

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE UN MINI PARQUE EÓLICO DE 9
KW CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL SECTOR DE
VENTILLA ALTO PUNO - DEPARTAMENTO DE PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR:

RODRIGO JIMENES CUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE UN MINI PARQUE EÓLICO DE 9
KW CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL SECTOR DE
VENTILLA ALTO PUNO - DEPARTAMENTO DE PUNO”**

TESIS PRESENTADA POR:

RODRIGO JIMENES CUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACION: 12-12-18

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:

M.Sc. MATEO ALEJANDRO SALINAS MENA

PRIMER MIEMBRO:

M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

SEGUNDO MIEMBRO:

Ing. LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ

DIRECTOR / ASESOR:

Dr. NORMAN JESÚS BELTRÁN CASTAÑÓN

Área : ENERGÍAS RENOVABLES
Tema : ENERGÍA EÓLICA

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes. A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. Agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Rodrigo Jimenes Cutipa

DEDICATORIA

A mis Padres

Gracias a mis padres soy quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Teodosio Jimenez Ramos y Aida Cutipa Flores por el apoyo incondicional que me han dado en todo este tiempo, a mis hermanas Roció y Dina por darme consejos en seguir adelante en los estudios.

A mi abuelo que estuvo dándome consejos, a mi abuela que desde el cielo me guio en esta etapa de mi vida.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
ANEXOS	13
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	14
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPITULO I	17
1.1. introducción.....	17
1.2. planteamiento del problema	18
1.3. justificación del problema	18
1.4. objetivos	20
1.4.1. objetivo general.....	20
1.4.2. objetivos específicos	20
CAPITULO II.....	21
2.1. marco teórico	21
2.2. marco conceptual.....	23
2.2.1. energías renovables.....	23
2.2.2. energías no renovables.....	24
2.2.3. energía eólica	24

2.2.3.1. historia de la energía eólica.....	24
2.2.3.2. energía eólica en el Perú.....	30
2.2.3.3. el viento.....	31
2.2.3.4. características de la energía eólica	34
2.2.3.5. ventajas de la energía eólica.....	34
2.2.3.6. desventajas de la energía eólica	35
2.2.3.7. limitaciones técnicas	36
2.2.3.8. limitaciones ambientales	37
2.2.3.9. limitaciones económicas	38
2.2.3.10. usos de la energía eólica.....	38
2.2.4. ahorro de combustibles fósiles	41
2.2.5. ahorro de emisiones de gases contaminantes	42
2.2.6. uso del suelo.....	43
2.2.7. ruido	44
2.2.7.1. ruido mecánico	44
2.2.7.2. ruido aerodinámico.....	44
2.2.8. la atmósfera	45
2.2.8.1. gases que lo componen.....	45
2.2.9. velocidad del viento	45
2.2.10. variabilidad de la velocidad del viento	48
2.2.11. rugosidad.....	49
2.2.12. parques eólicos.....	51

2.2.12.1. variables a considerar para la instalación de parques eólicos	51
2.2.12.2. proceso de caracterización del viento	51
2.2.13. distribución de weibull.....	52
2.2.14. rosa de los vientos.....	52
2.2.15. recursos eólicos.....	52
2.2.16. parámetros económicos en un proyecto eólico	53
2.2.17. componentes de un sistema de generación eólico	55
2.2.18. sistemas de protección y control.....	61
2.2.19. perspectiva a nivel mundial de la energía eólica	62
2.3. hipótesis.....	64
2.3.1. hipótesis nula h_0	64
2.3.2. hipótesis alternativa h_a	64
2.4. operacionalización de variables.....	64
CAPITULO III.....	65
3.1. tipo y nivel de investigación.....	65
3.2. lugar de la investigación.....	65
3.3. población	66
3.4. muestra	67
3.5. técnicas y equipos.....	67
3.6. recurso eólico.....	68
3.6.1. emplazamiento	68
3.6.1.1. ubicación y descripción de la zona.....	68

3.6.1.2. elección del emplazamiento	68
3.6.1.3. accesos al parque	69
3.6.2. atlas eólico del Perú	69
3.6.2.1. velocidades del viento	70
3.6.3. densidad de potencia eólica	71
3.6.4. rugosidad del terreno	75
3.6.4.1. rugosidad	76
3.6.5. perfil de viento	76
3.6.6. cizallamiento del viento	77
3.7. elección de aerogenerador	77
3.7.1. tipo de aerogenerador	77
3.7.2. modelo de aerogenerador seleccionado	78
3.8. tratamiento de los datos	79
3.9. diseño estadístico para la prueba de hipótesis	80
para realizar el análisis descriptivo se hará el uso de:	80
CAPITULO IV	81
4.1. resultados obtenidos	81
4.1.1. evaluación de entrega de energía	81
4.2. aproximación de la ecuación lineal	89
4.3. cálculo del parámetro de forma (k) y el parámetro de escala (c)	91
4.4. función de densidad de probabilidad de weibull	95
4.5. cálculo de la potencia media de salida	96

