

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial
eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de
San Jerónimo, Cusco – 2019**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Elizabeth Rocio Achuma Chunga

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

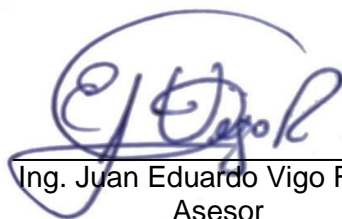
Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, CUSCO – 2019.”** constituye la memoria que presenta la Bachiller Elizabeth Rocio Achuma Chunga para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 30 días del mes de diciembre del año 2020.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor



071

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 30 día(s) del mes de diciembre del año 2019, siendo las 11:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: MSc. Rose Adeline Gallata Chura, el secretario: Ing. Verónica Haydee Pavi Mamani y los demás miembros: Ing. Miguel Ángel Salcedo Enriquez, y el asesor Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de San Jerónimo, Cusco - 2019" de el(los)/la(las) bachiller(es): a) Elizabeth Rocio Achuma Chunga b) conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Elizabeth Rocio Achuma Chunga

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	16	B	Bueno	Muy bueno

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente

Secretario

Asesor

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

DEDICATORIA

A Dios, por la salud, por la vida y por la dicha de cerrar un capítulo importante, llegando a este momento muy importante de la formación profesional. Por todo lo que fui, lo que soy y lo que seré, gracias a Dios.

A mis padres, Víctor e Isabel, por haberme dado la vida; por su amor y por todas las enseñanzas, el apoyo moral y económico; sin ellos nada hubiese sido posible. A mi hermana, Yesica por su cariño, apoyo y compañía.

A mis grandes amigos, Juan Pierre, Alex y Bryan por su infaltable apoyo en momentos difíciles por su incondicional aprecio y consideración.

Elizabeth Rocio Achuma Chunga

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi grato agradecimiento en primer lugar a Dios el dador de la vida y las oportunidades seguidamente a la Universidad Peruana Unión alma mater y la Escuela de Ingeniería Ambiental por haber compartido conocimientos durante todo este tiempo que han sido muy favorecedoras para mi formación universitaria; por todo el apoyo que me ha brindado con los asesores en especial al Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, así mismo, a mi padre Víctor Achuma Conza, a mi madre Isabel Chunga Sisa y familia por su apoyo incondicional por su compromiso.

También brindo un agradecimiento especial al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI DZ12, por brindarme las facilidades para el desarrollo de esta investigación.

Índice general

Índice general.....	vi
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos.....	xi
Símbolos utilizados.....	xii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	15
1.1. Identificación del problema	15
1.2. Justificación de la investigación.....	18
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	20
2.1. El viento.....	20
2.1.1. Clasificación de los vientos	21
2.1.2. Factores que influyen en el viento.....	22
2.1.3. Clima	22
2.1.4. Balance energético	23
2.1.5. Oferta y demanda eléctrica	23
2.1.6. Efecto Coriolis	23
2.1.7. Instrumentos de medida del viento.	24
2.1.8. Rosa de vientos.....	25
2.2. Energía renovable.....	25
2.2.1. Energía eólica	26
2.2.2. Aerogenerador	26
2.2.3. Orientación del rotor	28
2.2.4. Parques eólicos	30
2.2.4.1. Parques eólicos interconectados.....	30

2.2.4.2. Parques eólicos con consumos asociados (autoconsumo)	30
2.2.4.3. Parques eólicos aislados.....	30
2.2.5. Potencial eólico.....	31
2.2.5.1. Caracterización de potencial eólico en una zona	31
2.2.5.2. Potencia del viento.....	31
2.2.6. Impacto ambiental de la energía eólica.....	31
2.2.6.1. Impacto visual.....	32
2.2.6.2. Impacto sobre las aves	32
2.2.6.3. Impacto acústico	32
2.2.7. Distribución WEIBULL.....	33
2.3. Legislación.....	33
2.3.1. Constitución política del Perú (1993).....	33
2.3.2. Ley general del medio ambiente (Ley N° 28611-2005).....	34
2.3.3. Ley de eficiencia de generación eléctrica (Ley N° 28832).....	35
2.3.4. Ley para la promoción de la inversión y la generación de la electricidad con el uso de energías renovables (D.L. N° 1002 -2008)	35
2.4. Resultados anteriores de investigación.....	35
2.4.1. Antecedentes internacionales	35
2.4.2. Antecedentes nacionales	36
2.4.3. Antecedentes locales	37
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Lugar de estudio	38
3.1.1. Ubicación del Distrito de San Jerónimo:.....	38
3.2. Equipos y software.....	39
3.3. Diseño y tipo de Investigación.....	39
3.4. Metodología experimental.....	39
3.4.1. Cálculo de la densidad del aire de la zona	39
3.4.2. Extrapolación de la velocidad del viento con la altura señalada	40
3.4.3 Establecimiento de los parámetros de la ecuación planteada por Weibull a partir de los datos de velocidad del viento	41
3.4.4. Simulación de la generación de energía	43
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1. Diagnosticar las velocidades del viento.....	46

4.2. Determinar la dirección predominante del viento.....	50
4.3. Determinar la velocidad del viento en diferentes alturas.	51
4.4. Simular la producción de energía eléctrica.....	52
4.4.1. Determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica	52
4.4.2. Simulación de la producción de energía eléctrica.	54
4.4.3. Propuesta de tecnología eólica	58
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. Conclusiones	60
5.2. Recomendaciones	60
Referencias	62
ANEXOS.....	66

Índice de tablas

Tabla 1: Especificaciones de los aerogeneradores seleccionados.....	29
Tabla 2: Descripción de la estación meteorológica	38
Tabla 3: Equipos y Software	39
Tabla 4: Densidad del aire a diferentes altitudes bajo condiciones normales.	40
Tabla 5: Rugosidad del Terreno.....	41
Tabla 6: Interpolación de la densidad considerando la altitud en condiciones normales. .	46
Tabla 7: Velocidades de viento a 10 m de altura (2009 – 2018).....	48
Tabla 8: Consideraciones de los parámetros de la distribución de Weibull para velocidades de viento que son a 90 m de altura en San Jerónimo	54
Tabla 9: Cálculo de la energía eléctrica en (KWh/año) y producida por aerogeneradores a 90 m de altura, para velocidades de viento del distrito de San Jerónimo.	55
Tabla 10: Simulación de producción de energía eléctrica por año (MWh/año)	58
Tabla 11: Coordenadas UTM para las posibles ubicaciones de aerogeneradores en el distrito de San Jerónimo-Cusco	58

Índice de figuras

Figura 1. Gradiente de Presión	21
Figura 2. Rosa de los vientos.....	25
Figura 3. Partes Internas de la góndola.	27
Figura 4. Aerogenerador.....	28
Figura 5. Orientación del rotor vertical y Horizontal.....	29
Figura 6. Comportamiento promedio de velocidad del viento Periodo 2009 -2018.....	49
Figura 7. Comportamiento de la media velocidad del viento del 2009 al 2018.	49
Figura 8. Rosa de vientos del distrito de San Jerónimo – Cusco, 2009-2018.....	50
Figura 9. Extrapolación de velocidades de viento a 30, 60 y 90 m al nivel del suelo (2009 – 2018).	51
Figura 10. LN(V) Vs LN(-LN(1-F(V))) 2009 al 2018.....	52
Figura 11. Distribución de la frecuencia Weibul 2009 al 2018.	53
Figura 12. Potencia de aerogeneradores seleccionados.....	55
Figura 13. Potencia eléctrica versus velocidad de viento.	57

Índice de anexos

Anexo 1 Cálculos de potencias de energía eléctrica	66
Anexo 2 Data de La Estación Meteorológica “Granja Kcayra”	67

Símbolos utilizados

hab/km ²	: habitante sobre kilómetro cuadrado
KW	: Kilowatts
m	: metro
msnm	: metros sobre el nivel el mar
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
UTM	: Universal Transverse Mercator

Resumen

La investigación tuvo el objetivo de evaluar la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de San Jerónimo, Cusco – 2019; se utilizó los datos de la estación meteorológica de “Granja Kayra” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – Cusco de los años del 2009 al 2018. La investigación es descriptiva y para determinar el potencial eólico primero se determinó la concentración del aire, segundo se extrapola las velocidades del viento a 30, 60 y 90 metros, tercero se determinó la distribución WEIBULL y finalmente se determinó la producción de energía eléctrica para cinco aerogeneradores. Con resultados para el establecimiento del parque eólico de velocidad media del viento a 90 m es de 6.4 m/s; con distribución WEIBULL de probabilidades de velocidades de viento de 3 a 7 m/s, con dirección dominante “noreste”, la energía eléctrica generada de 5506.49 MWh/año a 90 m de altura que cubre el 46.20 % del consumo de todo el distrito de San Jerónimo; el aerogenerador seleccionado es tipo VESTAS de 2000KW, por lo que se concluye el beneficio por el uso de la fuerza eólica para la producción normal de energía eléctrica limpia en el Distrito de San Jerónimo es técnica, y eco amigable.

Palabras clave: Distribución Weibull, energía eléctrica, potencial eólico y viento.

Abstract

The research had the objective of evaluating the viability of taking advantage of the wind potential for the generation of electrical energy in the district of San Jerónimo, Cusco - 2019; The data from the “Granja Kayra” meteorological station of the National Service of Meteorology and Hydrology - Cusco from the years 2009 to 2018 was used. The research is descriptive and to determine the wind potential, the air concentration was first determined, second he extrapolated the wind speeds to 30, 60 and 90 meters, third the WEIBULL distribution was determined and finally the electrical energy production for five wind turbines was determined. With results for the establishment of the wind farm, the average wind speed at 90 m is 6.4 m / s; with WEIBULL distribution of probabilities of wind speeds of 3 to 7 m / s, with a dominant direction “northeast”, the electric energy generated of 5506.49 MWh / year at 90 m of altitude that covers 46.20% of the consumption of the entire district of St Geronimo; The selected wind turbine is a 2000KW VESTAS type, for which the benefit is concluded for the use of wind power for the normal production of clean electrical energy in the San Jerónimo District is technical, and eco friendly.

Key words: Weibull distribution, electrical energy, wind potential and wind.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Según Baldovino y otros (2007) la situación energética mundial es una gran preocupación global que ha sido priorizada por gobiernos y organismos mundiales involucrados en la investigación de temática energéticos, nuestro sistema energético se encuentra en un punto crítico, ya que el consumo excesivo de combustibles fósiles es predominante debido a que son la primordial fuente de energía y es el mayor responsable de las emisiones que están comenzando a provocar cambios climáticos severos.

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) asevera que los gastos de producción eléctrica con energía eólica terrestre han descendido aproximadamente de un cuarto desde el 2010, entretanto el reajuste del costo de generación a partir de solar fotovoltaica se ha minimizado en un 73% para entonces, según la nueva data de costos recogida por IRENA (Mantilla Barbosa, 2019).

Según el informe a mediados del 2020 el coste de energía solar fotovoltaica será menor y para el 2022, aproximadamente, todas las propuestas de energía eólica terrestre y solar fotovoltaica producirían electricidad a USD 3 centavos por kilovatio hora (kWh) o antes del 2022.

En los siglos XIX y XX se vio un acelerado crecimiento en cuanto al uso global de la energía, basado principalmente en el quemado y pleno uso de los combustibles fósiles: inicialmente fue el carbón posteriormente el petróleo y finalmente el gas "natural". Entre estos tres grandes grupos de combustibles fósiles que son consumidas en el mundo, se suministran casi el 80% según el banco mundial al 2015. Se dice que en la actualidad "en pleno siglo XXI, los sistemas establecidos en combustibles fósil permanecen aún como los principales soberanos distribuidores de energía mundial, a pesar de sean poco amigables con el medio ambiente" (Salas, 2018).

Actualmente, el acopio de los gases de tipo invernadero, la acidificación, la contaminación del aire, la contaminación del agua, el daño de las capas superficiales y

ozono troposférico son problemas medioambientales de los cuales los combustibles que se queman son principales responsables y que están siendo de gran relevancia en la agenda política. Como se evidencia “son señales de problemas del ámbito medioambientales que son causados por la liberación de contaminantes que de manera normal se presentan de manera natural presente en la estructura atómica de los combustibles, tales como el Sulfuro y el Nitrógeno. En el presente, la quema del petróleo es responsable de una contaminación del 30% encontradas en las emisiones de dióxido de carbono en aire” (Salas, 2018).

De acuerdo con Gómez Muñoz (2018), la energía eólica es la energía que se obtiene de la fuerza originada por el viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire presentes en la zona. Se obtiene mediante unas turbinas eólicas que convierten la energía cinética causada por el viento en energía eléctrica las que se originan en medio de aspas o hélices que logran hacer girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes diseñados para tal fin, la transmisión a un generador eléctrico.

La energía eólica se considera que es “una energía limpia con el medioambiente y al mismo tiempo es la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por sus aplicaciones. De entre todas ellas, la más extendida en diferentes regiones, y la que cuenta con un mayor crecimiento es la de los parques eólicos exclusivos para producción eléctrica” (Salas, 2018).

El problema se hace visible cuando se revisa el Plan Energético Nacional del 2014 al 2025, donde se espera que el consumo de conclusivo de energía prolongue creciendo en función al perfeccionamiento de la economía interna, el incremento de la población urbana y el desarrollo de la cobertura energética, a pesar de la aplicación de medidas de uso eficiente de la energía en los distintos sectores. Por lo cual, resulta notable valorar otras opciones para acrecentar los orígenes de energía limpia para cubrir la futura solicitud de la población (Porres, 2016).

Según el OSINERGMIN en el 2018, el 6% de la población peruana no cuenta con el servicio de electrificación, esto se da principalmente en la selva y en la sierra del territorio peruano, así también en el distrito de San Jerónimo el 20% de la población no cuenta con un sistema eléctrico continuo por lo que existe déficit de cobertura y problemas de conexión con este servicio (Barandiarán Gómez, 2018).

Según la investigación de Baldovino, Ramos, y Calderón (2007) se asevera que el sistema energético está en una crisis, ya que el consumo excesivo de combustibles fósiles,

fuerza de energía primordial, estos son los causantes de encender las alarmas del cambio climático. El contexto mundial en cuestiones energéticas preocupa a los habitantes de este planeta y es prioridad por autoridades mundiales y científicos de la temática energética.

