estación convencional meteorológica del caserío de Arenales Meseta Andina distrito de Frías, provincia de Ayabaca – Piura. Debido que es una zona que posee un alto potencial eólico cuyos datos son útiles en posteriores investigaciones a desarrollarse en el mencionado lugar.

## REFERENCIAS

- Almonacid, A. y Nahuelhual L. (2009) *Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia. Sur de Chile*. Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/agrosur/v37n2/art04.pdf>
- Álvarez, W. F. (2013). *Estudio numérico del potencial energético eólico en Tunja, Colombia*. (Tesis de grado) Universidad Libre. Recuperado de <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=estudio+num%c3%89rico+del+potencial+energ%c3%89tico+e%c3%93lico+en+tunja%2c+colombia.&btnng=&lr=>
- Antolínez, M. (2017). *Energías renovables: marco conceptual de la energía eólica, su importancia, tipos de turbinas eólicas, curvas de rendimiento, potencial de energía y densidad, eficiencia de la turbina, y límite de Betz mediante un proceso de recopilación de información*. Recuperado de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/54533031/Energia\\_Eolica.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1554857096&Signature=LXb3qM](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/54533031/Energia_Eolica.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1554857096&Signature=LXb3qM)
- Arnés, C. (2014). *Estudio del potencial eólico para la generación eléctrica en el istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México*. (Tesis de maestría). Escuela Técnica de Ingenieros Industriales y telecomunicación. México. Recuperado de <http://academica-e.unavarra.es/handle/2454/11924>
- Asociación Empresarial eólica [AEA], (2019) *Anuario eólico*. Recuperado de <https://www.aeeolica.org/images/Publicaciones/Anuario-Elico-2019.pdf>
- Avellaneda, J. A. (2012). *Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del páramo de Chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá departamento de Boyacá*. (Tesis de maestría) Universidad Libre, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/9958>
- Badii, M. H., Guillen, A., Abreu, J. L., y UANL, S. N. D. L. G. (2016). *Energías Renovables y Conservación de Energía*. México. Recuperado de [https://scholar.google.es/scholar?as\\_ylo=2013&q=ventajas+de+la+energia+eolica&hl=es&as\\_sdt=0,5](https://scholar.google.es/scholar?as_ylo=2013&q=ventajas+de+la+energia+eolica&hl=es&as_sdt=0,5).
- Bojorquez, M. A., (2018) *Planteamiento de un parque eólico marino en la costa peruana: regiones de Ica, Piura y La Libertad*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Recuperado de [tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13054/BOJORQUEZ\\_c](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13054/BOJORQUEZ_c)

Havez\_Miguel\_planeamiento\_parque\_eólico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bornay Aerogeneradores (2011). *Manual del usuario de aerogeneradores*. Recuperado de [www.proviento.com.pe](http://www.proviento.com.pe)

Carta, J.A., Calero, R., Colmenar, A., y Castro, M. A. (2010). *Centrales de energía renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de <https://www.fiuxy.bz/threads/centrales-de-energias-renovables-jose-antonio-carta-gonzalez-pdf-ebook.3329085/>

Castro, C. G., y Cruz, F. J. (2015). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de Quiruvilca, Santiago de Chuco, La Libertad*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo  
Recuperado de [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3256/CastroMinchola\\_C%20-%20CruzTacanga\\_F.pdf?sequence=1](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3256/CastroMinchola_C%20-%20CruzTacanga_F.pdf?sequence=1).

Ccasani, J.C. (2019). *Ciclo diurno y ciclo anual de los vientos superficiales observados en la zona central oeste del Valle del Mantaro, Perú*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Decreto supremo N° 064 – 2010 - EM. Aprobación de la política energética nacional del Perú 2010 - 2040. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de noviembre de 2010. pp. 2 - 6.

Decreto Legislativo N° 1002-2008-MINEM. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 02 de mayo de 2008. pp. 1-4.

Encinas, J., Torrez, R., Ghezzi, F., y Palenque, E. (2015). Características del viento y del potencial eólico del altiplano central. *Revista Boliviana de Física*. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1562-38232015000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232015000200004&lng=es&tlng=es).