4.6. cálculo de la potencia media de salida acumulada	97
4.7. cálculo de energía anual extraíble del recurso eólico	98
4.8. potencia disponible	98
4.9. análisis de factibilidad técnica	101
4.10. representación en la rosa de los vientos velocidad y dirección del viento en ventilla (alto puno)	101
4.11. georreferenciación del mapa del distrito de puno.....	103
4.12. infraestructura eléctrica	104
4.12.1. intensidad nominal	104
4.12.2. aislamiento del cable.....	104
4.12.3. elección de la sección del conductor.....	105
4.12.3.1. dimensionamiento de conductores según criterio térmico.....	106
4.12.3.2. características del cable seleccionado	109
4.12.3.3. caída de tensión	111
4.13. presupuesto para el parque eólico de 9 kw	112
4.13.1. aerogenerador de 3 kw - presupuesto aproximado	112
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES.....	115
vii. referencias.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Capas de la atmósfera.....	33
Figura 2.2: Componentes de vector velocidad.....	46
Figura 2.3: Componente de velocidad de viento	47
Figura 3.1: Vientos de la zona seleccionada.....	70
Figura 3.2: Rugosidad de la zona.....	71
Figura 3.3: Densidad de potencia eólica	72
Figura 3.4: Desviación del viento	74
Figura 3.5: Perfiles de la velocidad del viento según el emplazamiento	77
Figura 4.1: Dispersión de datos seleccionados	81
Figura 4.2: Histograma de frecuencias de velocidad Ventilla (Alto Puno)	84
Figura 4.3: Curva de frecuencia acumulada	85
Figura 4.4: Frecuencia acumulada complementaria F'	85
Figura 4.5: Curva de duración de la velocidad del viento	86
Figura 4.6: Variaciones mensuales de la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno)	88
Figura 4.7: Variaciones diarias de la velocidad de Ventilla (Alto Puno)	89
Figura 4.8: Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica Ventilla (Alto Puno) ..	94
Figura 4.9: Aproximación distribución de Weibull Ventilla (Alto Puno)	96
Figura 4.10: Rosa de los vientos en Ventilla (Alto Puno)	102
Figura 4.11: Rosa de los vientos en el sitio Ventilla (Alto Puno)	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Capas de la atmósfera	32
Tabla 2.2: Escala de velocidades de viento	48
Tabla 2.3: Rugosidad de la superficie en de velocidades de viento	50
Tabla 2.4: Operacionalización de variables	64
Tabla 3.1: Valores típicos del parámetro α para diferentes terrenos	76
Tabla 4.1: Distribución de frecuencias de la velocidad Ventilla (Alto Puno)	82
Tabla 4.2: Variaciones mensuales de la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno)..	87
Tabla 4.3: Valores de X e Y doble logarítmica en Ventilla (Alto Puno).....	89
Tabla 4.4: Valores para calcular k y C en Ventilla (Alto Puno).....	91
Tabla 4.5: Puntos para la aproximación lineal en Ventilla (Alto Puno).....	92
Tabla 4.6: Función de densidad de probabilidad de Weibull Ventilla (Alto Puno).....	95
Tabla 4.7: Potencia instantánea, potencia media de salida en Ventilla (Alto Puno)	97
Tabla 4.8: Velocidad del viento promedio anual	99
Tabla 4.9: Atributos	103
Tabla 4.10: Cálculo de la intensidad nominal de cada tramo	104
Tabla 4.11: Tensión asignada recomendada para los cables que se deben utilizar	105
Tabla 4.12: Temperaturas inicial y final de cortocircuito.....	106
Tabla 4.13: Factores de corrección para agrupamiento de cables de 0.6/1 kV soterrados	107
Tabla 4.14: Intensidades máximas admisibles.....	108
Tabla 4.15: Cálculo de la sección para una $I_n = 1,73$ A	108
Tabla 4.16: Secciones mínimas por fase del conductor en función de I_n (A)	109
Tabla 4.17: Secciones del conductor de las líneas.....	109
Tabla 4.18: Resistencia máxima en C.A. del cable a 105 °C.....	110

Tabla 4.19: Reactancia del cable seleccionado.....	110
Tabla 4.20: Caída de tensión en las líneas	112
Tabla 4.21: Porcentajes de los componentes	112

ANEXOS

Anexo N° 01: Datos seleccionados de SENAMHI.....	121
Anexo N° 02: Datos seleccionados de (ISIDRO & VALDIVIA, 2017).....	133
Anexo N° 03: Datos seleccionados de Atlas Eólico del Perú.....	134
Anexo N° 04: Atlas eólico del Perú.....	135
Anexo N° 05: Características del aerogenerador modelo HS90-2MW (Hyosung).....	141
Anexo N° 06: Esquema de conexión a Red.....	143

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

XLPE	Polietileno reticulado.
EPR	Etileno propileno.
HEPR	Etileno propileno de alto módulo.
PVC	Policloruro de vinilo.
USINAS	Planta eléctrica.
TEP	Tonelada equivalente de petróleo.
%	Porcentaje.
EPIME	Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
GW.h	Gigawatts hora.
Kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico.
Kw	Kilowatts.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
m/s	Metros por segundo.
MW	Megawatts.
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
V	Voltios.

RESUMEN

Este proyecto trata del estudio de implantación de un mini parque eólico partiendo de los datos de viento de la zona. Realizando un estudio de viabilidad técnica dentro del campo de energías alternativas con base en la energía eólica, para la conformación de un posible mini parque eólico mediante métodos probabilísticos en la ciudad de Puno, alto Puno (Sector Ventilla). Las herramientas que se utilizan para el proyecto son hojas de cálculo de Excel, Google Earth Pro para la información del terreno y datos del viento. La investigación es de tipo experimental, se dispondrá de información sobre las siguientes variables: velocidad de viento promedio y máximo, direcciones del viento promedio y máxima. La técnica utilizada fue la del fichaje que consiste en recopilar información secundaria ya existente sobre la velocidad y dirección del viento, que fue obtenida de la tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015” (solo tomamos los datos de velocidad del viento del sector Ventilla (Alto Puno), Atlas Eólico del Perú y Senamhi. Analizar estadísticamente los datos y reportar resultados. Como consecuencia del presente trabajo se obtuvo un potencial eólico que cumple con un requerimiento energético y conexión a la red eléctrica Puno. La aleatoriedad del viento, afecta significativamente a la energía eólica extraíble por unidad de área, pequeñas variaciones en la velocidad producen cambios importantes debido a que la potencia varía con el cubo de la velocidad.

Palabras Clave: MINI PAQRUE EÓLICO, POTENCIAL EÓLICO, EXPERIMENTAL, VIABILIDAD.

ABSTRACT

This project deals with the study of the implementation of a wind farm based on the wind data of the area. Conducting a technical feasibility study within the field of alternative energies based on wind energy, for the creation of a possible wind farm using probabilistic methods in the city of Puno. The tools used for the project are Excel spreadsheets, Google Earth Pro for terrain information and wind data. The research is experimental, information will be available on the following variables: average and maximum wind speed, average and maximum wind directions. The technique used was that of the transfer that consists of collecting existing secondary information on wind speed and direction, which was obtained from the thesis "EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFICIENCY OF A SOLAR-WIND ELECTRIC GENERATION MODULE FOR THE EPIME-PUNO, 2015" (we only took the wind speed data from the Ventilla sector (Alto Puno), Atlas Eólico del Perú and Senamhi, statistically analyze the data and report results. As a result of this work we obtained a wind potential that meets a requirement energetic and connection to the Puno electric network The randomness of the wind significantly affects the extractable wind energy per unit area, small variations in speed produce important changes because the power varies with the cube of the speed.

Keywords: WIND MINI PARK, WIND POTENTIAL, EXPERIMENTAL, VIABILITY.

CAPITULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo I El proyecto realizado tiene dos objetivos principales. El primero de ellos es el impulso de las energías renovables en el departamento de Puno. Este es un objetivo fundamental, y prácticamente obligatorio en el tiempo actual. Las energías renovables suponen un importante peso en el sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN), y con previsión de crecimiento, no solo a nivel nacional, sino también a nivel global.

En el capítulo II se detalla algunos antecedentes de tesis realizadas similares y conceptos de generales de la energía eólica

En el capítulo III se detalla el tipo de investigación, es de tipo experimental, porque se manipulan intencionalmente las variables. Las variables manipuladas son: Posición geográfica de los datos y altitud de medición de datos. En respuesta se obtuvieron distintos valores para la velocidad y dirección del viento. De acuerdo al manejo de la información la investigación es cuantitativa, dado que se tiene datos de velocidad del viento en m/s y a partir de ello se determinará el potencial eólico en el Sector de Ventilla (Alto Puno) del distrito de Puno. Para lograr una buena revisión bibliográfica y obtener la mayor cantidad de información necesaria para el desarrollo de esta investigación, se usará el método semiempírico, ya que será necesario analizar la trayectoria de las distintas etapas por las que han ido atravesando, para una evaluación de los datos.