Según lo señalado en el documento del Plan Energético Nacional años 2014 al 2025, se aguarda que el uso final de energía tenga un incremento progresivo con respecto al avance de la economía interna, el aumento de los ciudadanos y la prolongación de la cobertura energética, teniendo uso de medidas eficientes de la energía en los distintos sectores. Es prioridad evaluar alternativas y así tener más fuentes de energía limpia y satisfacer la demanda en los años venideros (Porres, 2016).

Según el OSINERGMIN, que es el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería en el Perú, en el 2018, el 6% de la población peruana no cuenta con el servicio de electrificación, esto se da principalmente en la selva y en la sierra del territorio peruano, así también en el distrito de San Jerónimo el 20% de la población no cuenta con un sistema eléctrico continuo por lo que existe déficit de cobertura y problemas de conexión con este servicio (Barandiarán Gómez, 2018).

Es por ello que a nivel mundial se han desarrollado importantes investigaciones, como la de Dahmouni, Ben Salah, Askiri, Kerkeni, y Ben Nasrallah (2011) en Borja Cedria, Túnez consideraron un potencial eólico de 10.5 MWh/año. En Egipto se valoraron potenciales eólicos entre 600-750 kWh/año, como lo menciona Shata A. (2012), y de igual manera en Nigeria potenciales eólicos entre 600 kWh/año mencionado por Ohunakin y Akinnawonu (2012), y en Senegal descubriendo potenciales eólicos de 312 kWh/año hasta 4,517.900 kWh/año, Ould, Ndongo, Kebea, Samboua, y Ndiayea (2013) lo aseveran en su investigación.

En el 2014 en el Perú se puso en marcha las operaciones de las centrales de Marcona en Ica de 32 MW, Cupisnique en La Libertad de 80 MW y Talara en Piura de 30 MW y en marzo del 2016 se integró al sistema Tres Hermanas (Ica) de 97.15 MW. El proyecto tuvo una inversión promedio de 197 millones de dólares y se encuentra compuesta por 33 aerogeneradores, además de ello se desarrollaron importantes investigaciones, En el año 2015 se hizo una exhaustiva investigación en el distrito de Quiruvilca en Santiago de Chuco La Libertad, Se evaluó una investigación similar, finalizado el informe se resolvió que las características de dicha área tiene las mejores condiciones para dar el visto bueno al proyecto de establecimiento de turbinas eolias para llevar de energía eléctrica al distrito de Quiruvilca, otro similar proyecto fue desarrollado en Arequipa en el año 2018 de la Universidad Nacional de San Agustín (Luque Salas, 2018).

Las energías renovables particularmente constituyen herramientas fuertes para dar solución al impacto ambiental de hoy, siendo económica y amigables. Pero debemos tener en cuenta la estimación y el cálculo de las fuentes existentes de viento para satisfacer el consumo energético Baldovino et al (2007).

Baldovino y otros (2007), pretenden desarrollar un tema semejante a la presente investigación donde se determinará la estimación y el cálculo de la capacidad de la fuente.

Dentro del departamento del Cusco, no se encontró mucha investigación respecto al tema de energía eólica, sin embargo un estudio de un proyecto de investigación realizado por la Universidad San Antonio Abad del Cusco, de la Facultad de Ciencias Químicas y Físicas, denominado: “Estudio de las principales variables meteorológicas y su implicancia en el cambio climático de La región Cusco – 2012”, toma en conocimiento la variable meteorológica del viento y su importancia para esta región, ahora dentro del distrito de San Jerónimo no existe ninguna investigación o estudio que determine el aprovechamiento de energía eólica.

1.2. Justificación de la investigación

El presente trabajo permitirá dar solución al problema energético del Distrito de San Jerónimo – Cuzco, aprovechando el recurso natural “viento” para la generación de energía eléctrica a través de un modelamiento del potencial eólico; con predicción del comportamiento de las corrientes de aire, elección del área para la instalación de un parque eólico con la elección del tipo apropiado de aerogeneradores que permita la generación de energía eléctrica de una fuente renovable.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de San Jerónimo – Cusco, 2019

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la velocidad del viento de la Estación Meteorológica de Granja Kayra en el distrito de San Jerónimo del Departamento de Cusco.

- Determinar la dirección predominante del viento mediante la generación de la rosa de vientos con el uso del software WRPLOT Versión 8.0.2

- Determinar la velocidad media del viento al 30, 60 y 90 m sobre el nivel del suelo de los datos de la Estación Meteorológica de Granja Kayra en el distrito de San Jerónimo del Departamento de Cusco.

- Simular la producción de energía eléctrica en el Distrito de San Jerónimo – Cuzco.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se hará una revisión de la literatura de las energías renovable o denominadas energías limpias.

2.1. El viento

Se considera al movimiento de aire evidenciado desde una zona de origen hasta otra de destino, pueden existir diversas causas que pueden provocar el viento, por lo contrario, normalmente tiene un origen cuando entre dos puntos se establece un cierto contraste de presión o de temperatura, a esta diferencia se le designa como “gradiente”, en este primer tema, cuando entre dos zonas la presión del aire es desigual, éste se dilata a trasladarse desde la zona de alta presión a la zona de menor presión” (Salas, 2018).

La superficie del terreno se calienta por la radiación solar emitida por el sol; esta radiación se recibe en diferentes zonas del mundo, por lo que se origina un desigual calentamiento. El aire que tiene menor temperatura se dilata menos y por consiguiente es más denso, aumentando la presión atmosférica en la zona que abarca la masa de aire más frío. Por consiguiente, se tiene que el desigual calentamiento del área terrestre y de las masas de viento que se accedan sobre ella origina unas zonas de la atmósfera y que tienen otras fuerzas atmosféricas.

Según Andrades Rodríguez y Múñez León (2012) lo que contienen los mapas de isobaras se evidencian en centros con altas presiones en la cual la presión se ve disminuida desde el centro en dirección a los bordes; a esta disminución se le denomina gradiente de presión. Los mencionados gradientes existen constantemente de altas y bajas presiones en diferentes lugares que se encuentran en el mundo, y se constituye en la fuerza que trasladará a las masas de aire ocasionando el viento.

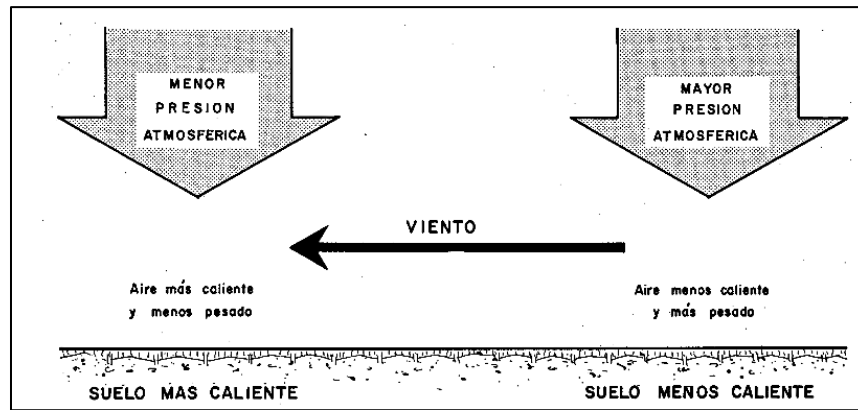


Figura 1. Gradiente de Presión (Meteorología, 2019 en https://encvirtual.es/cursos/PYATE/c3/31_322/31_323.htm)

2.1.1. Clasificación de los vientos

A continuación, se presenta la clasificación de los tipos de vientos.

Vientos geostróficos

Se consideran porque son los que se originan, primariamente, por los contrastes de temperatura y presión, estos llegan a ser escasamente influenciados por la superficie de la tierra. Los llamados vientos geostróficos se encuentran a una altura de 1.000 metros medidos a partir del nivel del suelo, y por lo general estos suelen ser medidos utilizando globos sonda para tal fin.

Vientos de superficie

Vientos que están siendo originados por la superficie de la tierra a alturas de hasta 100 metros. El viento de manera normal es aplacado por los repliegues de la superficie de la tierra y su velocidad se ve disminuida por los obstáculos presentes en la zona. Las direcciones que asume el viento cerca de la superficie serán algo menores de las de los vientos geostróficos esto es debido a la rotación de la tierra (Danish Wind Industry Association, 2003).

Brisas marinas

Fenómeno que se explica; durante las mañanas la tierra se calienta más rápido que la superficie del mar esto debido al efecto del sol, lo que ocasiona que el aire sube, desplazándose hacia el mar, lo que crea una depresión en el nivel del suelo, lo que atrae el aire frío desde el mar. A este fenómeno, de manera común se llama brisa marina.

Este es un sistema de circulación que va desde el mar hacia la tierra, y según su intensidad térmica aumentara la velocidad del viento.

Vientos de montaña

Los vientos de montaña, tienen su origen en las laderas que están orientadas hacia el sur, esto en el hemisferio norte; pero las que dan al norte en nuestro hemisferio sur. Cuando los declives y el viento próximo a ellos se encuentran calientes la densidad del aire presente disminuye; y el aire puede escalar y subir hasta la cima siguiendo la superficie de la ladera. Por el contrario, si durante la noche la orientación del viento presenta un cambio, y se convierte en un viento que tiene su dirección ladera abajo. Pero si el fondo del valle presenta una inclinación, el aire suele subir y bajar por el valle; este efecto que se evidencia, de manera común se le conoce como viento de montaña (Danish Wind Industry Association, 2003).

2.1.2. Factores que influyen en el viento

Uno de los factores que influyen es la rotación terrestre que interviene directamente en la dirección del viento, el viento depende su velocidad y también de su densidad, y esta a su vez de la altitud, el viento es condicionado por los cambios de velocidad ya que a mayor altura existe mayor velocidad y por el contrario a menor nivel bajara la velocidad esto producto de la zona accidentada y las barreras geográficas que puedan existir en el área de investigación (Salas, 2018). Así también la temperatura, humedad y presión atmosférica constituyen un papel muy importante en dicho fenómeno natural.

2.1.3. Clima

El Cusco se halla bajo la influencia macro-climática de grandes masas de aire provenientes de la selva sur oriental cargadas de humedad, que son impulsadas por los vientos alisios del oriente, así como masas de aire bien frías y secas provenientes del Altiplano, e incluso de la Patagonia.

Según Zanabria Pacheco (2012), el clima de la ciudad del distrito corresponde a una zona de transición entre el clima templado quechua y el clima frío de puna. Se caracteriza por su temperatura fría moderada, que se acentúa en el invierno (21 de junio 22 de setiembre), estación ésta en que se produce intensas heladas y por un verano (21 diciembre- 21 marzo), lluvioso, las nevadas son muy raras, se producen en el lapso de muchos años, en veranos cálidos, la temperatura máxima es inferior a 22°C.

2.1.4. Balance energético

Según la Secretaria Nacional de Energía: El control energético o “balance” asume las interrelaciones entre la oferta, transformación y uso final de la energía y además constituye una herramienta de gran importancia para la clasificación y presentación de datos en la planificación energética global. Además, tiene flujos físicos consistentes que van desde la energía primaria hasta el consumo final. El balance de energía admite tener un conocimiento más claro y específico de la eficiencia energética y constituye la base para el análisis con respecto a las posibilidades de suplantación y la competencia de precios y tarifas entre los diferentes sectores energéticos (Bolaño, 2010).

2.1.5. Oferta y demanda eléctrica

Se entiende por oferta total la suma de la producción, la importación, la variación de inventarios, tanto de energía primaria como secundaria, el año 2017 en la región Cusco fue de 82.22% según el Gobierno Regional de Cusco. Por otro lado, la demanda de energía está compuesta por los procesos de transformación, por el consumo del sector de energía, por la diferencia estadística, por el consumo final total y por las pérdidas por transporte, distribución y almacenamiento (Adrián, 2015).

2.1.6. Efecto Coriolis

El efecto o fuerza coriolis (FCOR) es una fuerza que se produce de forma perpendicular de la dirección del movimiento, es uno de los fenómenos más atractivos e interesantes que ocurren en la tierra. es un impulso o fuerza a la que se sujetan los fluidos del planeta que están en desplazamiento. fue descrita por primera vez en el año 1835 por los científicos Gaspard - Gustave de coriolis que la designó y la catalogó como la fuerza invisible, esto debido a que la trayectoria del aire u objetos en movimiento presentan una variación ocasionado por la rotación de la tierra, de esta manera las masas de aire se desvían en direcciones que se pueden predecir por ejemplo en el hemisferio norte este efecto curva su dirección de movimiento hacia la derecha.

Cuando un objeto inicia un movimiento apuntando en una dirección en el hemisferio norte, sea cual sea esa dirección, la trayectoria real resulta curvada hacia la derecha respecto a la dirección inicial. Esto es debido a que la Tierra gira de Oeste a Este.

2.1.7. Instrumentos de medida del viento.

Los instrumentos usados en la medición del viento son: 1) El anemómetro: que determina la velocidad del viento, 2) La veleta: que evidencia la dirección del viento y puede transmitir eléctricamente a un indicador observable y 3) el anemógrafo: que es el que registra la dirección, la velocidad y el recorrido realizado por el viento.

Las unidades de medida en el Sistema Internacional de medidas, para la velocidad del viento es m/s; en la práctica se emplea el kilómetro por hora Km/h. Estas medidas en la navegación aérea y marítima son reemplazadas por el uso del nudo, siendo su equivalencia a 1852 Km/h de manera consensuada.

Anemómetro

Es un instrumento que normalmente es usando como cazoletas, y por lo consiguiente, el anemómetro de cazoletas presenta un eje vertical y tres cazoletas las cuales capturan el viento. En este instrumento la cantidad de revoluciones por segundo son asentadas electrónicamente, de manera normal, el anemómetro se encuentra provisto de una veleta la cual detecta la dirección del viento presente.

Por el contrario, la perfección de los anemómetros que no son mecánicos es que son menos sensibles a la formación de hielo en su superficie. A pesar de eso, en la práctica los anemómetros de cazoletas son muy utilizados, y los modelos de una manera muy especiales con ejes y cazoletas que eléctricamente son calentados y pueden ser usados incluso en las zonas árticas y muy frías.