Gómez, D. (2015). *Análisis comparativo de la evolución y la situación actual las Energías Renovables en el Reino Unido y España*. (Tesis de maestría). Universidad de Politécnica Cartagena, España. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5284/tfm552.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Herrada, W., Julca, L. A., y De la Rosa, F. E. (2014). *Análisis Técnico-Económico para la Instalación de un Parque Eólico en el Distrito de Éten, Región Lambayeque*. Recuperado de [revistas.ucv.edu.pe/index.php/RTD/article/download/687/534/](http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/RTD/article/download/687/534/)

Ley de promoción y utilización de los recursos energéticos renovables no convencionales en zonas rurales aisladas y de frontera del país N° 28546. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. 27 de mayo 2005. pp. 1-2.

Ley General del Ambiente N° 28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre de 2005. pp. 1- 40.

Luque, J. P. (2018). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de Chiguata Arequipa*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6362/AMlusajp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, P. (2013). *Energía eólica: Ventajas y desventajas de su utilización en Colombia*. Universidad Libre, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10602/Monograf%C3%ADA.pdf?sequence=1>

Ministerio de Energía y Minas (2016). *Atlas Eólico del Perú*. Recuperando de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00367.pdf>.

Moragues, J., y Rapallini, A. (2003). *Energía eólica. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi*, Recuperado de [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0,5&qsp=7&q](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&qsp=7&q)

Mur, J. (2005). *Curso de energía eólica. Master europeo en energías renovables y eficiencia energética*. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza. Recuperado de <http://www.windygrid.org/manualEolico.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas (2018), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00708.pdf>.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2009). *Planificación integrada de la energía para el desarrollo sostenible*. Recuperado de [https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/08-43773\\_IEPSD-Brochure\\_Spanish\\_web.pdf](https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/08-43773_IEPSD-Brochure_Spanish_web.pdf).

- Oviedo, J. L., Badii, M. H., Guillen, A., y Lugo, O. (2015). *Historia y uso de energías renovables*. Recuperado de [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf).
- Pérez, K.W, (2018). *Sistema de generación eólica para electrificación fundo San Carlos empresa agroindustrial Arato Perú S.A* (Tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3392>
- Pinilla, A. (1997). *Manual de aplicación de la energía eólica*. Recuperado de [bva.colech.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/.../en002.pdf?sequence=3](http://bva.colech.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/.../en002.pdf?sequence=3)
- Puerta, A. (2018). *Análisis de curvas de velocidad de viento y altura: propuesta de identificación de patrones*. (Tesis de maestría). Universidad de Politécnica Cartagena, España. Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7361/tfm-pue-ana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiñones, J., Huanca, E., y Holguino, A. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal Of High Andean Research*, 21(1), 57-68. doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.445>
- Ramírez, E., H. (2015). *Modelo estratégico para viabilizar proyectos de generación de electricidad utilizando energías renovables no convencionales en zonas rurales del Perú, para promover su desarrollo sustentable*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Salazar, E. (2019). *Estudio de viabilidad económica de una minicentral eólica de 94,5 kw de potencia nominal en la presa Cirato central hidroeléctrica Carhuaquero*. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3659>
- Santamarta, J. (2004). *Las Energías renovables son el futuro*. Recuperado de <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/511.pdf>
- Schallenberg, J. C., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., Cabrera, D., Martel, G., Pardilla, J., y Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Recuperado de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- Shephard, F. E. (2018) *Aplicación de energías renovables a viviendas sociales: Estudio de viabilidad en República Dominicana*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cartagena. España. Recuperado de

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7598/tfm-she-apl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Recuperado de <https://clea.edu.mx/biblioteca/Tamayo%20Mario%20-%20El%20Proceso%20De%20La%20Investigacion%20Cientifica.pdf>

Tarrillo, K. A. (2019). *Utilización de la energía eólica y solar como fuente para el suministro de energía eléctrica al caserío alto Pongoya en chimban provincia de chota departamento de Cajamarca*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3635>

Umbarila, L. P., Moreno, F. L., y Rivera, J. C. (2016). *Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico*. Recuperado de [oaji.net/pdf.html?n=2017/5565-1508902666.pdf](http://oaji.net/pdf.html?n=2017/5565-1508902666.pdf)