En el capítulo IV se da a conocer los resultados obtenidos del proyecto, tablas de datos, diagramas y figuras para su respectivo análisis del potencial eólico del Sector de Ventilla (Alto Puno).

En el capítulo V y VI se da las conclusiones y sus respectivas recomendaciones para futuros proyectos eólicos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad existe bastante interés en el estudio de energías renovables, principalmente en la energía solar y eólica. El informe técnico de la Dirección General de Electricidad indicó que el 63% de la producción se generó con recurso hídrico, 33% con gas natural, y 4% con energía solar y eólica.

La Dirección General de Electricidad (DGE) del Ministerio de Energía y Minas (Minem) informó que la producción eléctrica acumulada a nivel nacional alcanzó los 26 277 GW.h (Gigavatios. Hora) durante enero y junio del 2018, lo que representa un incremento de 3,2% respecto al mismo periodo del año anterior.

Según la DGE, el aumento de la producción se debe al impulso que viene experimentando el sector minero, actividad considerada en el grupo de los grandes usuarios o consumidores de energía eléctrica, los cuales son clientes libres de las empresas generadoras como Enel Perú, Engie, entre otras. Además el sector detalló que del total nacional producido entre los meses de enero y junio, se generaron 990 GW.h con recursos eólicos (3%) y con solares (1%).

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto realizado tiene dos objetivos principales. El primero de ellos es el impulso de las energías renovables en el departamento de Puno. Este es un objetivo fundamental, y prácticamente obligatorio en el tiempo actual. Las energías renovables suponen un importante peso en el sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN), y con previsión de crecimiento, no solo a nivel nacional, sino también a nivel global.

Es estrictamente necesario reducir la demanda de combustibles fósiles, y con la aportación de la investigación del estudio de implantación de un mini parque eólico en la fuente, de energía renovable como es el viento, podremos tener un mini parque eólico en la provincia de Puno y conjuntamente con otros proyectos hídricos, biomasa y biogás, se podrá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir riesgos en la garantía de suministro.

En el Perú, el departamento de Puno no cuenta con el desarrollo de este tipo de proyectos. Las ventajas de las energías renovables no son solo las nulas o bajas emisiones de CO₂, o que son fuentes de energía “inagotables” (entre otras). Estas tecnologías también generan riqueza y puestos de trabajo en las regiones donde se implantan y suponen un desarrollo para la zona. Por ello es muy importante que se apueste de manera firme en nuestra provincia de Puno por este tipo de tecnologías, siguiendo los pasos de proyectos similares en Perú. Trabajando por obtener la energía en un mundo más sostenible y respetuoso con el medioambiente.

El segundo objetivo es la elaboración de un proyecto de viabilidad de un mini parque eólico con programas gratuitos, es decir sin hacer uso de programas comerciales como Wasp, Furow o similares, software especializado de estudios eólicos.

Mediante los datos de velocidad y dirección de viento, que Atlas Eólico del Perú, Senamhi y la tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015” nos brinda, y, los mismos que se rigen en base al organismo que norma y controla la actividad meteorológica, esta dicta las alturas recomendadas para la toma de datos con distintos instrumentos como son: Termómetro, Medidor de Humedad Relativa,

Pluviómetro, Barómetro, Anemómetro, Pirómetro. Todos estos instrumentos indican una aproximación de la condición climática en la actualidad.

Considerando la altitud y latitud donde se encuentra ubicado el sector de Ventilla (Alto Puno), para aprovechar la presencia continua de vientos provenientes de las zonas bajas y orillas del lago Titicaca, se plantea el estudio de viabilidad técnica del cual pretende encontrar un potencial eólico, el cual puede ser considerado para una implementación de un mini parque eólico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar el estudio de viabilidad técnica de un mini parque eólico de 9 Kw, en el sector de Ventilla (Alto Puno) de la ciudad de Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

-Argumentar científicamente el potencial eólico, características del estudio realizado al respecto.

-Analizar la información de las variables: velocidades del viento, dirección del viento, densidad del aire, elevación, temperatura, presión atmosférica, factor de rugosidad.

-Procesar y sistematizar los datos obtenidos para el estudio de un mini parque eólico en el sector de Ventilla (Alto Puno).

CAPITULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

Tesis: “DISEÑO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE MEJORE EL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON FINES DE RIEGO EN EL CENTRO POBLADO DE CHINUMANI- YUNGUYO, 2016”.

Autores: JENER DIMAS ANDRADE ÑACCHA - MIGUEL ANGEL QUISPE CONDE

El objetivo principal es el diseño y selección de los componentes de un sistema eólico solar para la generación de energía eléctrica que satisfaga la demanda que requiere un sistema de bombeo con fines de riego en el centro poblado de Chinumani del distrito de Yunguyo, con lo cual el diseño y su funcionamiento del sistema eólico solar conformado por cuatro generadores fotovoltaicos y un generador eólico para alimentar la demanda de carga hecha por el equipo de bombeo de agua, el cual suplirá las actividades de riego manuales que se realizan actualmente por riego por surcos, mediante conducción de agua por tuberías en beneficio de 10 familias del centro poblado de Chinumani.

Concluyendo:

- Con el presente diseño y selección de un sistema eólico solar se mejorará y promoverá el desarrollo y fortalecimiento económico en el centro poblado de Chinumani, ya que es un sistema rentable.

- Con el parámetro de la velocidad promedio del viento en la zona de estudio que obtuvimos de la NASA, Atlas Eólico del Perú y la base de datos históricos del Senamhi, se obtuvieron 2,82 m/s, 3,17 m/s y 2,66 m/s respectivamente y parámetro de la radiación

solar promedio que obtuvimos de la NASA, Atlas Solar del Perú y cálculos empíricos, se obtuvieron 6,09 Kwh/m²día, 5,58 Kwh/m²día y 6,26 Kwh/m²día respectivamente, lo que es ideal para la aplicación del sistema alternativo eólico solar para la generación de energía eléctrica y satisfaga la demanda de 2 HP que requiere la bomba de agua para aplicación en la agricultura en el centro poblado de Chinumani.

-Con el uso de herramientas computacionales como es el Homer 2, Climwat v 2,0, Cropwat 8,0, Epanet v 2,0 y Censol 5 se simplifica el desarrollo y diseño de un sistema eólico solar para bombeo de agua con fines de riego.

-Con la tecnología propuesta en este proyecto mediante la aplicación de un sistema eólico solar para bombeo de agua con fines de riego, se busca mejorar en un 90% la producción agrícola en el centro poblado de Chinumani.