Veletas

Se emplea para medir la dirección predominante del viento e indicando la procedencia, se usa con una combinación de las fuerzas de arrastre y sustentación para formar el flujo del vector de viento.

Anemógrafo

Es un instrumento eléctrico que registra continuamente sin interrupción la velocidad de viento a partir de la salida de un anemómetro y con la dirección del viento vía transmisión por una veleta.

2.1.8. Rosa de vientos

Es un símbolo con forma circular que tienen demarcaciones de direcciones de orientación, su uso fue a inicios de 1504 por el navegante portugués Pedro Reinel, conocida por representar la flor de Lis.

La rosa de vientos, como se ve en la figura 2 considerar que los fuertes vientos por lo general provienen de una dirección determinada, y para determinar la información sobre la manera en la que se distribuye las velocidades del viento y la frecuencia de variación de las direcciones del viento, estos se pueden trazar en la llamada rosa de los vientos que tiene su fundamento en el análisis meteorológico de las velocidades y direcciones del viento a evaluar.

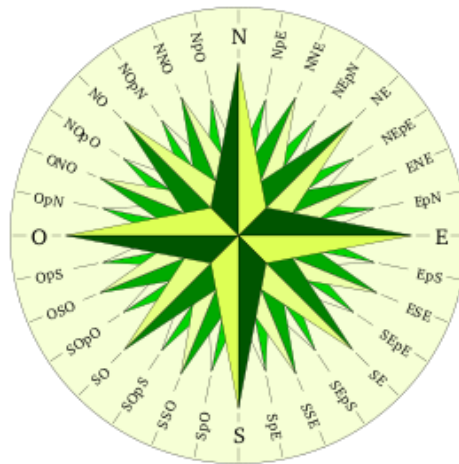


Figura 2. Vientos en nuestros mapas, 2020.
(<https://images.app.goo.gl/bG85BNmXvuhLflBj7>) Rosa de los vientos.

2.2. Energía renovable

Las energías renovables son aquellas que se producen de una forma continua y permanente, por lo consiguiente son inagotables a la percepción humana; y se remozan o renuevan de una manera continua, esto se diferencia de la energía que proviene de los combustibles fósiles, o de aquellos que existen en determinadas cantidades o reservas pequeñas, las cuales se agotan en un plazo más o menos establecido (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008).

Las principales energías renovables que existen en nuestro medio son: la biomasa, la energía hidráulica, eólica, solar, la energía geotérmica y las energías marinas, entre las más importantes y conocidas.

“Las energías renovables son aquellas que provienen, y de una manera directa o indirecta, de la energía proveniente del Sol; las que constituyen una excepción la energía geotérmica y la que provienen de las mareas” (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008).

2.2.1. Energía eólica

La energía eólica es la que es producida por el viento y hace referencia a aquellas tecnologías que aprovechan la energía cinética del viento convirtiendo en energía mecánica por el movimiento de las masas de aire y a partir de ella transformarse en energía para electricidad u otra formas, actualmente se usa para producir electricidad a través de parques eólicos mediante los aerogeneradores, este tipo de energía es una fuente cada vez más económica y barata en muchos lugares, además de llegar a zonas que muchas veces son inaccesibles y que no cuentan con una red eléctrica (Vílchez Navarro, 2019).

Parques eólicos en el mar

Son aquellos que se encuentran ubicados a nivel del mar, de una manera tradicional en lugares donde la plataforma marina no es tan profunda. Se conoce que, en el mar, los vientos son por lo general más fuertes y constantes y debido a que no existe alrededor ninguna barrera; motivo por el cual, y pese a que los parques marinos por lo general son más costosos, se está alcanzando una alta rentabilidad hoy en día debido a su eficiencia (Cañellas Jalón, 2011).

Repotenciación de parques antiguos

En 2003 los países Dinamarca, Australia, Alemania y Holanda sustituyeron y cambiaron los aerogeneradores. Dinamarca en la actualidad es el país líder a nivel mundial en repotenciación en este rubro y ha desarrollado una política que ayuda en el reemplazo de máquinas eólicas con una antigüedad de más de 10 años, en dichos países existe un gran potencial eólico es por ello que usan el reemplazo de parques eólicos obsoletos por unos nuevos, así repotenciar y conseguir mejor rentabilidad (Calderón Bautista, 2018).

2.2.2. Aerogenerador

Según Schallenberg et al. (2008) los aerogeneradores son sistemas de aprovechamiento eólico más utilizados en la actualidad, observándose un crecimiento muy acentuado en su utilización a partir del año 1990 en adelante su funcionamiento se basa en que al incidir la velocidad del viento sobre sus palas en donde se produce un trabajo

mecánico de rotación lo que se mueve a través de un generador que finalmente produce electricidad.

Partes de los aerogeneradores

Según Schallenberg Rodríguez, y otros (2008) definen las siguientes partes:

Rotor

Conjunto formado principalmente por las palas y el buje que las une, sirve para transformar la energía del viento en energía mecánica, por otro lado, se encuentra que el diseño de palas tiene mucho de parecido al diseño de las alas de un avión y por lo general suelen estar fabricadas con plásticos de poliéster o epoxy los cuales son reforzados internamente con fibra de vidrio o de carbono, mejorando su rendimiento.

Torre

Soporta la góndola y el rotor y suelen ser tubulares de acero, a más altura mayor será el peso que soporte.

Góndola

En su interior contiene los diferentes elementos que transforman la energía mecánica de rotor en la conocida energía eléctrica que se usa en los domicilios: los ejes del aerogenerador, así como el multiplicador, el generador y así mismo los sistemas de control con la orientación y el freno.

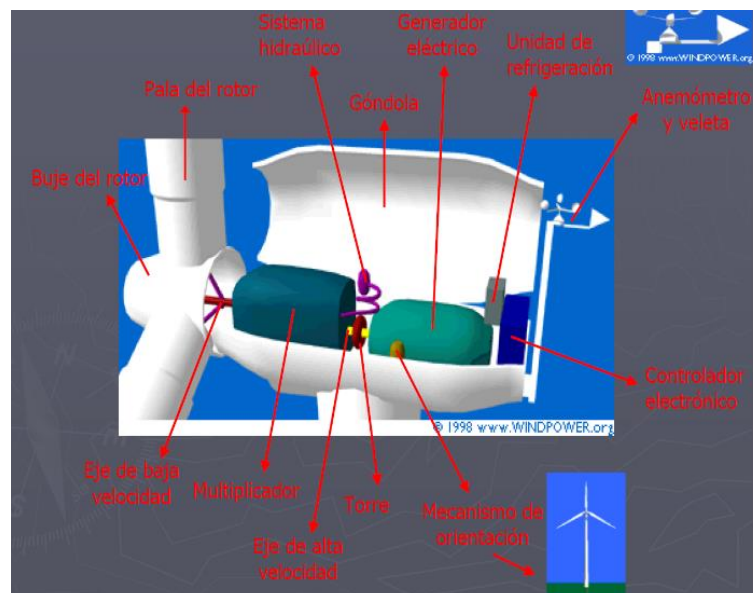


Figura 3. Partes Internas de la góndola. (2020). Recuperado 18 de noviembre de 2020, de <https://www.renovablesverdes.com/como-transportas-las-palas-de-52metros-de-un-aerogenerador/>

Multiplicador

Elemento mecánico que multiplica la velocidad del giro, y ya que los movimientos de giro de los aerogeneradores suelen ser bastante lentos por lo general, es así que de entre 10 – 20 RPM, de velocidad del eje del rotor y esto hace posible que se logre alcanzar una velocidad de 1500 RPM en el eje del generador, lo que hace posible el funcionamiento del generador eléctrico.

Generador eléctrico

Es una máquina eléctrica la cual transforma la energía mecánica asumida en la energía eléctrica que se distribuirá. Para esto el eje del generador carga un sistema acoplado de freno de disco; algunos datos en las figuras siguientes.



Figura 4. Aerogenerador. Recuperado 18 de noviembre de 2020, de <https://www.renovablesverdes.com/como-transportas-las-palas-de-52metros-de-un-aerogenerador/>

2.2.3. Orientación del rotor

Eje vertical

En la mayoría de las máquinas de orientación del rotor, se observa que el eje que transmite el movimiento de las palas es de forma vertical. Una característica, es que no necesita orientarse y esto permite aprovechar los vientos provenientes de cualquier dirección. Por otra parte, el generador eléctrico se logra instalar a una altura del suelo, lo que constituye una menor la complejidad a la hora de realizar labores de mantenimiento en el equipo.

Eje horizontal

La considerar el eje horizontal, se encuentra que en estas máquinas el eje que transmite el movimiento no es el común vertical, sino que las palas son de manera horizontal, a diferencia de las .más comunes de las máquinas eólicas, como se ve en la figura siguiente:



Figura 5. Orientación del rotor vertical y Horizontal. (2020). Recuperado 18 de noviembre de 2020, de <https://www.renovablesverdes.com/como-transportas-las-palas-de-52metros-de-un-aerogenerador/>

Número de palas

Se tiene según el número de palas se pueden diferenciar algunas máquinas: bipalas, tripalas y multi palas cuando son más de 3 palas.

Tabla 1

Especificaciones de los aerogeneradores seleccionados.

Modelo del Aerogenerador	Endurace E-3120 (50Kw)	ACSA-27 (225 Kw)	Enercon E-48 (100Kw)	Bonus (1000 Kw)	Vestas (2000 Kw)
Potencia Nominal (Kw)	50	225	800	1000	2000
Alturas de Buje (m)	25	30	50-70	50	80
Diámetro del rotor (m)	19.2	27	48	54.2	80
Área de barrido (m ²)	290	573	1810	2300	5027
Números de palas	3	3	3	3	3
Velocidad de conexión (m/s)	3.5	3.5	2	3	4
Velocidad nominal (m/s)	13	13.5	13	15	15

Velocidad de corte (m/s)	25	25	25	25	25
Precio (\$)	735,217.87	1,481,316.96	2,491,859.21	2,287,561.40	3,502,456.15

Fuente: Castro & Cruz.

2.2.4. Parques eólicos

Un parque eólico es un ambiente geográfico, físico el cual es formado por uno o varios aerogeneradores, estos están situados en el mismo lugar o emplazamiento, y se pueden situar en el mar o tierra de manera indistinta.

2.2.4.1. Parques eólicos interconectados

El propietario del parque eólico es un productor más de sector eléctrico, estando la compañía eléctrica obligatoria por la legislación a proporcionar la conexión a aerogeneradores a la red eléctrica logrando comprar toda su producción de electricidad, en base a un sistema de precios que son establecidos a nivel nacional que hacer que debe priorizarse la energía eólica (Salas, 2018).

En Perú se otorgan mediante concurso público estos parques eólicos y de acuerdo a lo establecido es el Organismo de Supervisión de Energía y Minas (OSINERGMIN) el que es responsable tanto de los lineamientos, pautas y como de su adjudicación de los parques.

2.2.4.2. Parques eólicos con consumos asociados (autoconsumo)

El consumo conforme de la electricidad producida por los aerogeneradores se le llama autoconsumo y el excedente de electricidad producida por los parques, de haberlo, se coloca en la red eléctrica usada, esta característica se utiliza sobre todo en grandes empresas e industrias o en plantas desalinización del agua marina, ya que tienen un gran consumo de energía eléctrica, de esta forma, se logra capitalizar la energía producida y se satisface las demandas de manera responsable.

2.2.4.3. Parques eólicos aislados

Son aquellos parques que no tienen conexión vigente con la red eléctrica; pero se establece que su finalidad es la proveer energéticamente un consumo puntual y no cuentan con excedente.

2.2.5. Potencial eólico

2.2.5.1. Caracterización de potencial eólico en una zona

Las consideraciones principales a la hora de evaluar la energía del viento o eólica, son la velocidad y la dirección preponderante en la zona a instalar. Por lo general la velocidad y la dirección del viento son cambiantes en una zona o en otra y durante el año cambia notablemente y de igual forma entre los distintos años sufre variaciones; por lo que es necesario instalar una información eólica que cubra un número establecido de años y condiciones. En la mayoría de casos no se puede disponer de esa información de varios años cambiantes, por lo que se espera tener al menos la información completa de un año.

Para la recoger esta información eólica se debe considerar, como mínimo un aparato o instrumento que determine la velocidad del viento como un anemómetro y otro instrumento que mida la dirección del viento como la veleta.

Para tales fines se establece que la “altura más común y sugerida al ubicar estos sensores es de 10 metros, pero la tendencia general es de colocarlos a 20 metros” (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008).

2.2.5.2. Potencia del viento

Según Danish Wind Industry Association (2003), una de las condiciones es que “se define la potencia del viento como la rapidez con la cual la energía es transformada, la cual puede expresarse como la energía por unidad de tiempo, esto quiere decir joule por segundo (J/s) como medida”. La unidad de potencia es el Watt (W), se considera que es igual a un Joule por segundo; es decir, $1 W = 1 J/s$. La energía contenida en el viento, llega a ser su propia energía cinética, es la energía cinética de cualquier masa de aire en movimiento, que es la masa del aire multiplicada por su velocidad al cuadrado. La potencia del viento es la razón de la energía cinética sobre el tiempo.

Por esto queda establecido que la energía cinética del viento se puede determinar qué y calcular si se supone un volumen de aire pasando a través de un anillo circular, que confina un área circular A, en una distancia a 100 metros, y a una velocidad V a una velocidad de 5 m/s.

2.2.6. Impacto ambiental de la energía eólica

Según Schallenberg Rodríguez, y otros (2008), se establece que al estudiar, desde un punto de vista del medioambiente, el uso de aerogeneradores y similares, debemos tener en cuenta su incidencia en dos sentidos muy comunes. En primer lugar, es el considerar la

producción de la energía eólica como un beneficio importante, ya que evitamos emisiones contaminantes. En segundo lugar, es necesario estudiar la manera de cómo afecta la construcción e implementación de aerogeneradores al medioambiente, en diferentes sentidos.