Vidal, R. (2014). *Evaluación del recurso eólico en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez*. (Tesis de maestría). Centro de investigación en materiales avanzados. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/685/1/Tesis%20Rafael%20Vidal%20Herrera.pdf>



## TERMINOLOGÍA

**Aerogenerador.** Es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y en energía eléctrica gracias a un alternador. Sus modelos primeros son los molinos de viento empleados para moler granos y obtener harina. La energía del viento, es la energía cinética del aire en movimiento, suministra energía mecánica al rotor, al girar el rotor del generador, convierte la energía mecánica en energía eléctrica (Salazar, 2019).

**Anemómetro.** Es un instrumento que se usa para la medición de la velocidad del viento (Mur, 2005).

**Energía.** En el campo de la Física, se define la energía como una «propiedad» de los cuerpos o sistemas materiales en virtud de la cual estos pueden transformarse (a sí mismos), modificando su estado o situación, así como actuar sobre otros cuerpos, originando transformaciones en ellos. La energía indica la capacidad de un cuerpo o sistema para producir transformaciones, con independencia de que estas se produzcan o no (Carta *et al.* 2010).

**Energía renovable.** Las energías renovables son aquellas que se renuevan y son inagotables al aprovechamiento humano; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo determinado. Las principales formas de energía renovable que existen son: las que provienen del sol, del viento, de la biomasa o materia orgánica, del agua, la geotérmica y las energías de las olas del mar (Luque, 2018).

**Central eólica.** Es el lugar donde se realiza la transformación en electricidad a través de los aerogeneradores. Un aerogenerador eléctrico es, una máquina que convierte la energía cinética del viento (masa a una cierta velocidad) en energía eléctrica (Pérez, 2018).

**Mapas eólicos.** Los mapas eólicos proporcionan una información global sobre el nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica, mostrando las zonas más idóneas desde el punto de vista energético (Tarrillo, 2019).

**Potencia del viento.** Es la rapidez mediante la cual la energía es transformada, se expresa como energía por unidad de tiempo, puede ser Joule por segundo (J/s). La unidad de potencia es el watt (W), un watt es equivalente a un joule por segundo; se expresa, 1 Watt = 1 J/s (Luque, 2018).

**Turbulencia.** Son las fluctuaciones de la velocidad del viento en periodos cortos de menos de 10 minutos en una relativa escala de tiempo (Vidal, 2014).

**Rotor.** Que convierte la fuerza del viento en energía rotatoria en el eje (Pérez, 2018).

**Veleta.** Es un instrumento giratorio de 360 grados, posee una manecilla que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales (Este, Norte, Oeste y Sur). Para obtener una lectura precisa, la veleta debe estar localizada bien por arriba del suelo, alejada de edificios, árboles, y otros objetos que interfieran con la verdadera dirección del viento (Salazar, 2019).

## APÉNDICES

En el Apéndice 1, se presenta esquema del cronograma de toma de datos del estudio realizado en campo realizado en el caserío de Arenales, Meseta Andina, distrito de Frías provincia de Ayabaca, se especifica las horas, los días y los meses del año 2018 en que se realizó el registro de datos del viento.

Apéndice 1. Cronograma de toma de datos del estudio año 2018

Fecha	Abril			Mayo			Junio		
	1	15	30	1	15	30	1	15	30
Hora									
1 : 00									
2 : 00									
3 : 00									
4 : 00									
5 : 00									
6 : 00									
7 : 00									
8 : 00									
9 : 00									
10 : 00									
11 : 00									
12 : 00									
13 : 00									
14 : 00									
15 : 00									
16 : 00									
17 : 00									
18 : 00									
19 : 00									
20 : 00									
21 : 00									
22 : 00									
23 : 00									
24 : 00									

*Fuente:* Elaboración propia.

En los Apéndices 2, 3 y 4, se muestra el registro de los datos del estudio en campo realizado en el aserío de Arenales Meseta Andina distrito de Frías los días, las horas las velocidades y la dirección del viento.