Tesis: “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015”

Autores: BERNABE CHAGUA ISIDRO - CÉSAR ALVARO VALDIVIA QUIRÓZ

El objetivo principal es estudiar la eficiencia de manera experimental de un módulo de generación eléctrica híbrida solar-eólica, en la EPIME, determinando la influencia de la variación de la radiación solar y velocidad del viento, en la eficiencia del módulo y determinar la influencia de la ubicación geográfica en la eficiencia del módulo.

Concluyendo:

-Con la instalación del módulo híbrido solar-eólico en los sectores de Salcedo, Ventilla (Alto Puno), Yanamayo (antenas) y Llavini (EPIME) en nuestro departamento

de Puno. Se ha logrado tomar datos de campo teniendo un promedio en la radiación solar 1 082,68 watts/m² y la velocidad del viento 5,10 m/s, con estos datos ambientales se ha logrado producir una potencia promedio de 258,55 Watts, obteniendo una eficiencia promedio de 40,40%, con lo cual se concluye que los recursos renovables son suficientes para producir energía eléctrica. Analizando el módulo híbrido solar-eólico se concluye que el arreglo fotovoltaico aporta el 71% de potencia y el aerogenerador aporta un 29 % promedio de los cuatro sectores. Con los cuales se concluye que se ha logrado estudiar la eficiencia de manera experimental en nuestro departamento.

- La velocidad de viento y la radiación solar varían constantemente en cada medición realizada, con lo cual se concluye que la velocidad del viento y la radiación solar influyen en la eficiencia del módulo.

-La influencia de la ubicación geográfica se ha logrado determinar haciendo mediciones e instalando el módulo híbrido solar-eólico en los cuatro sectores, por efecto la eficiencia es variable en los cuatro sectores, con esto se concluye que la ubicación geográfica influye en la eficiencia del módulo. En la localidad de Ventilla (Alto Puno) el aerogenerador logra aportar un 37% de potencia y es el valor más alto, con esto se concluye que en este sector se tiene bastante potencial eólico, lo cual es factible para instalar módulos híbridos en esta.

- Con la donación del módulo y la elaboración de guías de laboratorio se tiene el apoyo suficiente para que puedan realizar prácticas en nuestra escuela profesional.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Energías Renovables

Las energías renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitiva. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad,

abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático, ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural. (Acciona, 2018)

2.2.2. Energías No Renovables

La energía no renovable es aquella fuente de energía que se agota en el tiempo. Aunque su duración sea alta, acabarán por agotarse y, conforme menos reservas queden, se convertirán en algo demasiado caro o contaminante para el medio ambiente.

La energía no renovable es la que consume algún tipo de combustible (petróleo, carbón, uranio). Mientras que la energía renovable utiliza otros tipos de recursos energéticos (radiación solar, la energía eólica, la energía hidráulica, la energía maremotriz, etc.). Se habla de que en un futuro próximo, los combustibles podrían tener materias primas renovables como puede ser el hidrógeno. (RENOVABLESVERDES DE VEZZIA, n.d.)

2.2.3. Energía eólica

2.2.3.1. Historia de la energía eólica

La energía eólica es una de las formas de energía más antiguas usadas por la humanidad. Hay que retroceder hasta el año 3.000 a. C. para encontrar el primer uso generalizado del viento como fuente de energía. Fue en los primeros barcos veleros en el antiguo Egipto. Los primeros molinos de viento datan del siglo VII y se localizaron en Sistán, en el actual Afganistán (antigua Persia). Aquellos molinos, de eje vertical y con seis u ocho velas de tela, se usaban para moler grano o para bombear agua. En Europa se construyeron los primeros molinos en el siglo XII en Francia e Inglaterra. (Ekidom S.L., n.d.)

En el siglo XIV los holandeses tomaron el liderazgo en el mejoramiento de los molinos y comenzaron a utilizarlos extensivamente para drenar las regiones pantanosas del delta del río Rin. A fines del siglo XV se construyeron los primeros molinos de viento para la elaboración de aceites, papel y procesar la madera en aserraderos. A comienzos del siglo XVI se empezaron a utilizar para el drenaje de "polders", empleándose máquinas de hasta 37 kW (50 HP) cada una. A mediados del siglo XIX cerca de 9 000 molinos operaban en Holanda con diferentes propósitos, algunos de hasta 65 kW (90 HP). Con la introducción de las máquinas de vapor durante la Revolución Industrial comenzaron a declinar y menos de 1 000 máquinas estaban en condiciones de operación a mediados del siglo XX. (Moragues & Rapallini, 2003)

En Dinamarca, al finalizar el siglo XIX, cerca de 3 000 molinos eran utilizados con fines industriales y cerca de 30 000 en casa y granjas, proveyendo una potencia equivalente a 200 MW. (Moragues & Rapallini, 2003)

Como en otras regiones del mundo la aparición de alternativas más baratas de abastecimiento energético hizo que paulatinamente fueran reemplazándose por máquinas térmicas o motores eléctricos alimentados desde las redes.

Procesos similares tuvieron lugar en otras regiones del mundo, haciendo que el uso del recurso eólico quedase relegado a satisfacer necesidades puntuales en medios rurales o comunidades aisladas, sin ninguna participación en el mercado energético. La toma de conciencia sobre la agotabilidad de los recursos energéticos no renovables (o de los renovables no debidamente utilizados), la creciente preocupación por el impacto sobre el medio ambiente de los combustibles fósiles y la energía nuclear, y las bruscas alzas de los precios del petróleo ocurridos en la década del 70, intensificaron la búsqueda de

alternativas de abastecimiento energético, renaciendo el interés por el recurso eólico. (Moragues & Rapallini, 2003)

Los países industrializados focalizaron sus desarrollos en el abastecimiento de energía eléctrica. Los logros alcanzados en el plano de la investigación y desarrollo y, más aún, en las tecnologías de producción de turbinas eólicas, han hecho que, en el presente, el recurso eólico haya dejado de ser una potencial alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica.

Hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal para la realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua o del viento. La primera y más inmediata forma de aprovechamiento de la energía eólica ha sido desde los tiempos más remotos aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización de embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV o V milenio antes de J.C. (Salgado, 2011)

Los molinos de viento existían ya en la más remota antigüedad. En China hay referencias de la existencia de molinos de rotor vertical y palas a base de telas colocadas sobre un armazón de madera, que eran utilizadas para el bombeo de agua, máquinas conocidas como panémonas, precursoras de los molinos Persas.

Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, comenzando a extenderse por Grecia, Italia y Francia. Según algunos autores, se debe a los cruzados la introducción de la tecnología eólica en Occidente, si bien otros opinan que Europa desarrolla su propia tecnología, claramente distinta de la oriental, ya que en Europa se impone fundamentalmente los molinos de eje horizontal, mientras que los molinos orientales eran de eje vertical.