Así mismo el impacto medioambiental puede producir puede ser notable y el parque eólico va depender principalmente del lugar de emplazamiento elegido para su instalación, otro es el tamaño del parque y también de la distancia a los núcleos poblacionales o instalaciones humanas, como los principales impactos que se evidencian se puede considerar a:

2.2.6.1. Impacto visual

La construcción de los llamados parques eólicos en el medio ambiente genera un impacto visual y estos dependen de criterios que son fundamentalmente intrínsecos. Un parque de unos pocos aerogeneradores puede ser atractivo y emocionante para algunas personas; pero debido a una gran concentración de máquinas y cambios naturales obliga a considerar el impacto visual en el medio y la forma de reducir ese impacto.

2.2.6.2. Impacto sobre las aves

Según el Consejo Internacional para la Preservación de las aves, Es necesario el estudio de las rutas migratorias de estas especies, por otro lado, un estudio español ha determinado que la tasa de encuentros de aves que colisionan es del 0.1%. Los mencionados estudios y otros similares realizados en Dinamarca llegaron a concluir que las aves y otros se acostumbran rápidamente a la presencia de aerogeneradores y desvían significativamente su trayectoria migratoria de vuelo a fin de evadirlos.

2.2.6.3. Impacto acústico

Con respecto al impacto acústico se señala que esta experiencia acumulada logra señalar que en las ciudades y poblados más cercanos a las instalaciones o parque ecológicos no revelan incremento de ruido significativo, esto muestra un resultado más importante que el producido por el propio viento, se sabe que el origen de los ruidos y sonidos producido por los aerogeneradores de los años 80 se correspondía a factores de tipo mecánico; para esto en las últimas décadas se ha investigado mucho este aspecto y se ha conseguido bajar el nivel de ruido muy por debajo de la mitad producida (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008).

2.2.7. Distribución WEIBULL

Se afirma que “la distribución de Weibull que fue descubierta en los años 1950 por el sueco Walodi Weibull, fue informada y anunciada por primera vez de manera académica en 1951, esta distribución de Weibull es muy beneficiosa ya que cuenta con la habilidad para simular un variado y grande rango de distribuciones como el de la Normal, la Exponencial, etc. Así mismo las técnicas empleadas cuestionadas por algunos en la distribución de Weibull son muy similares a las que se usan con las distribuciones Normal y Log-Normal en la actualidad” (Abernethy, 2010).

Esto permite afirmar que el modelo propuesto depende únicamente de tres condiciones, que establecen la razón de determinación. La cuantificación límite o medida de localización indica el origen de las condiciones. El parámetro de la forma establece que en términos del exponente de la principal función potencial que es la que finalmente determina la razón de este fallo del modelo establecido. Más resumidamente y, en conclusión, la razón de fallo es constante creciente o constante pero decreciente. Esto quiere decir, que el inverso del parámetro de escala establecida define la razón del error del modelo exponencial, siempre en cuando el modelo Weibull se particulariza a este caso particular (Ruiz, 2008).

Se pueden definir estos tres parámetros los cuales proporcionan una gran flexibilidad tanto en la representación de comportamientos de una gran variedad de sistemas de fallo. Del mismo modo la implementación de métodos con los que se infiere es cada vez más compleja que en el modelo exponencial. Por lo tanto, en el caso en que el parámetro umbral o de localización llegue a coincidir con el instante cero se logrará obtener el modelo Weibull biparamétrico (Ruiz, 2008).

2.3. Legislación

2.3.1. Constitución política del Perú (1993)

Según Salas (2018) la Constitución Política que rige actualmente en el Perú, declara la importancia de los recursos que son naturales tanto renovables como no renovables en los siguientes artículos mostrados:

- Artículo 66. Declara que los recursos naturales, sean renovables o no renovables, son patrimonio de la Nación, y que el Estado es el único soberano en su uso y aprovechamiento

- Artículo 67. Declara que el Estado quien determina la política nacional del ambiente, asimismo, el estado es quien promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

- Artículo 192. Declara que los gobiernos regionales son quienes promueven el desarrollo y la economía regional, y son los que fomentan las inversiones, actividades y servicios públicos entre otros que son de su responsabilidad, todo esto es en armonía con las políticas y planes nacionales y locales de desarrollo conocidos.

- Artículo 195. Declara que los gobiernos locales son los promueven el desarrollo y la economía local, y al mismo tiempo son los que establecen la prestación de los servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo, considerando lo relacionado con el tema.

Concluyendo que en estos artículos mencionados se logra modificar el concepto de recurso natural hacia los que se conoce como “pertenencia” del Estado cambiando lo que anteriormente se daba en la Constitución de 1979 (Vilca Apaza, 2011, págs. 32-33).

2.3.2. Ley general del medio ambiente (Ley N° 28611-2005)

Los LMP sirven para el control y fiscalización de los agentes producen efluentes y emisiones, a efectos de establecer si se encuentran dentro de los parámetros considerados inocuos para la salud, el bienestar humano y el ambiente (Peirano, 2016).

La Ley 28611, ley general del ambiente (MINAM, 2005) y el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM definen al Límite Máximo Permisible - LMP, como la “medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente”.

- Artículo 77.- Este artículo señala la promoción de la producción limpia, con los siguientes términos:

Son las autoridades a nivel nacional, sectoriales, regionales y locales las que promueven, mediante acciones normativas, ya sea de fomento o de incentivos tributarios, y al mismo tiempo de difusión, asesoría y capacitación, se encargan de la producción limpia sin contaminación del desarrollo de proyectos de inversión y las actividades empresariales en general, logrando entender que la producción limpia es la aplicación permanente de una estrategia ambiental que previene y está integrada para los procesos, productos y servicios entre otros” (Ley N° 28611, 2005)..

2.3.3. Ley de eficiencia de generación eléctrica (Ley N° 28832)

- Cuarta disposición final complementaria.

Es el ministerio que dentro de sus funciones como promotora de nuevas inversiones, la que deberá implementar las evaluaciones del alcance nacional de proyectos hidroeléctricos y de las fuentes que no son convencionales de energía; para esto debe auspiciar a los productos producidos con energías renovables, y al mismo tiempo poner a disposición de los futuros inversionistas una gran gama de proyectos de inversión que contengan perfiles desarrollados incluso hasta el nivel de pre factibilidad.

2.3.4. Ley para la promoción de la inversión y la generación de la electricidad con el uso de energías renovables (D.L. N° 1002 -2008)

Esta ley fue dada el 2 de mayo del año 2008, en la que se establece que un porcentaje de la participación exclusiva o también llamada cuota de Recursos Energéticos Renovables como son la energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, biomasa y también la energía hidráulica cuando su capacidad instalada no llegue superar los 20 MW, dentro del consumo nacional equivalente al 5%, todo esto mediante una subasta para la asignación de primas (Universidad de San Martín de Porres, 2016).

2.4. Resultados anteriores de investigación

2.4.1. Antecedentes internacionales

Baldovino, Ramos, y Calderón (2007) realizaron una investigación donde manifiestan que el sistema energético está en crisis, por el consumo excesivo de combustibles fósiles, que es la fuente de energía primordial, y que causa impacto en el cambio climático, además, sostienen que las cuestiones energéticas preocupan a los habitantes del planeta y a las autoridades mundiales y científicos la temática energética.

Según lo señalado en el documento del Plan Energético Nacional años 2014 al 2025, se aguarda que el uso final de energía tenga un incremento progresivo con respecto al avance de la economía interna, el aumento de los ciudadanos y la prolongación de la cobertura energética, teniendo uso de medidas eficientes de la energía en los distintos sectores. Es prioridad evaluar alternativas y así tener más fuentes de energía limpia y satisfacer la demanda en los años venideros (Porres, 2016).

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), asevera que los gastos de producción eléctrica con energía eólica terrestre han descendido aproximadamente de un cuarto desde el 2010, entretanto el reajuste del costo de generación a partir de solar

fotovoltaica se ha minimizado en un 73% para entonces, según la nueva data de costos recogida por IRENA.

Según el informe a mediados del 2020 el coste de energía solar fotovoltaica será menor y para el 2022, aproximadamente, todas las propuestas de energía eólica terrestre y solar fotovoltaica producirían electricidad a USD 3 centavos por kilovatio hora (kWh) o antes del 2022.

Según el OSINERGMIN, que es el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería en el Perú, en el 2018, el 6% de la población peruana no cuenta con el servicio de electrificación, esto se da principalmente en la selva y en la sierra del territorio peruano, así también en el distrito de San Jerónimo el 20% de la población no cuenta con un sistema eléctrico continuo por lo que existe déficit de cobertura y problemas de conexión con este servicio.

Es por ello que a nivel mundial se han desarrollado importantes investigaciones, como la de Dahmouni, Ben Salah, Askiri, Kerkeni, y Ben Nasrallah (2011) en Borja Cedria, Túnez consideraron un potencial eólico de 10.5 MWh/año. En Egipto se valoraron potenciales eólicos entre 600-750 kWh/año, como lo menciona Shata A. (2012), y de igual manera en Nigeria potenciales eólicos entre 600 kWh/año mencionado por Ohunakin y Akinnawonu (2012), y en Senegal descubriendo potenciales eólicos de 312 kWh/año hasta 4,517.900 kWh/año, Ould, Ndong, Kebea, Samboua, & Ndiaye (2013) lo aseveran en su investigación.

2.4.2. Antecedentes nacionales

En el 2014 en el Perú se puso en marcha las operaciones de las centrales de Marcona en Ica de 32 MW, Cupisnique en La Libertad de 80 MW y Talara en Piura de 30 MW y en marzo del 2016 se integró al sistema Tres Hermanas (Ica) de 97.15 MW. El proyecto tuvo una inversión promedio de 197 millones de dólares y se encuentra compuesta por 33 aerogeneradores, además de ello se desarrollaron importantes investigaciones, En el año 2015 se hizo una exhaustiva investigación en el distrito de Quiruvilca en Santiago de Chuco La Libertad, Se evaluó una investigación similar, finalizado el informe se resolvió que las características de dicha área tiene las mejores condiciones para dar el visto bueno al proyecto de establecimiento de turbinas eolias para llevar de energía eléctrica al distrito de Quiruvilca, otro similar proyecto fue desarrollado en Arequipa en el año 2018 de la Universidad Nacional de San Agustín.

Las energías renovables particularmente constituyen herramientas fuertes para dar solución al impacto ambiental de hoy, siendo ecoamigables. Pero debemos tener en cuenta la estimación y el cálculo de las fuentes existentes de viento para satisfacer el consumo energético Baldovino et al (2007).

Baldovino et al (2007) pretende desarrollar un tema semejante a la presente investigación donde se determinará la estimación y el cálculo de la capacidad de la fuente.

2.4.3. Antecedentes locales

Dentro del departamento del Cusco, no se encontró mucha investigación respecto al tema de energía eólica, sin embargo un estudio de un proyecto de investigación realizado por la Universidad San Antonio Abad del Cusco, de la facultad de ciencias químicas y físicas, denominado: "Estudio de las principales variables meteorológicas y su implicancia en el cambio climático de La región Cusco – 2012", toma en conocimiento la variable meteorológica del viento y su importancia para esta región, ahora dentro del distrito de San Jerónimo no existe ninguna investigación o estudio que determine el aprovechamiento de energía eólica.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

El distrito de San Jerónimo es uno de los ocho distritos que conforman la provincia de Cusco, de acuerdo a lo expuesto en el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI, que en su base de datos de la población correspondiente al distrito de San Jerónimo en el año 2015 es de un total de 47,101 habitantes con una densidad de 452.3 hab/km².

3.1.1. Ubicación del Distrito de San Jerónimo:

- País : Perú
- Departamento : Cusco
- Provincia : Cusco
- Distrito : San Jerónimo
- Coordenadas : 189404 E y 850283 S
- Superficie : 460.81 Km²
- Altitud : 2946 msnm

Tabla 2

Descripción de la estación meteorológica

Estación:	Granja Kayra – 120607
Tipo:	Convencional, Meteorológica
Latitud:	188801.00 m E
Longitud:	8499452.00 m S
Departamento:	Cusco
Provincia:	Cusco
Distrito:	San Jerónimo
Altitud:	3219 m.s.n.m.

Fuente: SENAMHI (2015) (SENAMHI, 2015)

3.2. Equipos y software.

La tabla 3 muestra los equipos y software empleados en la investigación.

Tabla 3
Equipos y Software

Equipos	<ul style="list-style-type: none">• 01 Estación Meteorológica “Granja Kayra” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).• 02 Laptop Lenovo Core I7.• 01 Calculadora científica Casio fx-350 MS
Software	<ul style="list-style-type: none">• Microsoft Excel 2013• VRPLOT View Freeware 8.0.2

3.3. Diseño y tipo de Investigación

Según Hernández Sampieri et al., (2014) la investigación es no experimental de tipo descriptivo.

3.4. Metodología experimental

La metodología fue la utilizada por Luque Salas (2018) en Quiruvilca y Chiguata en donde se determinó que el generador más eficiente entre 5 tipos de aerogeneradores en producción de energía eléctrica.

3.4.1. Cálculo de la densidad del aire de la zona

Para determinar la densidad del aire “ ρ ” en la zona de estudio, existen métodos que se podría calcular a partir de la ecuación conocida de los gases ideales y también de otros modelos matemáticos ajustados considerando ciertos parámetros meteorológicos como la temperatura y la presión, sin embargo, debido a la naturaleza de esta investigación no se profundizarás en dicho tema, considerando que se determinó el valor de dicha densidad en la tabla siguiente de variación de la densidad como también de la presión con la altitud en una atmósfera que se encuentra en condiciones normales.

Tabla 4**Densidad del aire a diferentes altitudes bajo condiciones normales**

Altitud (m)	Presión (hPa)	Densidad (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
3000	701.1	0.909
4000	616.4	0.819
5000	540.2	0.736

Nota: Información Tecnológica-Vol. 17 N°5-2006, pág.: 21-30. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000500005

3.4.2. Extrapolación de la velocidad del viento con la altura señalada

Considerando que a partir de los datos de la velocidad de viento en superficie, junto con los adquiridos en la Estación Meteorológica encontrada en la: “Granja Kayra” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI, que fueron medidos a 10 metros de altura, se calculó el perfil de velocidad del viento presente y utilizando la ley de potencia logarítmica (Gualteri & Secci, 2012), que son expresados por la ecuación número 1, y son seguidos de las ecuaciones del 2 al 7, combinando y alternando la velocidad de referencia a alturas de 30 metros, 60 metros y 90 metros respectivamente.

$$v_z = \frac{v_{ref} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)} \dots \dots \dots (1)$$

Donde

- Z: El valor de la altura a la cual se solicita hallar la velocidad del viento.
- VZ: Es la velocidad del viento a una altura equivalente a Z;

- Z_{ref} : Es la altura de referencia, en el proceso actual es de 10 metros.
- V_{ref} : Muestra la velocidad del viento conocida para la altura de referencia establecida.
- Z_0 : Es la longitud de la rugosidad, se expresa en metros y varía de acuerdo al tipo de terreno.