Apéndice 2. Datos de viento del mes de abril año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
01-abr-18	02:00 a.m.	9.9	90
01-abr-18	03:00 a.m.	12	90
01-abr-18	04:00 a.m.	12.2	90
01-abr-18	05:00 a.m.	11.4	90
01-abr-18	06:00 a.m.	7	90
01-abr-18	07:00 a.m.	11	90
01-abr-18	08:00 a.m.	6.8	90
01-abr-18	09:00 a.m.	7.4	90
01-abr-18	10:00 a.m.	8.7	90
01-abr-18	11:00 a.m.	8.1	90
01-abr-18	12:00 p.m.	9	90
01-abr-18	01:00 p.m.	10.4	90
01-abr-18	02:00 p.m.	11.1	90
01-abr-18	03:00 p.m.	9.4	90
01-abr-18	04:00 p.m.	6.6	90
01-abr-18	05:00 p.m.	6	110
01-abr-18	06:00 p.m.	8.1	110
01-abr-18	07:00 p.m.	4.8	110
01-abr-18	08:00 p.m.	6.8	110
01-abr-18	09:00 p.m.	6.4	110
01-abr-18	10:00 p.m.	6.8	110
01-abr-18	11:00 p.m.	5.5	110
01-abr-18	12:00 a.m.	4.5	110

*Fuente:* Elaboración propia.

### Datos de viento del mes de abril del año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados (°)
15-abr-18	01:00 a.m.	8.4	100
15-abr-18	02:00 a.m.	10.2	100
15-abr-18	03:00 a.m.	9.8	100
15-abr-18	04:00 a.m.	8.8	100
15-abr-18	05:00 a.m.	8	100
15-abr-18	06:00 a.m.	8.4	100
15-abr-18	07:00 a.m.	9.3	100
15-abr-18	08:00 a.m.	7.9	100
15-abr-18	09:00 a.m.	7.7	90
15-abr-18	10:00 a.m.	9.1	90
15-abr-18	11:00 a.m.	8.9	90
15-abr-18	12:00 p.m.	10.1	90
15-abr-18	01:00 p.m.	10.3	90
15-abr-18	02:00 p.m.	10.6	90
15-abr-18	03:00 p.m.	9.3	90
15-abr-18	04:00 p.m.	10.7	90
15-abr-18	05:00 p.m.	8.7	90
15-abr-18	06:00 p.m.	10	90
15-abr-18	07:00 p.m.	7.4	90
15-abr-18	08:00 p.m.	7.7	90
15-abr-18	09:00 p.m.	9.3	90
15-abr-18	10:00 p.m.	5.5	90
15-abr-18	11:00 p.m.	7.5	90
15-abr-18	12:00 a.m.	6.6	90

*Fuente:* Elaboración propia.

### Datos de viento mes de abril del año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
30-abr-18	01:00 a.m.	7	80
30-abr-18	02:00 a.m.	6	80
30-abr-18	03:00 a.m.	8.5	80
30-abr-18	04:00 a.m.	9.4	80
30-abr-18	05:00 a.m.	9.9	80
30-abr-18	06:00 a.m.	9.7	80
30-abr-18	07:00 a.m.	9.4	80
30-abr-18	08:00 a.m.	9.2	80
30-abr-18	09:00 a.m.	8.5	80
30-abr-18	10:00 a.m.	5.6	120
30-abr-18	11:00 a.m.	10.6	120
30-abr-18	12:00 p.m.	8.5	120
30-abr-18	01:00 p.m.	7.6	120
30-abr-18	02:00 p.m.	7.8	80
30-abr-18	03:00 p.m.	8.8	120
30-abr-18	04:00 p.m.	9.2	120
30-abr-18	05:00 p.m.	7.5	120
30-abr-18	06:00 p.m.	7.9	90
30-abr-18	07:00 p.m.	5.9	90
30-abr-18	08:00 p.m.	9.2	90
30-abr-18	09:00 p.m.	8.1	90
30-abr-18	10:00 p.m.	9.1	90
30-abr-18	11:00 p.m.	11	90
30-abr-18	12:00 a.m.	9.3	90

*Fuente:* Elaboración propia.