En 1724 Leopold Jacob proyecta un molino de ocho palas que mueve una bomba de pistón, en 1883 aparece el pequeño múltipala americano diseñado por Steward Perry, este molino de unos 3 metros de diámetro utilizado para bombeo, ha sido el más vendido de la historia, llegándose a fabricar más de seis millones de unidades, de la que existen varios miles en funcionamiento. Como precursor de los actuales aerogeneradores, es necesario citar la Aero turbina danesa de Lacourt (1892), máquina capaz de desarrollar entre 5 y 25 kW. (Salgado, 2011). En el año 1910 Dinamarca tenía instalada una potencia eólica de 200 MW.

En los años 20 se empiezan a aplicar a los rotores eólicos los perfiles aerodinámicos que se habían diseñado para las alas y hélices de los aviones. En 1927, el holandés A.J. Dekker construye el primer rotor provisto de palas con sección aerodinámica, capaz de alcanzar velocidades en punta de la pala, cuatro o cinco veces superiores la del viento incidente.

Betz demostró en su famoso artículo “Die Windmuhlen im lichte neverer Forschung”, (Berlín 1927), que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que, en cualquier caso, ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento. Por lo tanto, los nuevos rotores debían funcionar con elevadas velocidades de rotación para conseguir rendimientos más elevados. (Salgado, 2011)

La teoría demostró también que cuanto mayor era la velocidad de rotación menor importancia tenía el número de palas, por lo que las turbinas modernas podían incluso construirse con una sola pala sin que disminuyera su rendimiento aerodinámico significativamente. (Salgado, 2011)

A pesar de los esfuerzos realizados y de la mayor eficacia de las nuevas turbinas, las dificultades de almacenamiento y las desventajas propias de la irregularidad de los vientos

fueron la causa de que las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético continuaran declinando hasta el final de la primera guerra. (Salgado, 2011)

Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, empezaban a imponerse como la principal e insustituible fuente de energía. Sin embargo, el petróleo presentaba un grave inconveniente al crear una dependencia entre los países consumidores y los productores, de forma que cuando el orden económico se veía alterado por alguna crisis y la dependencia energética se hacía patente, se adoptaban políticas de apoyo de los recursos autónomos, que se abandonaban una vez se superaba la crisis. (Salgado, 2011)

La primera de estas etapas fue una consecuencia inmediata de la Primera Guerra. Con una fuerte expansión de la electricidad como sistema energético universal y escasez de recursos para importar petróleo, las turbinas eólicas continuaron desarrollándose por dos caminos diferentes. Por un lado, hacia el diseño, construcción y comercialización de aerogeneradores de baja potencia, capaces de generar electricidad en áreas rurales más o menos aisladas, a las que todavía no habían llegado las redes de electrificación.

Por otro, y a la sombra de una industria aeronáutica en pleno desarrollo, hacia el diseño y construcción de grandes plantas eólicas capaces de generar electricidad a gran escala. Este apoyo a los recursos energéticos autóctonos, que inmediatamente después de la guerra, se mantuvo durante la década siguiente, como consecuencia de la política proteccionista adoptada por los países occidentales tras la crisis de 1929. (Salgado, 2011)

Durante este periodo fueron innumerables los trabajos realizados sobre plantas eólicas de gran potencia en Europa y EE.UU., centrando los programas eólicos su interés en aspectos diferentes como, la evaluación de los recursos disponibles, obtención y tratamiento de datos meteorológicos, elaboración de mapas eólicos y localización de

emplazamientos, y el cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia, a la vez que intentó crear incentivos que motivasen a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas turbinas con funcionamiento autónomo, que permitiesen cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas. (Salgado, 2011)

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, y como consecuencia del periodo de escasez que siguió, los países europeos elaboraron programas nacionales para elegir los emplazamientos más adecuados donde deberían instalarse las grandes plantas eólicas que se proyectaban. (Salgado, 2011)

El segundo periodo de desarrollo de la energía eólica comienza en los años cincuenta y se prolonga hasta mediados de los sesenta en que, una vez restablecida la economía internacional, acaba perdiendo interés al no resultar sus precios competitivos con los combustibles fósiles convencionales, por lo que el bajo precio del petróleo, hasta 1973, cerró el camino al desarrollo de la tecnología eólica; a esta etapa siguió otra de precios del petróleo altos que se prolongó hasta 1986 y que favoreció el desarrollo de los aerogeneradores eólicos como fuente de energía alternativa, renovable y no contaminante, capaz de producir electricidad a precios competitivos. En esta época, las redes de electrificación empezaban a ser lo suficientemente extensas como para cubrir la mayor parte de las zonas rurales, por lo que también disminuyeron las ventajas de los aerogeneradores de baja potencia utilizados en zonas aisladas. (Salgado, 2011)

El número de aerogeneradores instalados a finales de 1991 era superior a los 21 000, según datos de la agencia internacional de la energía, con un total de potencia de 2 200 MW, equivalente a dos centrales nucleares de gran potencia, de los cuales la mitad estaban instaladas en los parques eólicos de California. A finales de 1991 la potencia de

origen eólico instalada en la red eléctrica danesa ascendía a 410 MW con una producción de energía equivalente al 2,3% del consumo del país. En Alemania la potencia instalada era de 100 MW y estaba previsto alcanzar los 250 MW en breve plazo. Holanda contaba con 80 MW de potencia instalada y 100 más en construcción. El Programa eólico holandés tiene previsto alcanzar los 1 000 MW hacia el año 2000 y los 2 000 MW en el 2010. (Salgado, 2011)

Cada kWh eólico permitiría ahorrar un kilogramo de CO₂, entre otras sustancias contaminantes. La eólica es la manera más económica de reducir las emisiones contaminantes y avanzar hacia la sostenibilidad. (Salgado, 2011)

2.2.3.2. Energía eólica en el Perú

La costa peruana cuenta con un importante potencial eólico; donde se llega alcanzar velocidades promedio de 8 m/s como en Malabrigo (La Libertad), San Juan de Marcona y Paracas en Ica. Estos valores son suficientes para atraer inversión en proyectos y garantizar su rentabilidad. En Malabrigo se ha instalado un aerogenerador de 250 KW en 1996 con una eficiencia del 36 % y en San Juan de Marcona (Ica) un aerogenerador de inducción de 450KW en 1999.

En 1989, Electroperú S.A. inició los estudios de investigación de energía eólica en el litoral del Perú definiendo la potencialidad eólica en Puerto Malabrigo (Puerto Malabrigo, Distrito Razuri, Provincia Ascope, Departamento de La Libertad), San Nicolás y San Juan de Marcona (Departamento de Ica). (jesarella Inga, n.d.)

En 1996 la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas implementó los proyectos piloto de Malabrigo de 250 kW, y en 1999 el proyecto piloto San Juan de Marcona de 450 kW.