Para este tipo de investigación se emplea la rugosidad del terreno

Tabla 5
Rugosidad del Terreno

Longitud de Rugosidad (m)	Tipo de paisaje
0.0002	Superficie del agua.
0.0024	Terreno completamente abierto con superficie lisa.
0.03	Área agrícola abierta sin cercados, ni barreras vivas y con viviendas muy dispersas. Solo Colinas suavemente redondeadas.
0.055	Terreno agrícola con algunas casas y barreras vivas de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
0.1	Terreno agrícola con algunas casas y barreras vivas de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.
0.2	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas o barreras vivas de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m.
0.4	Pueblos ciudades pequeñas, terreno Agrícola con altas barreras vivas, bosques y terreno accidentado y muy desigual.
0.8	Ciudades más grandes con edificios altos.
1.6	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

Fuente: Danish wind industry association, 2010.

3.4.3 Establecimiento de los parámetros de la ecuación planteada por Weibull a partir de los datos de velocidad del viento

El viento presenta ciertas características dispersas y aleatorias; por lo tanto, la mejor forma de graficarlo es por medio de los datos estadísticos. Un factor que resulta crítico para la evaluación del recurso eólico es el hecho de calcular la función de distribución estadística considerando la velocidad del viento, por lo que está determinado el rendimiento de los

diferentes sistemas de energía eólica. Logrado una vez la distribución es conocida, el potencial de la energía eólica que es la viabilidad económica y pueden ser fácilmente obtenidas (Jordán Arias, 2009).

Ya que el viento posee características aleatorias, es factible para este proceso hacer uso de la estadística. Para estos fines se debe tener un cálculo de la función correspondiente a la distribución estadística que evalúa la velocidad del viento y conocida la distribución, el potencial de la energía eólica sería convenientemente hallada puesto que los datos de velocidad de viento casi siempre son grandes, esencialmente cuando se trabaja por horas, según Shata y Hamitsch (2006), lo conveniente para estos trabajos es contar con pocos parámetros, se puede reflejar con una curva de frecuencia ya que la función de la distribución de Weibull, representada en la ecuación (2), siempre se utiliza en estudios eólicos.

$$F_{(v)} = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{v}{\beta}\right)^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\alpha}} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

- F(V): Es lo que representa a la probabilidad estadística por la cual puede suceder una determinada velocidad “V”
- B: Identifica al mencionado parámetro de escala (m/s) la cual su valor es cercano a la velocidad promedio del viento dado
- α: Llega a ser el parámetro adimensional de forma.

En la presente investigación se puede ver que α y β se estimaron al medir las diferentes alturas evaluadas, y mediante los análisis de regresión que se miden entre los valores que adopta la variable como son los valores de la velocidad del viento y del mismo modo la probabilidad acumulada, donde se utiliza la transformación logarítmica y también el ajuste dado por los mínimos cuadrados.

Por otra parte, la función en donde la distribución acumulativa de Weibull, se encuentra definida por la ecuación siguiente, la cual se transforma de una manera lineal donde se aplica el logaritmo natural un par de veces.

$$W_{(v)} = 1 - e^{-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\alpha}} \dots \dots \dots (3)$$

La mencionada función de distribución acumulada $W(v)$ es la que calcula la probabilidad en donde la velocidad ocasionada por el viento llega a ser igual o menor que “V”, y al mismo tiempo, α es el parámetro de forma y finalmente β llega a ser el parámetro de escala en metros por segundo.

Para desarrollar el método expuesto se puede determinar que los datos de velocidad del viento se hará una tabla de frecuencias y se estimará para cada uno, la frecuencia relativa acumulada empírica para determinar:

$$\ln(v) \text{ graficados vs. } \ln(-\ln(1 - F(v))) \dots \dots \dots (4)$$

En consecuencia y después de resolver la ecuación 3 y expresándola en escala logarítmica se obtiene lo siguiente:

$$\ln(\ln[1 - W_{(V)}]) = \alpha \ln(V) - \alpha \ln(\beta) \dots \dots \dots (5)$$

De esta manera los parámetros α y β se obtienen a partir de la gráfica en la que $\ln(V)$ versus $\ln(-\ln[1-W(V)])$, y luego se aplican los ajustes en una línea recta que presenta pendiente α y donde su ordenada se ubica en el origen de $-\alpha \ln(\beta)$. Al mismo tiempo los parámetros que se obtienen determinan el comportamiento en donde la distribución de frecuencia de Weibull viene dándose por la ecuación número dos. Todo este procedimiento se aplica a cada uno de los años estudiados y por consiguiente en cada una de las alturas en las que se extrapolarán los datos de velocidad de viento.

Cabe mencionar que las ecuaciones usadas anteriormente son modelos estadísticas predeterminados y son los que son más utilizados en los estudios eólicos y el éxito se origina en sus parámetros los cuales pueden proporcionar una enorme flexibilidad de ajuste en las diferentes áreas estadísticas de la distribución de frecuencia evaluada en los datos de velocidad de viento analizados (Shata & Hamitsch, 2006).

3.4.4. Simulación de la generación de energía

Se simulo los datos de generación anual de energía considerando distintos aerogeneradores que son de potencias nominales variadas y al mismo tiempo a diferentes alturas, para esto se usó el método estándar, el cual consiste en aplicar lo expuesto en la siguiente ecuación usada por Chang (2011).

$$E = N_h \int_{u_m}^{u_M} g(u) \cdot F(u) du \dots (6)$$

Donde:

- N_h : Representa el número de datos.
- E : Llega ser la energía producida durante un año y expresada en MWh por año.
- $F(u)$: Muestra la función de probabilidad que expresa el potencial eólico.
- $G(u)$: Es la curva de la potencia dada por el generador, y por el fabricante, la cual representa la potencia generada en las diferentes velocidades analizadas por el viento.
- $U_{m,}$: Es el valor de la velocidad de conexión, donde se evidencia la mínima velocidad del viento que es requerida para que las palas roten y logren generar la potencia utilizable.
- U_M : Es el valor de la velocidad de corte, es decir es la velocidad en la que los aerogeneradores ya no producen energía y finalmente se apagan, esto es a fin de evitar que se ocasionen daños a la turbina eólica, de una manera normal esto se da a los 25 m/s.

Este es el cálculo de la energía en donde inicialmente en la ecuación (6) se basa para generar la curva de potencia en un aerogenerador, de manera general se va expresada para una densidad de aire de 1.225 kg/m³ que es la densidad en condiciones normales de 288.16 K de la temperatura del aire y con una presión de 101.325 Pa. Finalmente la producción verdadera de energía tiene una relación lineal con la densidad del aire, esto llega a variar de acuerdo a la zona en la que se realiza el estudio, entonces se utiliza la ecuación siete, que es para el ajuste correspondiente analizado (Jafarian y Ranjbar, 2010).

$$E_R = \frac{\rho}{\rho_0} E \dots (7)$$

Donde:

- E_R : Llega ser la producción de energía real que se da en condiciones de densidad de la zona de estudio, expresadas en MWh por año.
- ρ : Es la densidad de la zona que se realiza el estudio, medidas en kg/m³.

- ρ_0 : Expresa la densidad a condiciones normales del análisis, expresadas en kg/m^3 .
- E: Representa a la energía producida durante un año en condiciones donde la densidad es normal, expresada en MWh por año.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El consumo per cápita en el departamento de Cusco es de 3808.12 kWh/hab durante el año del 2016, y se estima que la cantidad de energía consumida por el distrito de San Jerónimo hacienda a aproximadamente 5300 MWh en el periodo de estudio proyectado (INEI, 2018)

4.1. Diagnosticar las velocidades del viento

Para determinar las velocidades del viento primero tenemos que calcular la velocidad del viento a la altitud de 3219 msnm., y utilizó como referencia el Atlas Eólico del Perú (Halanocca Quispe, & Huamán Valencia, 2015), elaborado por el Ministerio de Energía y Minas del Perú, para determinar la densidad del aire a los 3219 msnm, que es el punto de altitud en la que se ubica la estación meteorológica de la Granja Kayra– 120607 del SENAMHI.

Tabla 6

Interpolación de la densidad considerando la altitud en condiciones normales

Altitud (m)	Densidad (Kg/m ³)
3000	0.909
3219	0.889
4000	0.819

Fuente: MINEM (2021)

La densidad del aire a 3219 m de altura es de 0.889 kg/m³, que se obtiene por interpolación de la tabla 6.

La tabla 7 muestra la velocidad del viento a 10 m de altura del nivel del suelo de la Estación Meteorológica de Granja Kayra – 120607 del SENAMHI, de los periodos 2009 al 2018.

Tabla 7**Velocidades de viento a 10 m de altura (2009 – 2018)**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
2009	3.0	4.8	5.2	4.7	4.3	5.3	7.6	5.9	6.5	9.8	6.9	7.0
2010	6.5	6.4	5.0	4.3	4.2	5.6	5.7	4.0	10.0	7.8	8.5	6.0
2011	5.0	3.2	4.4	3.7	7.6	4.9	5.7	6.0	5.3	4.2	4.9	4.1
2012	4.9	4.9	6.8	5.4	5.2	5.2	5.6	4.3	4.0	3.8	5.0	5.7
2013	4.6	3.6	5.8	4.3	4.0	3.7	4.2	5.4	5.3	6.9	4.8	5.1
2014	5.3	5.5	6.2	5.7	6.1	6.5	5.7	7.4	7.1	9.8	7.6	7.5
2015	6.3	6.0	6.0	5.7	4.2	5.6	6.3	6.3	10.0	7.8	8.5	7.2
2016	5.0	6.4	7.1	5.9	5.7	4.9	5.7	6.0	7.3	5.8	5.8	6.1
2017	8.1	6.0	3.9	3.3	4.6	4.6	4.7	5.1	5.6	5.0	5.3	4.5
2018	4.6	3.2	3.5	3.9	4.2	3.7	4.2	5.4	5.5	4.8	6.3	4.5
Promedio	5.3	5.0	5.4	4.7	5.0	5.0	5.5	5.6	6.6	6.6	6.4	5.8
Máximos	8.1	6.4	7.1	5.9	7.6	6.5	7.6	7.4	10.0	9.8	8.5	7.5
Mínimos	3.0	3.2	3.5	3.3	4.0	3.7	4.2	4.0	4.0	3.8	4.8	4.1

Fuente: Estación meteorológica SENAMHI

La figura 6 muestra el Comportamiento promedio de velocidad del viento Periodo 2009 -2018.

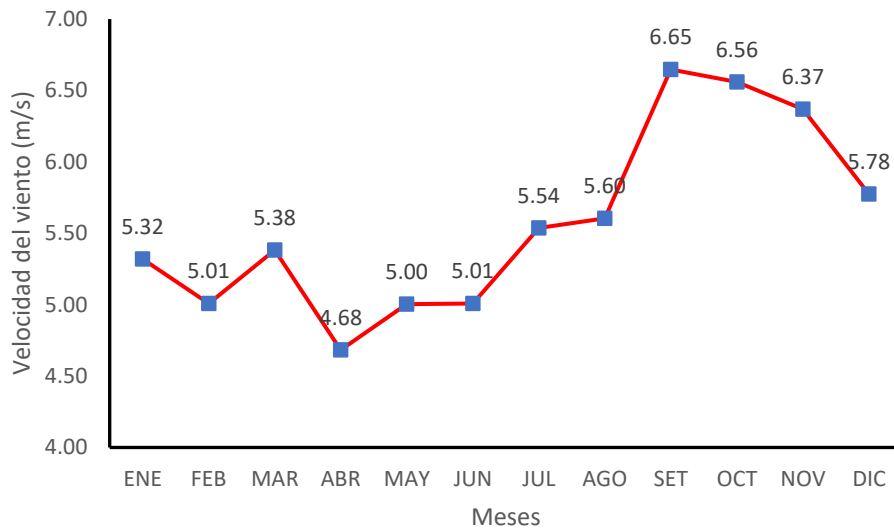


Figura 6. Comportamiento promedio de velocidad del viento Periodo 2009 -2018

Como muestra la figura 6 los meses que hay más velocidad del viento es el mes de septiembre, seguido de octubre, noviembre y diciembre; y los meses que hay menor velocidad del viento son los meses de abril, mayo y junio.

La figura 7 muestra el Comportamiento de la media de velocidad del viento de los años 2009 al 2018.

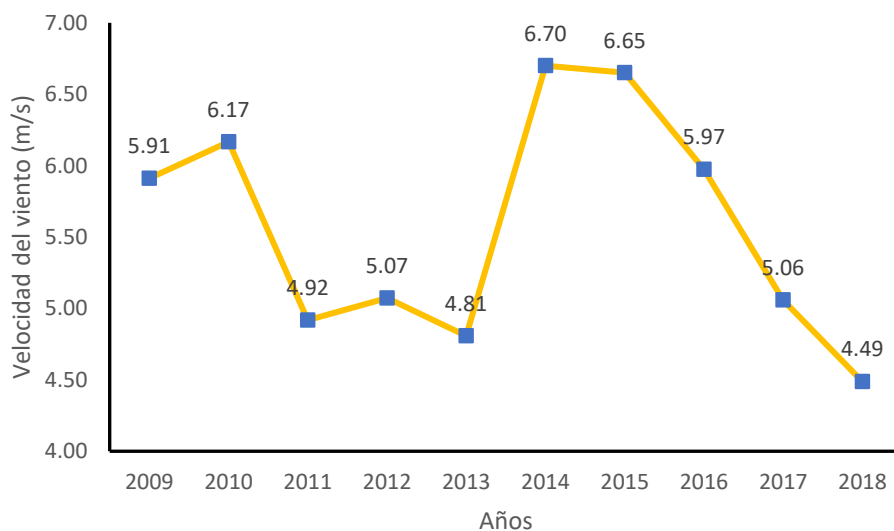


Figura 7. Comportamiento de la media velocidad del viento del 2009 al 2018.