### Apéndice 3. Datos de viento del mes de mayo 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
01-may-18	01:00 a.m.	5.2	90
01-may-18	02:00 a.m.	5.9	90
01-may-18	03:00 a.m.	6.6	90
01-may-18	04:00 a.m.	8.5	90
01-may-18	05:00 a.m.	10	90
01-may-18	06:00 a.m.	7.3	90
01-may-18	07:00 a.m.	6.7	90
01-may-18	08:00 a.m.	13.3	90
01-may-18	09:00 a.m.	6.4	45
01-may-18	10:00 a.m.	9.8	45
01-may-18	11:00 a.m.	5.8	45
01-may-18	12:00 p.m.	5.6	80
01-may-18	01:00 p.m.	6	80
01-may-18	02:00 p.m.	7	80
01-may-18	03:00 p.m.	8.3	80
01-may-18	04:00 p.m.	9	80
01-may-18	05:00 p.m.	9.7	80
01-may-18	06:00 p.m.	8.8	80
01-may-18	07:00 p.m.	9.9	80
01-may-18	08:00 p.m.	10.1	130
01-may-18	09:00 p.m.	7.4	130
01-may-18	10:00 p.m.	13.2	130
01-may-18	11:00 p.m.	10.3	130
01-may-18	12:00 a.m.	9.8	130

*Fuente:* Elaboración propia.

### Datos de viento del mes de mayo del año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
15-may-18	01:00 a.m.	7	90
15-may-18	02:00 a.m.	8.3	90
15-may-18	03:00 a.m.	12	90
15-may-18	04:00 a.m.	8.4	90
15-may-18	05:00 a.m.	9.3	90
15-may-18	06:00 a.m.	5.5	90
15-may-18	07:00 a.m.	6.7	90
15-may-18	08:00 a.m.	7.4	90
15-may-18	09:00 a.m.	3.3	90
15-may-18	10:00 a.m.	5.1	90
15-may-18	11:00 a.m.	4.7	90
15-may-18	12:00 p.m.	11.3	90
15-may-18	01:00 p.m.	12.4	90
15-may-18	02:00 p.m.	8.6	90
15-may-18	03:00 p.m.	5.9	90
15-may-18	04:00 p.m.	3.8	90
15-may-18	05:00 p.m.	4.3	90
15-may-18	06:00 p.m.	11.7	80
15-may-18	07:00 p.m.	5.5	80
15-may-18	08:00 p.m.	4.1	80
15-may-18	09:00 p.m.	8.9	80
15-may-18	10:00 p.m.	6.5	80
15-may-18	11:00 p.m.	4.6	110
15-may-18	12:00 a.m.	11	110

*Fuente:* Elaboración propia.



## Datos de viento mes de mayo del año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
30-may-18	01:00 a.m.	6.4	110
30-may-18	02:00 a.m.	2.8	110
30-may-18	03:00 a.m.	3	110
30-may-18	04:00 a.m.	5.4	110
30-may-18	05:00 a.m.	6.8	110
30-may-18	06:00 a.m.	4.5	110
30-may-18	07:00 a.m.	10.8	110
30-may-18	08:00 a.m.	13	110
30-may-18	09:00 a.m.	12	110
30-may-18	10:00 a.m.	11.1	90
30-may-18	11:00 a.m.	9.5	90
30-may-18	12:00 p.m.	8.2	90
30-may-18	01:00 p.m.	3.9	90
30-may-18	02:00 p.m.	6.6	90
30-may-18	03:00 p.m.	4.8	90
30-may-18	04:00 p.m.	12.5	90
30-may-18	05:00 p.m.	13	90
30-may-18	06:00 p.m.	13.4	90
30-may-18	07:00 p.m.	13.9	90
30-may-18	08:00 p.m.	11.6	90
30-may-18	09:00 p.m.	10	90
30-may-18	10:00 p.m.	8.9	90
30-may-18	11:00 p.m.	12	90
30-may-18	12:00 a.m.	13.5	90

*Fuente:* Elaboración propia.