Posteriormente ambos proyectos fueron transferidos a ADINELSA el año 2000, para ser administrados comercialmente y proceder a la actualización de la información y análisis que debe realizarse para la obtención del potencial eólico, sus tendencias, y las perspectivas actuales y futuras para su desarrollo.

Los resultados obtenidos se deben al procesamiento de datos de velocidad de viento registrados en cada una de las Centrales Eólicas. Desde el año 1996 (Malabrigo) y 1999 (San Juan de Marcona). (jesarella Inga, n.d.)

Wayra I, ubicada en Marcona, región de Ica, es el parque eólico más grande del país. Tienen una capacidad instalada de 132 MW. Tras la puesta de la central renovable, cuya construcción requirió una inversión de más de 165 millones de dólares, Enel se convirtió en el principal generador de energía renovable de Perú con alrededor de 1,1 GW de capacidad instalada. (PERÚ21, 2018)

2.2.3.3. El viento

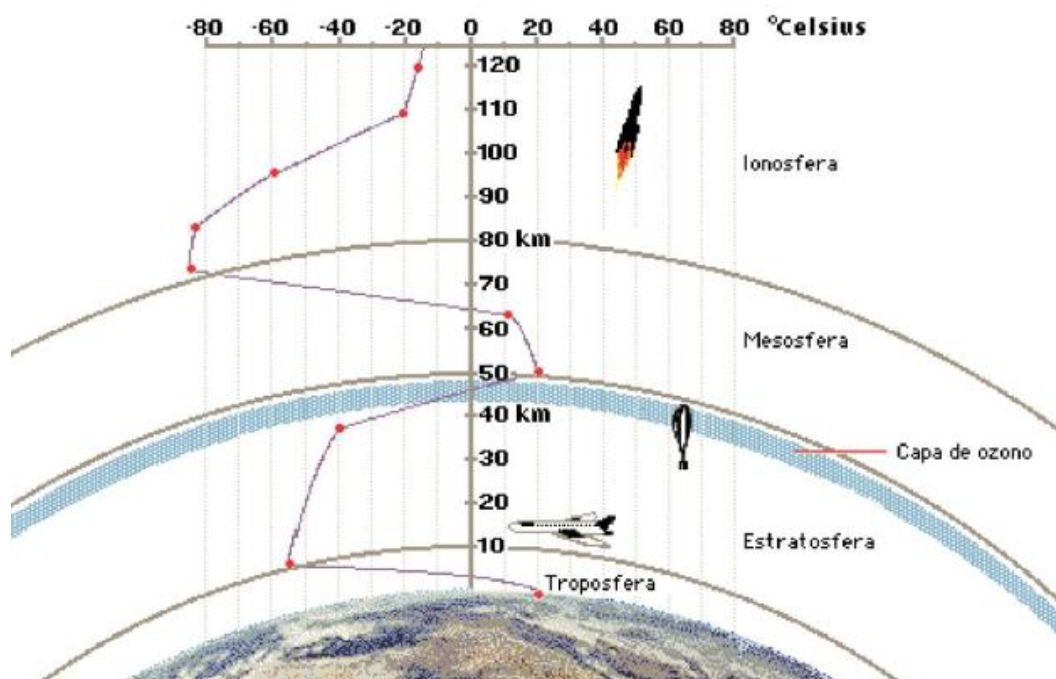
La atmósfera se divide verticalmente en varias capas horizontales, según una división basada principalmente en la temperatura. El viento en superficie se produce en la capa más baja de la atmósfera, la tropósfera, que tiene un espesor de unos 8 km en los polos y unos 16 km en el Ecuador. En concreto, desde el punto de vista de la energía eólica, interesará únicamente el viento que se produce en unos pocos centenares de metros sobre el suelo, en la parte más baja de la tropósfera. (VORTEX FACTORIA DE CALCULS, 2016)

Tabla 2.1: Capas de la atmósfera

ALTURA	CAPAS	FENÓMENOS
De 1 000 km en adelante	EXÓSFERA	Vacío casi absoluto. Zona de circulación de satélites geofísicos
De 400 a 1 000 km.	MESÓSFERA	Producción de iones. Transformación de los rayos cósmicos primarios en secundarios.
De 80 a 400 km.	IONÓSFERA	Producción de iones. Capas electrizadas. Reflejan ondas radio. Auroras y bólidos.
De 25 a 80 km.	QUIMIÓSFERA	Reacciones químicas. Presencia de capa de ozono. Filtro de la radiación ultravioleta.
De 10 a 25 km.	ESTRATÓSFERA	Aire prácticamente en calma. Nubes irisadas
De 0 a 10 km.	TROPÓSFERA	Fenómenos meteorológicos: nubes, vientos, lluvia, etc.

Fuente: SENAMHI

Figura 2.1: Capas de la atmósfera



Fuente: SENAMHI

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 100 000 000 000 000 kW-h de energía hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe 1 017 W de potencia. Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Las corrientes de aire son causadas por diferencias de presión en diferentes regiones del planeta debido a diferencias de calentamiento en la superficie por la radiación solar. Por ejemplo, la radiación solar absorbida por la tierra en latitudes cercanas al ecuador es mayor que en los polos. El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá

hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur.

El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá.

En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas y altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento suba desde el ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur. En los polos, habrá altas presiones debido al aire frío. (Hualpa Huamani, 2006, pág. 2)

2.2.3.4. Características de la energía eólica

Una las características importantes de la energía eólica, es que para su funcionamiento se necesita de la instalación de un aerogenerador. Otra de las características es que transforma la energía eléctrica sin la necesidad de emitir sustancias tóxicas a la capa de ozono.

La energía eólica es la que puede producir electricidad, para ello se utiliza los aerogeneradores, los mismos que mueven una turbina mientras se considere mayor y sea considerada la longitud de las aspas se tiene mayor potencia y energía. (Twenergy, 2012)

2.2.3.5. Ventajas de la energía eólica

La energía eólica tiene muchas ventajas que la hacen una fuente de energía atractiva tanto en gran escala como para pequeñas aplicaciones.

-Energía limpia e inagotable: La energía del viento no produce ninguna emisión y no se agota en un cierto plazo. Una sola turbina de viento de un megavatio (1 MW) que funciona durante un año puede reemplazar la emisión de más de 1 500 toneladas de dióxido de carbono, 6,5 toneladas de dióxido de sulfuro, 3,2 toneladas de óxidos de nitrógeno, y 60 libras de mercurio.

-Desarrollo económico local: Las plantas eólicas pueden proporcionar un flujo constante de ingresos a los terratenientes que arriendan sus campos para la explotación del viento, y un aumento en la recaudación por impuestos territoriales para las comunidades locales.