La figura 7 muestra que los años 2014 y 2015 tuvieron las medias de velocidad del viento más altas; y que el año 2018 y 2013 presentaron mes medias de velocidad del viento más bajas. De la figura 6 y 7 que los valores varían entre 3 a 7 m/s permitiendo generar movimiento en las palas de los aerogeneradores.

4.2. Determinar la dirección predominante del viento

Se empleó el software Rosa de viento – WRPLOT View Freeware 8.0.2, para determinar a dirección del viento predominante, con los datos de la Estación Meteorológica de Granja Kayra – 120607 del SENAMHI, del Distrito de San Jerónimo Cuzco. La figura 8 muestra la Rosa de vientos del distrito de San Jerónimo – Cusco 2009-2018.

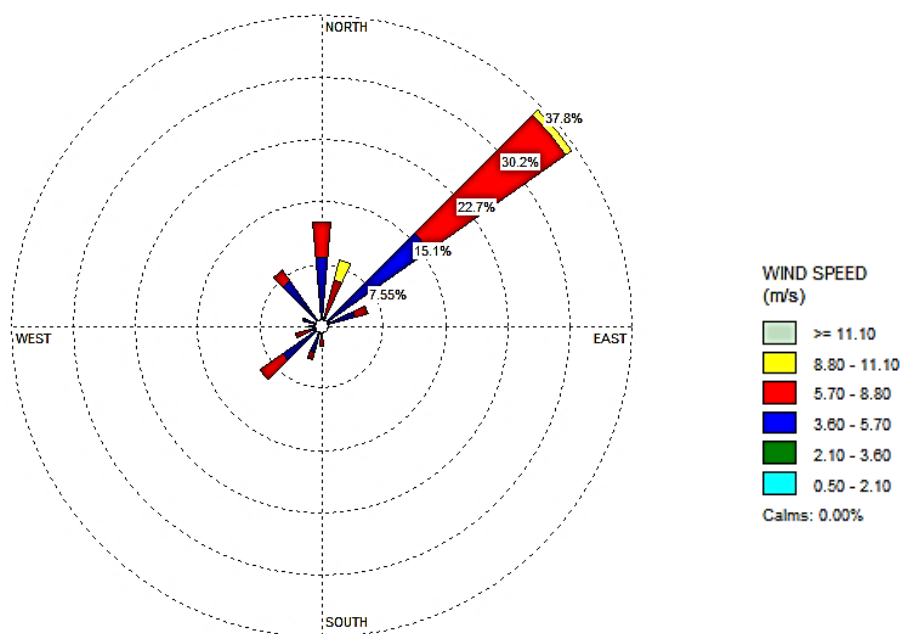


Figura 8. Rosa de vientos del distrito de San Jerónimo – Cusco, 2009-2018.

De la figura 8 muestra que el viento predominante esta entre 5.7 a 8.8 m/s en dirección noreste. La dirección de viento permite orientar los aerogeneradores hacia un mejor aprovechamiento del recurso eólico en el distrito de San Jerónimo; la dirección del viento en el distrito de San Jerónimo puede sufrir variaciones esto se debe a efectos locales como son la topografía y el rozamiento; pero y sin embargo, se caracteriza los vientos por su persistencia y regularidad, el resultado que nos muestra el software es con predominancia de noreste (NE).

4.3. Determinar la velocidad del viento en diferentes alturas.

Con la velocidad del viento a 10 m sobre el nivel del suelo de los datos obtenidos de la estación meteorológica de la Granja Kayra– 120607 del SENAMHI; se extrapola la velocidad de viento 30, 60 y 90 m sobre el nivel del suelo, empleando la ecuación 1, el valor de rugosidad (Z_0) empleado fue de 0.055 para terrenos agrícolas y barreras vivas de 8 m de altura considerando distancias de 1250 m que se asemeja a las condiciones del distrito de San Jerónimo.

La figura 9 muestra la se evidencia la variación mensual de la velocidad del viento durante los años de 2009 a 2018 a diferentes alturas.

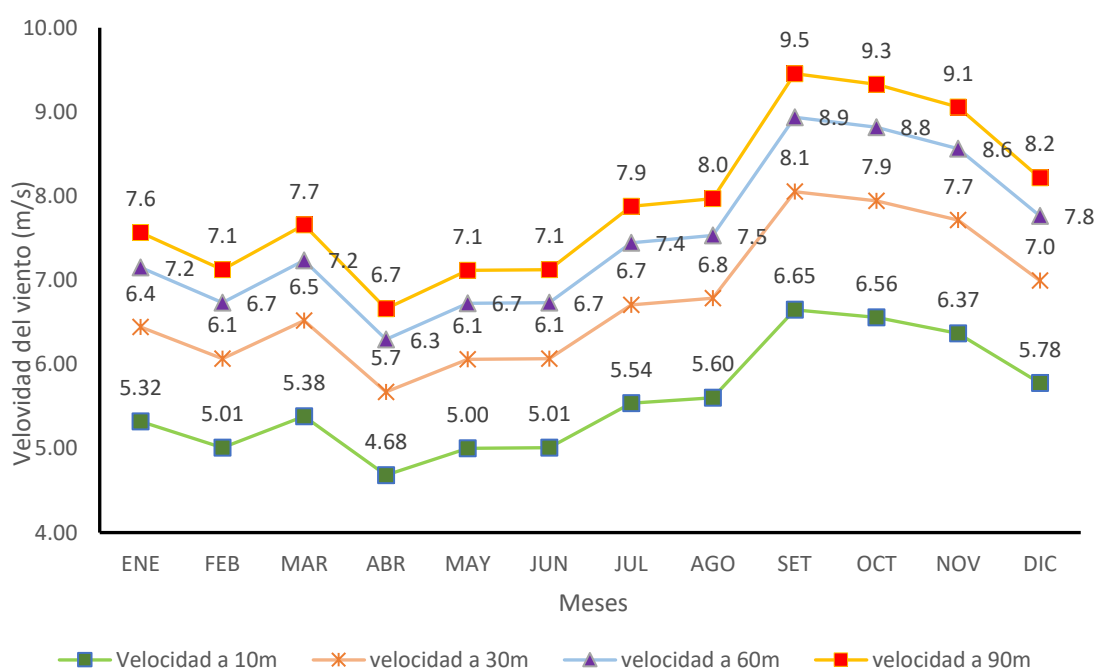


Figura 9. Extrapolación de velocidades de viento a 30, 60 y 90 m al nivel del suelo (2009 – 2018).

De la figura 9 se demuestra a medida que aumenta la altura se incrementa la velocidad del viento; se entiende que a medida que aumenta la altura la velocidad de hace constante o permanente, se puede deducir que la diferencia entre la velocidad de una altura y a la otra se hace menos perceptible, esto es debido al rozamiento superficial, el cual evaluando tiene menor influencia sobre el viento a la medida que la altura se incrementa (Tafur & Pizza, 2013).

Por otra parte, se puede apreciar que a partir del mes de agosto en adelante del 2015 al 2018 se ven escalas más altas a una velocidad a 90, 60 y 30 metros, esto se debe a la ubicación del lugar de estudios, ocurre lo contrario en el distrito de Chiguata en el

departamento de Arequipa en la investigación de Luque, donde las velocidades de viento disminuyen considerablemente a partir de los meses de septiembre a diciembre.

Por otro lado, también se puede observar que a través de los años de estudio las velocidades de viento en el distrito, poseen una distribución uniforme empezando con velocidades bajas que suben y van cada mes en aumento.

4.4. Simular la producción de energía eléctrica

4.4.1. Determinar los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica

Se determinó los parámetros de Weibull para la generación de energía eólica, “ β ” “y α ” el primero permitirá una aproximación a la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio del distrito de San Jerónimo y el segundo indica el grado de dispersión mostrado en los registros; así determinamos la frecuencia con la que se evidencia la velocidad determinada del viento en la zona.

La figura 10 y 11 muestran el ajuste realizado para evaluar los parámetros de la conocida ecuación de Weibull (a una altura de 90 m), correspondientes al periodo de 2009 al 2018.

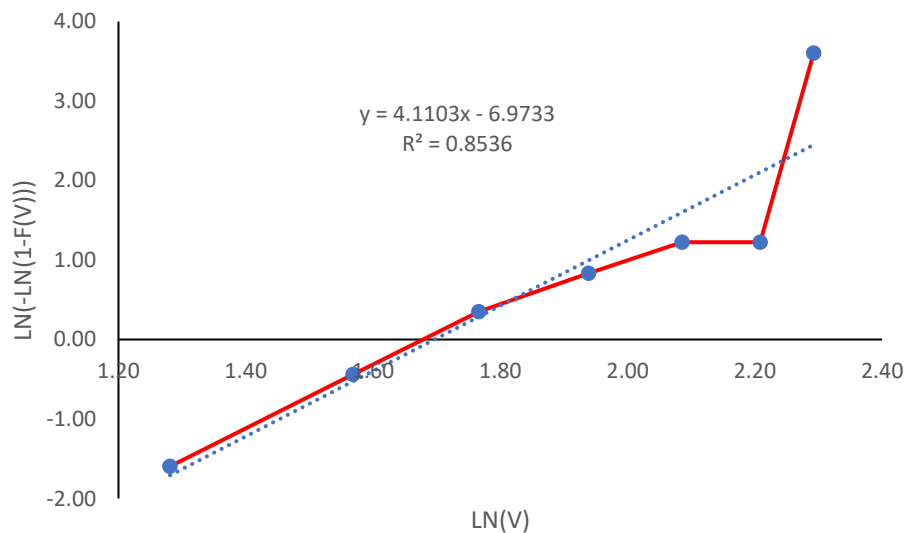


Figura 10. $\ln(V)$ Vs $\ln(-\ln(1-F(V)))$ 2009 al 2018.

Según Toure (2005) se puede evidenciar que en la “distribución Weibull donde se permite calcular la probabilidad puede ser que existan velocidades de viento superiores o menores a una velocidad promedio determinada”.

Estas graficas prestadas tiene una función lineal, nos servirá para determinar el alfa y beta para nuestra distribución Weibull.

En consecuencia y considerando los parámetros de la distribución de Weibull se logran obtener las distribuciones de frecuencia representadas en las siguientes gráficas a continuación.

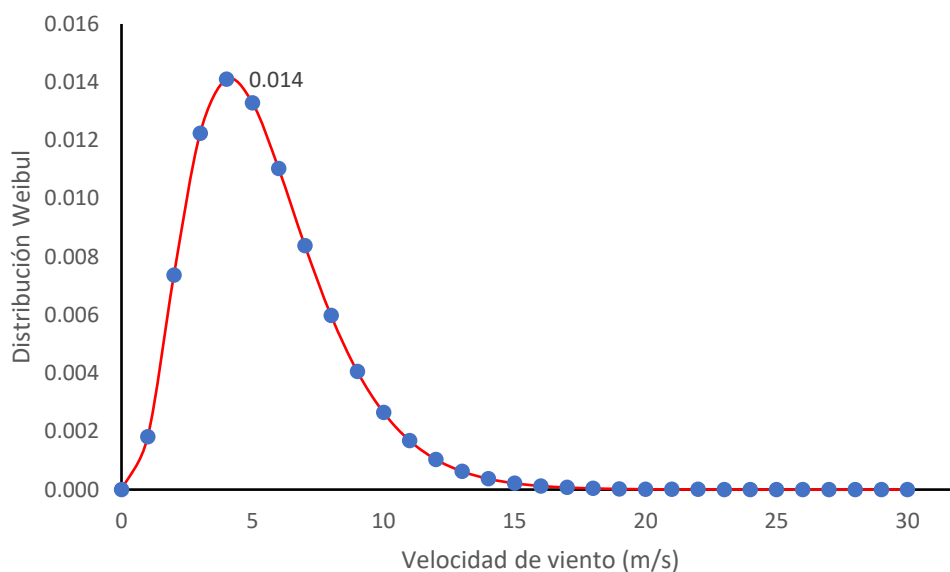


Figura 11. Distribución de la frecuencia Weibul 2009 al 2018.

A partir de las gráficas anteriores del 10 y 11 se puede concluir que para los años de estudio del 2009 al 2018, las distribuciones de la frecuencia de Weibull presentan iguales tendencias y los picos pronunciados en las velocidades de 3 y 7 m/s son similares, y mientras que es muy poco probable que existan velocidades superiores a 10 m/s o menores a 2 m/s en la zona de estudio.

Deducimos que esto se debe a la ubicación geográfica del lugar de estudio realizado donde se presentan tendencias poco favorables para velocidades mayores al promedio obtenido.

Del mismo modo se tiene que los picos tienen valores de frecuencia están por encima del 25% tienen una importante característica que se logra apreciar en los gráficos expuestos y es que no existe probabilidad para una velocidad de viento de cero., es decir no existe ausencia de viento. Todo esto se debe a la forma matemática en que se presenta la función de distribución de Weibull la cual asigna una probabilidad de cero cuando no existe la ocurrencia del fenómeno, es decir del viento (Alvarez, Martinez, & Alvarado, 2013).

Tabla 8

Consideraciones de los parámetros de la distribución de Weibull para velocidades de viento que son a 90 m de altura en San Jerónimo

Parámetros	10 años (2009 -2018)
α	3.16
β	5.01

En la tabla 8 se logran evidenciar los valores de los parámetros presentes de la distribución de Weibull para los años seleccionados en estudio, se puede estimar que el para parámetro para la escala β al ser mayor a la 1 m/s logra aumentar notablemente la probabilidad de obtener velocidades mayores, del mismo modo, el parámetro de forma α llega a ser diferente de uno, sin embargo mayor a la unidad no logra brindar la forma de la distribución Weibull con picos en velocidades óptimas para los aerogeneradores de la zona en estudio.

4.4.2. Simulación de la producción de energía eléctrica.

Se seleccionaron para esta simulación de cinco de los aerogeneradores que son los más comerciales en el mercado mundial y que cuentan con potencial nominales que van desde los 50 kW hasta los 3000 kW, lo que se puede ver en las siguientes marcas de fabricantes: Endurance, ACSA, Enercon, Bonus y Vestas, entre otros y las cuales han sido utilizadas en muchos parques eólicos alrededor del mundo, y se caracterizan por tener el tipo tripala y de eje horizontal.