#### Apéndice 4. Datos de viento del mes de junio año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
01-jun-18	01:00 a.m.	10.6	90
01-jun-18	02:00 a.m.	9.9	90
01-jun-18	03:00 a.m.	8.4	90
01-jun-18	04:00 a.m.	7.5	90
01-jun-18	05:00 a.m.	7.8	90
01-jun-18	06:00 a.m.	8.2	90
01-jun-18	07:00 a.m.	9.7	90
01-jun-18	08:00 a.m.	8.3	90
01-jun-18	09:00 a.m.	7.9	90
01-jun-18	10:00 a.m.	7.5	45
01-jun-18	11:00 a.m.	10.8	45
01-jun-18	12:00 p.m.	9.3	45
01-jun-18	01:00 p.m.	10.8	45
01-jun-18	02:00 p.m.	10.2	45
01-jun-18	03:00 p.m.	11.5	45
01-jun-18	04:00 p.m.	10.6	45
01-jun-18	05:00 p.m.	12.5	45
01-jun-18	06:00 p.m.	9.7	45
01-jun-18	07:00 p.m.	11.3	45
01-jun-18	08:00 p.m.	11.6	90
01-jun-18	09:00 p.m.	8.8	45
01-jun-18	10:00 p.m.	9.1	90
01-jun-18	11:00 p.m.	11.8	90
01-jun-18	12:00 a.m.	12.6	90

*Fuente:* Elaboración propia.

### Datos de viento del mes de junio del año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
15-jun-18	01:00 a.m.	9.4	90
15-jun-18	02:00 a.m.	8	90
15-jun-18	03:00 a.m.	6.6	90
15-jun-18	04:00 a.m.	5.5	100
15-jun-18	05:00 a.m.	5.8	110
15-jun-18	06:00 a.m.	7.4	100
15-jun-18	07:00 a.m.	6.7	90
15-jun-18	08:00 a.m.	7	90
15-jun-18	09:00 a.m.	8	90
15-jun-18	10:00 a.m.	6.5	90
15-jun-18	11:00 a.m.	7.6	90
15-jun-18	12:00 p.m.	9.3	90
15-jun-18	01:00 p.m.	10.4	90
15-jun-18	02:00 p.m.	8.8	90
15-jun-18	03:00 p.m.	11.3	90
15-jun-18	04:00 p.m.	11.7	90
15-jun-18	05:00 p.m.	11.3	90
15-jun-18	06:00 p.m.	11.9	90
15-jun-18	07:00 p.m.	10.5	90
15-jun-18	08:00 p.m.	9.5	90
15-jun-18	09:00 p.m.	8.1	70
15-jun-18	10:00 p.m.	13.6	70
15-jun-18	11:00 p.m.	13.1	70
15-jun-18	12:00 a.m.	15	70

*Fuente:* Elaboración propia.

### Datos de viento del mes de junio del año 2018

Día /Mes/Año	Hora	Velocidad m/s	Dirección Grados(°)
30-jun-18	01:00 a.m.	8.6	80
30-jun-18	02:00 a.m.	7.9	80
30-jun-18	03:00 a.m.	7.2	80
30-jun-18	04:00 a.m.	7	80
30-jun-18	05:00 a.m.	6.7	80
30-jun-18	06:00 a.m.	8.9	80
30-jun-18	07:00 a.m.	7.1	80
30-jun-18	08:00 a.m.	8.3	80
30-jun-18	09:00 a.m.	10.3	80
30-jun-18	10:00 a.m.	11	80
30-jun-18	11:00 a.m.	9.3	80
30-jun-18	12:00 p.m.	6.4	80
30-jun-18	01:00 p.m.	7.2	80
30-jun-18	02:00 p.m.	6.1	80
30-jun-18	03:00 p.m.	8.6	80
30-jun-18	04:00 p.m.	9.1	80
30-jun-18	05:00 p.m.	10.1	80
30-jun-18	06:00 p.m.	7.8	80
30-jun-18	07:00 p.m.	12.5	80
30-jun-18	08:00 p.m.	10.6	80
30-jun-18	09:00 p.m.	9.7	80
30-jun-18	10:00 p.m.	8.9	80
30-jun-18	11:00 p.m.	6.9	80
30-jun-18	12:00 a.m.	12.7	80

*Fuente:* Elaboración propia.