-Tecnología modular y escalable: las aplicaciones eólicas pueden tomar muchas formas, incluyendo grandes granjas de viento, generación distribuida, y sistemas para uso final. Las aplicaciones pueden utilizar estratégicamente los recursos del viento para ayudar a reducir los riesgos por el aumento en la carga o consumo y costos producidos por cortes.

-Estabilidad del costo de la energía: La utilización de energía eólica, a través de la diversificación de las fuentes de energía, reduce la dependencia a los combustibles convencionales que están sujetos a variaciones de precio y volatilidad en su disponibilidad. (Textos Científicos, 2014)

2.2.3.6. Desventajas de la energía eólica

Sus limitaciones técnicas las tornan una fuente de generación eléctrica carente de confiabilidad para operar como base en un sistema integrado de transmisión. Dicho más sencillamente, al estar integradas a una red de distribución eléctrica, la poca previsibilidad de la generación eólica (condicionada por las constantes variaciones de los vientos),

impide la operación constante o al menos con aceptable grado de certeza; motivo por el cual siempre están condicionadas a la existencia de otras usinas convencionales (termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleares). (Carlos Andrés Ortiz, 2005)

2.2.3.7. Limitaciones técnicas

Necesitan vientos constantes, lo cual es una característica que no existe en todos los lugares de La Tierra.

Aún en las zonas de alta ventosidad, como la Patagonia, costas atlánticas y puntos de la Cordillera Los Andes, la variabilidad de las corrientes de aire crea inconvenientes técnicos serios, pues las fluctuaciones de potencia firme operable y de generación horaria, diaria y mensual, no han podido solucionarse adecuadamente. Al operar interconectadamente, siempre precisan el respaldo de otras usinas de mayor confiabilidad. Por otra parte, el aerogenerador E30PRO sólo es operables con vientos mínimos de 2 m/s, con una velocidad nominal de 11 m/s hasta una velocidad de supervivencia de 60 m/s, como también la frecuencia de las usinas eólicas salgan de servicio desconectándose automáticamente o manualmente.

Los parques eólicos, que en rigor son conjuntos de varios molinos que conforman un sistema de generación, requieren la utilización de grandes superficies de tierra, a la que de uno u otro modo afectan tanto funcional como visualmente, por lo que están lejos del nivel de impacto cero.

Los vientos de mejor calidad energética (mayor potencia y menor variación) están por regla general alejados de la superficie, lo cual obliga a desarrollar torres de gran altura con palas de grandes diámetros, lo cual conlleva no sólo a mayores costos de instalación,

sino a adoptar soluciones técnicas de mayores complejidades. (Carlos Andrés Ortiz, 2005)

2.2.3.8. Limitaciones ambientales

Sus procesos de construcción e instalación, así como los de desguace al término de su vida útil, son de altos consumos energéticos, lo cual significa importantes índices de polución encubierta pero absolutamente real.

Al tener partes mecánicas, precisan lubricación y mantenimiento. Todo ello produce desechos oleosos, fluidos y gaseosos contaminantes, de muy difícil o imposible control o mitigación.

De optarse por no desmontar los molinos al término de su vida útil, la consecuente degradación por oxidación de sus componentes metálicos producirá contaminación, la cual incluirá componentes tóxicos de algunas aleaciones especiales que conforman esas enormes instalaciones.

Las enormes superficies a ser utilizadas no resultan ser un dato menor. Como comparación, para una potencia instalada similar a la que tendrá Corpus Christi, es necesario afectar una superficie mínima del orden de 50 metros de ancho por 150 kilómetros de largo, partiendo de la base de instalar una mega granja eólica compuesta por 3 000 (tres mil) molinos de entre 0,8 a 1,2 MW cada uno; cuya producción real (en KWh) en zonas eólicamente aptas- será menor y muy posiblemente mucho más fluctuante y compleja que el de una gran usina hidroeléctrica.

Son totalmente dependientes del respaldo de usinas convencionales para cubrir las abruptas variaciones de potencia que son consecuencia en los cambios de ventosidad. Eso obliga a tener reservas en cliente, lo cual significa tener operando en vacío (quemando

combustible o eventualmente desperdiciando caudal de agua) a las centrales convencionales, las que se integran a la red de transmisión al producirse los frecuentes altibajos de las eólicas. (Carlos Andrés Ortiz, 2005)

2.2.3.9. Limitaciones económicas

Las limitaciones técnicas descritas, al reducir la previsibilidad y confiabilidad técnica de la operación de las centrales eólicas, obligan a adoptar mecanismos electrónicos que minimicen las variaciones de potencia, así como respaldos externos (otras usinas de diferentes tecnologías) todo lo cual encarece el costo real por KWh.

Por regla general, las zonas de buena ventosidad están muy alejadas de los centros de consumo; y en muchos casos se ubican en zonas de difícil acceso. Piénsese en los molinos ubicados en pleno Mar Del Norte o Mar Báltico, en zonas montañosas o similares, o inclusive en valles alejados de las redes eléctricas de interconexión Eso encarece tanto la construcción, como la operación, el mantenimiento y posterior desguace. (Carlos Andrés Ortiz, 2005)

2.2.3.10. Usos de la energía eólica

Los usos de la energía eólica se diferencian en dos tipos de aplicaciones, las centralizadas, generadoras de cantidades importantes de energía eléctrica vertida a la red de distribución de manera directa, o por otra parte, las autónomas, donde la producción tiene un fin de uso directo a energía térmica o eléctrica.

Para la producción de energía eólica, se utilizan dos tipos de instalaciones, los aerogeneradores de gran potencia, y los parques eólicos, centrales de molinos trabajando conjuntamente para verter la producción directamente a la red de almacenamiento.

Una vez entendido esto, sabremos entonces que la energía obtenida de los aerogeneradores puede ser utilizada en la producción de energía mecánica, térmica o eléctrica, así entonces podemos resaltar algunos usos y aplicaciones: (OCIO ULTIMATE MAGAZINE, 2014)

- Calefacción.
- Refrigeración.
- Calentamiento de agua.
- Alumbrado y diversos usos eléctricos.

Actualmente la energía eólica se aprovecha de dos formas bien diferenciadas:

-Por una parte se utilizan para sacar agua de los pozos un tipo de eólicas llamados aerobombas, actualmente hay un modelo de máquinas muy generalizado, los molinos multipala del tipo americano. Directamente a través de la energía mecánica o por medio de bombas estos molinos extraen el agua de los pozos sin más ayuda que la del viento.

Por otra, están ese tipo de eólicas que llevan unidas un generador eléctrico y producen corriente cuando sopla el viento, reciben entonces el nombre de aerogeneradores.