En la ilustración siguiente se muestran las curvas de potencia que tienen los aerogeneradores seleccionados anteriormente y al mismo tiempo otras especificaciones se consignan en la tabla 11.

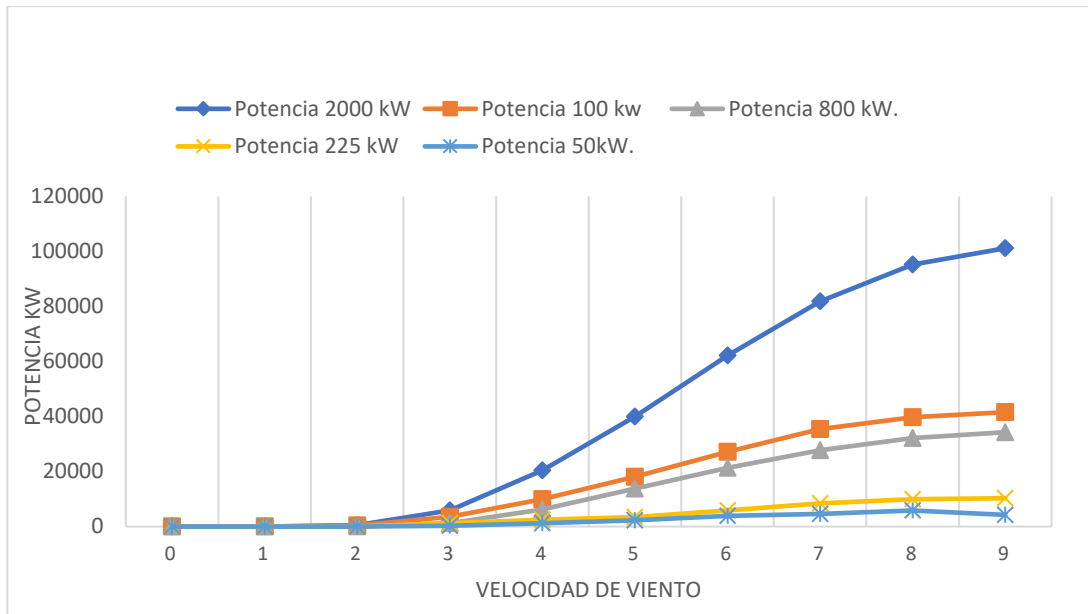


Figura 12. Potencia de aerogeneradores seleccionados. Fuente: Danish Wind Industry Association

Se calculó al mismo tiempo la energía eléctrica anual que se podría ser generada en el distrito de San Jerónimo, y se determinó que para cada generador considerando a una altura de 90 m, que es la altura a la cual que potencialmente se observa que se podría generar más energía. Se encontró que los cálculos que se realizaron por medio de la ecuación (6), y se logró deducir que la energía producida (E), es correspondiente al área bajo la curva (entre los límites U_M y U_m) y que se puede obtener al graficar la velocidad del viento $[u]$ vs. $[Nk \cdot g(u) \cdot F(u)]$. Al mismo tiempo se analizó a detalle la ecuación (7) logrando determinar la producción real de energía en la zona del estudio.

Como se evidencia en la tabla 9 donde se muestra el cálculo de la energía eléctrica, para cada modelo de aerogenerador y que para una velocidad de viento a 90 metros de altura sobre el nivel del suelo tomados en el distrito de San Jerónimo.

Tabla 9

Cálculo de la energía eléctrica en (KWh/año) y producida por aerogeneradores a 90 m de altura, para velocidades de viento del distrito de San Jerónimo

Velocidad del viento (m/s)	Endurance E-3120 (50 kW)	ACSA-27 225 (kW)	Enercom E-48 800 (kW)	Bonus 1000 (kW)	Vestas 2000 (kW)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2	0.00	0.00	0.00	343.48	515.22
3	234.93	1174.63	1174.63	3523.89	5873.15
4	1245.20	2490.39	6225.98	9961.57	20421.22
5	2295.80	3443.70	13774.79	18136.81	39946.90
6	3874.84	5812.27	21311.64	27123.90	62191.24
7	4614.80	8460.47	27688.81	35380.15	81835.82
8	5840.17	9928.29	32120.95	39713.18	95194.83
9	4285.93	10286.23	34287.44	41573.52	101147.95
10	3061.87	9185.60	33986.73	40110.46	96755.00
11	2140.32	7705.17	28723.15	35914.64	77479.73
12	1469.51	6024.97	22042.58	27803.05	58192.42
13	993.83	4273.47	15702.51	19876.59	40747.01
14	663.55	2985.97	10749.51	13270.99	27205.54
15	438.15	1971.69	7098.09	8763.07	17964.30
16	286.54	1289.45	4642.02	5730.89	11748.32
17	185.81	836.16	3010.19	3716.28	7618.37
18	119.59	538.17	1937.41	2391.86	4903.32
19	76.46	344.06	1238.63	1529.18	3134.81
20	46.65	218.65	787.15	971.79	1992.17
21	27.64	138.20	497.53	614.23	1259.18
22	13.91	86.92	312.93	386.33	791.98
23	7.98	54.43	195.94	241.90	495.90
24	4.68	33.94	122.19	150.85	309.24
25	2.62	21.09	75.91	93.72	192.12

La figura 13 muestra que el aerogenerador del tipo Vestas de 2000 KW, obtiene mejores rendimientos de producción de energía eólica a las simulación de 90 m sobre el nivel del suelo en el distrito de San Jerónimo – Cuzco. El pico máximo se da a los 9 m/s para los aerogeneradores Vestas, Bonus, Enercom E-48, ACSA-27 y para el aerogenerador Endurance E-3120 se da a los 8 m/s.

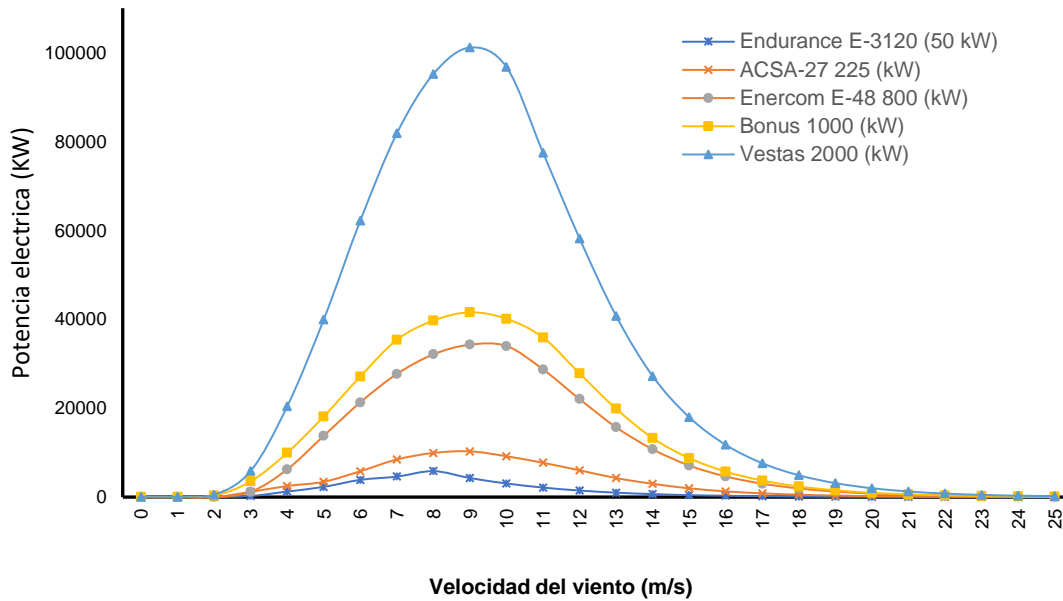


Figura 13. Potencia eléctrica versus velocidad de viento.

Por otro lado, también se logra observar que para los picos de las curvas se indican que a velocidades entre 6 y 10 m/s es donde efectivamente se produce la mayor cantidad de energía eléctrica, por lo contrario a partir de 11 m/s hacia adelante la producción de energía disminuye significativamente, lo que hace que a primera impresión parece no tener sentido; pero si consideramos que a cuando a mayor velocidad de viento mayor potencia eólica del aerogenerador se produce, por lo contrario, también se debe tener en cuenta la distribución de frecuencia de la velocidad medida, todo lo cual indica una baja probabilidad de que se presenten estas velocidades en la zona de estudio. (Tafur & Pizza, 2013)

Por lo tanto los valores de producción de energía eléctrica establecidos para un año en KWh/año se convertirán a MWh por año, y además después de realizar el ajuste de los resultados utilizando la ecuación 7, lo que se puede apreciar detalladamente en la tabla siguiente.

En la tabla 10 muestra la simulación de producción de energía eléctrica por año (MWh/año), el aerogenerador Vestas 2000 de potencia nominal de 2000 KW, que presenta mejores resultados de simulación a comparación de los demás aerogeneradores. El aerogenerador Vestas al poseer una velocidad constante de conexión de 3 m/s, se adecúa a la distribución Weibull aplicada para las velocidades de viento encontradas a 90 m de altura del nivel del suelo en el distrito de San Jerónimo, cubriendo casi el 47 % de la demanda energética de la población del área de estudio.

Tabla 10**Simulación de producción de energía eléctrica por año (MWh/año)**

Cálculo	Tipo de aerogeneradores				
	Endurance E-3120 (50 kW)	ACSA-27 225 (kW)	Enercom (E-48) 800 (kW)	Bonus 1000 (kW)	Vestas 2000 (kW)
Teórico	319.31	773.04	2677.07	3373.22	7579.16
Real	231.99	561.64	1944.97	2450.75	5506.49

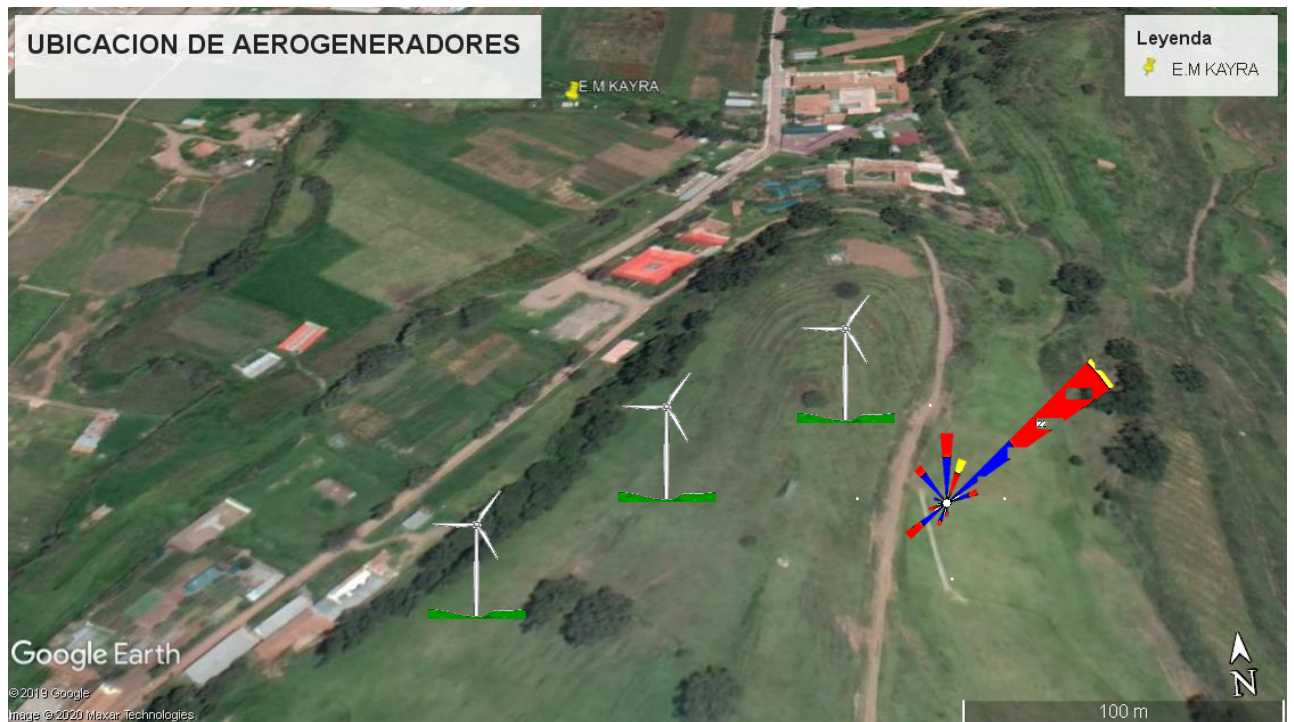
Al mismo tiempo, el costo de instalación como del mantenimiento ocasionado por los aerogeneradores es otro factor importante a considerar al momento de instalar un parque eólico, considerando que cuanto mayor sea la inversión mayor será el tiempo de retorno de la inversión inicial realizados.

4.4.3. Propuesta de tecnología eólica

Se plantea una probable ubicación del parque eólico considerando 1) vías de acceso, 2) distancia hacia zonas pobladas más cercanas y 3) cercanía a la estación meteorológica de la cual se obtuvieron los datos de velocidad y dirección del viento, con 3 aerogeneradores la tabla 11 presenta las posibles ubicaciones.

Tabla 11**Coordenadas UTM para las posibles ubicaciones de aerogeneradores en el distrito de San Jerónimo-Cusco**

Aerogenerador	Coordenadas UTM (ZONA K -19)		
	Coordenada este (m)	Coordenada Norte (m)	Altitud msnm
1	188936	8499236	3221
2	188914	8499197	3221
3	188899	8499177	3221



Para el distanciamiento entre aerogenerador se consideró el artículo 29 de la Norma Española Decreto 6/2015 “Reglamento que regula la instalación y explotación de los parques eólicos”, donde declara que la distancia mínima entre dos aerogeneradores de una misma línea no será inferior a dos (2) diámetros de rotor y la distancia que debe existir entre dos líneas de un mismo parque ha de ser como mínimo de cinco (5) diámetros de rotor.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La velocidad promedio del viento a una altura de 90 m sobre el nivel del suelo en el distrito de San Jerónimo - Cusco, es de 6.4 m/s que indica que en el área de estudio es apta para la colocación de aerogeneradores para aprovechamiento de la energía cinética del viento para conversión en energía eléctrica.

- De acuerdo a la distribución propuesta por Weibull existe altas probabilidades de obtener velocidades de 3 y 7 m/s de viento adecuadas para la instalación de un parque eólico en la zona de estudio, y con dirección predominante noreste, lo que permitirá ubicar los aerogeneradores para su máximo aprovechamiento del potencial eólico en la generación de energía eléctrica

- La generación de energía eléctrica producida en MWh/año que es simulada en el distrito de San Jerónimo - Cusco, cubre con el 46.20 % del consumo proyectado de todo el distrito, esto reduce los costos en la generación de energía eléctrica y evitando la generación de gases de efecto invernadero a la atmósfera, beneficiando a la comunidad.

- El aerogenerador propuesto son los de tipo Vestas de 2000KW, es el que mayor rendimiento presenta en la zona de estudio generando 5506.49 MWh/año a 90 m de altura considerada.

- El aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el Distrito de San Jerónimo es técnica, y ambientalmente viable.

5.2. Recomendaciones

- Es necesario que el uso de estaciones meteorológicas automáticas para la mejor adquisición de datos en la evaluación de modelos matemáticos para continuar con la búsqueda de nuevas fuentes de energía limpia.

- Ofrecer mayores beneficios a los consumidores de energía eléctrica de fuentes renovables, para que el sector privado apueste por la energía generada por la región donde desarrolla sus actividades.

- Promover la investigación en la evaluación y aprovechamiento de las energías renovables en el Perú, para así reducir el cambio climático y mitigar la contaminación.

Referencias

- Abernethy, R. B. (2010). Fundamentos de Análisis de Weibull. FL, USA.
- Adrián, L. G. (2015). Análisis de insumo-producto de energía y observaciones sobre el desarrollo sustentable, caso mexicano 1970-2010. Ingeniería, investigación y tecnología, 16(2), 239-251.
- Alvarez, W., Martínez, L., y Alvarado, A. (2013). Aplicación de la ecuación de Weibull para determinar el potencial eólico en Tunja-Colombia. Tunja.
- Andrades Rodríguez, M., y Múñez León, C. (2012). Fundamentos de Climatología. España: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Baldovino, E., Ramos, G., y Calderón, V. (2007). Propuesta estratégica para el desarrollo de la energía eólica en el Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica.
- Barandiarán Gómez, A. M. (2018). Plan de negocios de empresa comercializadora de sistemas integrados de generación de energía fotovoltaica para viviendas.
- Bolaño, V. C. (2010). Modelo de Optimización Económica en la explotación del acuífero de Quemú-Quemú, La Pampa.
- Calderón Bautista, M. Á. (2018). Estudio de viabilidad para la repotenciación de un parque eólico.
- Cañellas Jalón, M. (2011). Estudio de la energía eólica marina y sus posibilidades dentro del contexto español.
- Chang, T. P. (2011). Estimation of wind energy potential using different probability density function . En Applied energy (págs. 1848-1856).
- Dahmouni, A., Ben Salah, M., Askiri, F., Kerkeni, C., y Ben Nasrallah, S. (2011). Assessment of wind energy potential and optimal electricity generation in Borj Cedria, Tunisia. Renewable and sustainable Energy, 815-820.

- Danish Wind Industry Association. (4 de mayo de 2003). Danish Wind Industr Association. Obtenido de Danish Wind Industrie Association: <http://www.windpower.org/es/tour/wres/index.htm>
- Gamio Aita, P. (2010). Matriz energética en el Perú y energías renovables. Lima: Sinco editores.
- Gómez Muñoz, M. A. (2018). Diseño e implementación de viviendas rurales con energías verdes fotovoltaica y eólicas.
- Gualteri, G., y Secci, S. (2012). Methods to extrapolate wind resource to the turbinehub height based on power law: A1-h wind speed vs Weibull distribution extrapolation comparison. En *Renewable Energy* (págs. 189-200).
- Halanocca Quispe, Y., & Huamán Valencia, R. S. (2015). Impacto ambiental generado por el sector ladrillero en el distrito de San Jerónimo-Cusco.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., and Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta edic). McGraw-Hill Education.
- Jafarian, M., y Ranjbar, A. (2010). Fuzzy modeling techniques artificial neural networks to estimate annual energy output of wind turbine. En *Renewable Energy* (págs. 2009-2014).
- Jordán Arias, J. (2009). Estudio de la utilización de energía eólica para la generación de electricidad en un asentamiento humano de San Juan de Marcona.
- Llorente Martínez, F., y Baylina, R. (18 de 02 de 2006). RUMTOR. Obtenido de <http://www.rumtor.com/anemometro.html>
- Luque Salas, J. P. (2018). Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el Distrito de Chiguata–Arequipa, 2018.
- Mantilla Barbosa, H. A. (2019). Estrategia para el incremento de energía eólica en el Grupo ENEL Emgesa (Doctoral dissertation, Maestría en Administración-MBA).
- MINAM. (2005). Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Diario Oficial El Peruano, 1, 13 octubre. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-marco-de-la-gestion-y-decreto-legislativo-n-1280-1468461-1/>
- Ministerio del Ambiente. (2005). Ley N° 28611, Ley General del Ambiente. Lima: Ministerio del Ambiente.

- Ministerio del Ambiente. (2006). Ley N°28832, Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica. Lima: Diario el Peruano.
- Ohunakin, O., y Akinnawonu, O. (2012). Assessment of wind energy potential and the economics of wind power generation in Jos, Plateau State, Nigeria. *Energy for sustainable Development*, 78-83.
- Ould, B., Ndongu, M., Kebea, C., Samboua, V., y Ndiayea, P. (2013). Feasibility study of wind energy potential for electricity generation in the northwestern coast of Senegal. *Energy Procedia*, 1119-1129.
- Porres, U. D. (2016). *Energías Renovables: El Desarrollo de la Energía Eólica en el Perú*. Lima.
- Rodríguez Jiménez, R. M., Benito Capa, Á., y Portela Lozano, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. España: FECYT (Fundación Española para la Ciencia y Tecnología).
- Ruiz, M. (08 de 03 de 2008). Universidad de Granada. Obtenido de Universidad de Granada: http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Resumen_T3.pdf
- Sailantrip. (28 de Diciembre de 2014). Obtenido de Sailantrip: <http://sailandtrip.com/escala-beaufort/>
- Salas, J. L. (2018). Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de Chiguata - Arequipa. Arequipa, Perú.
- Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falccón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., Subiela Ortin, V. (2008). *Energías renovables*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias S.A.
- Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., . . . Stechow, C. (2011). Fuentes y tecnología de la energía renovable. En *Fuentes de Energía Renovable y Mitigación del Cambio Climático* (págs. 8-9). Instituto de Investigación sobre el Impacto del Clima Potsdam (PIK).
- Shata, & Hamitsch. (2006). Evaluation of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands. En *Renewable and Sustainable* (págs. 355-933).
- Shata, A. (2012). Potential wind power generation in south Egypt . *Renewable and sustainable Energy*, 1528-1536.

- Tafur, A., y Pizza, E. (2013). Modelación y evaluación del potencial eólico como fuente de generación de energía eléctrica en la zona costera de Cartagena. Cartagena.
- Toure, S. (2005). Investigations on the Eigen-coordinates method for the 2-parameter Weibull distribution of wind. En S. Toure, Renewable Energy (págs. 511-521).
- Universidad de San Martín de Porres. (2016). Energías Renovables: El Desarrollo de la Energía Eólica en el Perú. Lima: Veritas Liberabit Vos.
- Vilca Apaza, R. A. (2011). Constitución Política del Perú del 1993. Lima: ADRUS.
- Vílchez Navarro, J. R. (2019). Estudio técnico y económico, de la utilización de energía eólica y solar, para generar energía eléctrica en el caserío La Lima distrito Santo Tomas–Cutervo–Cajamarca.
- White, E. G. (1979). Cada día con Dios. Casa Editora Sudamericana.
- Zanabria Pacheco, P. (2012). Estudio de las principales variables meteorológicas y su implicancia en el cambio climático de la región Cusco.

ANEXOS

Anexo 1 Cálculos de potencias de energía eléctrica

Vel. Viento	Aerogenerador Vestas 2000 kW			Aerogenerador Bonus 1000kW			Aerogenerador Enercon 800kW			Aerogenerador ACSA 225 kW			Aerogenerador Endurance 50KW		
	Potencia	Frecuencia	Energía Producida	Potencia	Frecuencia	Energía Producida	Potencia	Frecuencia	Energía Producida	Potencia	Frecuencia	Energía Producida	Potencia	Frecuencia	Energía Producida
	m/s	KW	a 90 m	kWh/año	KW	a 90 m	kWh/año	KW	a 90 m	kWh/año	KW	a 90 m	kWh/año	KW	a 90 m
0	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0	0.0000	0
1	0	0.0077	0	0	0.0077	0	0	0.0077	0	0	0.0077	0	0	0.0077	0
2	3	0.0196	515	2	0.0196	343	0	0.0196	0	0	0.0196	0	0	0.0196	0
3	25	0.0268	5873	15	0.0268	3524	5	0.0268	1175	5	0.0268	1175	1	0.0268	235
4	82	0.0284	20421	40	0.0284	9962	25	0.0284	6226	10	0.0284	2490	5	0.0284	1245
5	174	0.0262	39947	79	0.0262	18137	60	0.0262	13775	15	0.0262	3444	10	0.0262	2296
6	321	0.0221	62191	140	0.0221	27124	110	0.0221	21312	30	0.0221	5812	20	0.0221	3875
7	532	0.0176	81836	230	0.0176	35380	180	0.0176	27689	55	0.0176	8460	30	0.0176	4615
8	815	0.0133	95195	340	0.0133	39713	275	0.0133	32121	85	0.0133	9928	50	0.0133	5840
9	1180	0.0098	101148	485	0.0098	41574	400	0.0098	34287	120	0.0098	10286	50	0.0098	4286
10	1580	0.0070	96755	655	0.0070	40110	555	0.0070	33987	150	0.0070	9186	50	0.0070	3062
11	1810	0.0049	77480	839	0.0049	35915	671	0.0049	28723	180	0.0049	7705	50	0.0049	2140
12	1980	0.0034	58192	946	0.0034	27803	750	0.0034	22043	205	0.0034	6025	50	0.0034	1470
13	2050	0.0023	40747	1000	0.0023	19877	790	0.0023	15703	215	0.0023	4273	50	0.0023	994
14	2050	0.0015	27206	1000	0.0015	13271	810	0.0015	10750	225	0.0015	2986	50	0.0015	664
15	2050	0.0010	17964	1000	0.0010	8763	810	0.0010	7098	225	0.0010	1972	50	0.0010	438
16	2050	0.0007	11748	1000	0.0007	5731	810	0.0007	4642	225	0.0007	1289	50	0.0007	287
17	2050	0.0004	7618	1000	0.0004	3716	810	0.0004	3010	225	0.0004	836	50	0.0004	186
18	2050	0.0003	4903	1000	0.0003	2392	810	0.0003	1937	225	0.0003	538	50	0.0003	120
19	2050	0.0002	3135	1000	0.0002	1529	810	0.0002	1239	225	0.0002	344	50	0.0002	76
20	2050	0.0001	1992	1000	0.0001	972	810	0.0001	787	225	0.0001	219	48	0.0001	47
21	2050	0.0001	1259	1000	0.0001	614	810	0.0001	498	225	0.0001	138	45	0.0001	28
22	2050	0.0000	792	1000	0.0000	386	810	0.0000	313	225	0.0000	87	36	0.0000	14
23	2050	0.0000	496	1000	0.0000	242	810	0.0000	196	225	0.0000	54	33	0.0000	8
24	2050	0.0000	309	1000	0.0000	151	810	0.0000	122	225	0.0000	34	31	0.0000	5
25	2050	0.0000	192	1000	0.0000	94	810	0.0000	76	225	0.0000	21	28	0.0000	3

- Potencia del Aerogenerador [g(v)] (kW)
- Frecuencia de Weibull [F(v)] a 90 m de altura

Energía producida en el año a partir de cada valor de velocidad [8760.g(v).F(v)] (kWh/año)

Anexo 2
Data de La Estación Meteorológica “Granja Kcayra”



DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
 AÑO DE LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD

PRESUPUESTO N° : 201907120002 - SENAMHI - 2019
INFORMACION METEOROLOGICA

ELIZABETH ROCIO ACHUMA CHUNGA
 Atención: ACHUMA CHUNGA ,ELIZABETH ROCIO

ESTACIÓN	PARAMETRO	PERIODO	COSTO S/.	
			PARCIAL	SUBTOTAL
GRANJA KCAYRA Long. 71 °52' - Lat. 13 °33' Alt. 3219 m.s.n.m. Dist. SAN JERONIMO Prov. CUSCO Dpto. CUSCO	VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO	2014-2018	168.75	168.75

Monto :	S/. 168.75
IGV 18% :	30.38
Total :	S/. 199.13

El presente presupuesto tiene una validez de 30 días

FORMA DE PAGO:

Acudir a una Oficina del Banco BBVA Continental y proporcionar los siguientes datos:

- a) Nombre de Recaudo: SENAMHI
- b) Código de Recaudo: 9022
- c) Indicar que el pago se realizará en: Soles
- d) Indicar número de DNI y RUC
- e) Indicar nombre completo y/o razón social
- f) Indicar el importe a abonar

INFORMACION ADICIONAL:

- 1. Por el servicio brindado se emitirá una Factura Electrónica/Boleta de Venta/Recibo de Caja*
- 2. La información será entregada al usuario de manera impresa, se le estará comunicando cuando se encuentre lista para su recojo.
- 3. Los servicios que presta SENAMHI están afectos a detención Cta. Cte Banco Nación Nro 00000592811 (cuando el monto del presupuesto supera los S/.700.00 a mas).

*Segun el tipo de servicio solicitado.

SENAMHI NO REALIZA AUTO DETRACCIONES

Atendido por: Sr(a). MARTHA HUILLCA

25 de Julio del 2019

Sede: Urb. Marcavalle P-6 - Cusco -
 email: atencionalciudadano@senamhi.gob.pe