Los aerogeneradores pueden producir energía eléctrica de dos formas:

Las aplicaciones aisladas por medio de pequeña o mediana potencia se utilizan para usos domésticos o agrícolas (iluminación, pequeños electrodomésticos, bombeo, irrigación, etc.), Incluso en instalaciones Industriales para desalación, repetidores aislados de telefonía, TV, instalaciones turísticas y deportivas, etc. En caso de estar condicionados por un horario o una continuidad se precisa introducir sistemas de baterías de acumulación o combinaciones con otro tipo de generadores eléctricos (grupos diesel, placas solares fotovoltaicas, centrales mini hidráulicas), también se utilizan aerogeneradores de gran

potencia en instalaciones aisladas para usos específicos; Desalinización de agua marina, producción de hidrógeno, etc.

La conexión directa a la red viene representada por la utilización de aerogeneradores de potencias grandes. La mayor rentabilidad se obtiene a través de agrupaciones de máquinas potencia conectadas entre sí y que vierten su energía conjuntamente a la red eléctrica. Dichos sistemas se denominan parques eólicos. Una aplicación interesante de la energía eólica son los pequeños aerogeneradores de potencia destinados a abastecer de energía eléctrica a edificaciones aisladas, sin conexión a la red. Estos pequeños aerogeneradores se utilizan combinados con paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica de origen renovable.

En el marco de las aplicaciones centralizadas, en las que siempre será necesario que la potencia base de la red la proporcione una fuente de energía más estable, cabe destacar dos grandes tipos de instalaciones eólicas:

- Aerogeneradores de gran potencia
- Parques eólicos

Por su parte, las aplicaciones autónomas de máquinas eólicas de potencia pueden ser rentables en muchos casos, según las condiciones eólicas y las características concretas de las diferentes alternativas que se comparen.

Las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos:

Bombeo de agua y riego.

Acondicionamiento y refrigeración de almacenes.

Refrigeración de productos agrarios.

Secado de cosechas.

Calentamiento de agua.

Acondicionamiento de naves de cría de ganado.

Alumbrado y usos eléctricos diversos.

Asimismo, resulta de interés el empleo de aerogeneradores para repetidoras de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos de las redes eléctricas. En estos casos hay que prever normalmente un sistema de acumulación por baterías para hacer frente a las posibles calmas. (JESSICA YINETH ESCORCIA & LUISA FERNANDA MONTOYA, 2009)

2.2.4. Ahorro de combustibles fósiles

Una central térmica opera con un rendimiento medio del 33 %, para obtener 1 MWh eléctrico en barras del alternador de la central, se requiere un aporte de energía primaria fósil igual a 0,261 TEP.

Por lo cual el ahorro anual en energía primaria que se obtiene por el uso de energía eólica puede estimarse en 0,55 TEP por cada kW de potencia eólica nominal instalado, o lo que es equivalente a 0,261 TEP por cada MWh de energía eléctrica producida por vía eólica

A título ilustrativo se puede estimar para una potencia nominal eólica instalada a escala mundial de unos 10000 MW en 1999, un ahorro anual equivalente a 5.5 millones de TEP (mil millones de dólares anuales).

A diferencia de otras fuentes renovables la energía eólica presenta un plazo de recuperación energética corto (entre 3 y 6 meses) de forma que una central eólica puede generar durante su vida útil (20 años) entre unas 50 y 100 veces la energía usada en su construcción. (Villarrubia López, 2012)

2.2.5. Ahorro de emisiones de gases contaminantes

En relación con la emisión de gases contaminantes la energía eólica es una “energía limpia” ya que puede afirmarse que su emisión es prácticamente nula (si exceptuamos las emisiones derivadas de su construcción, mantenimiento y desmantelamiento según las técnicas de valoración de ciclo de vida).

Los gases que dejan de emitirse cuando se usa la energía eólica y que en cambio están presentes cuando utilizamos energías de origen fósil (carbón, petróleo o gas) son:

Gases que provocan el efecto invernadero: fundamentalmente el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (en particular el óxido nitroso N_2O) y el metano (CH_4).

Gases que provocan la acidificación atmosférica y las lluvias ácidas: en particular el dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Gases que provocan la creación de ozono troposférico: en particular los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV's), en especial hidrocarburos. Todos ellos actúan, en presencia de radiación ultravioleta solar, como contaminantes primarios, facilitando la creación de ozono troposférico y la contaminación fotoquímica (smog de grandes ciudades).

Además de los gases anteriormente citados, el uso de algunos combustibles fósiles (carbón, fuelóleo, etc.), acarrea la emisión de partículas, hollines y cenizas volantes y en general distintos tipos de aerosoles que contribuyen a la contaminación atmosférica.

Las emisiones específicas o factores de emisión (masa de contaminante por unidad de energía final producida) varían según el combustible, la tecnología utilizada y el régimen de explotación, por lo que es difícil asignar unos valores concretos de emisión. Así, no presenta la misma emisión específica una central de gas natural de ciclo combinado que una central térmica de carbón, como también es diferente si la misma central trabaja a plena carga o a carga parcial, pues existe una variación del rendimiento de la misma. (Villarrubia López, 2012)

2.2.6. Uso del suelo

Las consideraciones, como uso del suelo en un parque eólico se encuentran entre 50 y 150 m²/kW ubicados de manera que la capacidad en unidad de área está determinada entre 6 y 20 MW/km².

En la superficie terrestre, el 5 y hasta un 10 % se encuentra utilizada por aerogeneradores, por construcciones para control y mantenimiento, situando de tal forma no interviene en el normal funcionamiento de los aerogeneradores, además los aerogeneradores deben situarse de manera que no afecte a los cultivos ni a la ganadería. Es decir, un parque generador eólico de 50 MW tiene que ocupar 7 km² de los mismos solo 6 km², puede ser aprovechado por los aerogeneradores. (Escudero López & Dios Bornay, 2004)

Los siguientes datos nos sirven como:

Un aerogenerador de 600 kW requiere una base de 36 m².

Capacidad instalada por unidad de superficie: 6,5 a 10,8 MW/km².

Área libre requerida por aerogenerador: 55 500 a 92 500 m².

Área por unidad de capacidad: 92,5 a 154,1 m²/kW.

Con este criterio 5 000 MW requieren unos 770 km² de los cuales sólo el 5 % se ven afectados directamente quedando el 95 % restante utilizable para otros fines (agrícolas, ganaderos).

2.2.7. Ruido

El ruido es un sonido molesto o indeseado y tiene dos orígenes:

2.2.7.1. Ruido Mecánico

Producido por el rozamiento entre las distintas partes móviles de la máquina (cojinetes, caja multiplicadora, generador eléctrico, etc.). Prácticamente carece de importancia a cierta distancia del aerogenerador

2.2.7.2. Ruido Aerodinámico

En forma de sonido silbante, alcanzando distancias mayores. Es el ruido que puede causar problemas en comunidades próximas al aerogenerador. Su origen se sitúa principalmente en las puntas y partes posteriores de las palas y aumenta con la velocidad de rotación de las mismas. Está es una de las razones por las que se limita la velocidad. (En aplicaciones terrestres “onshore”, la velocidad de la punta de la pala se limita a unos 65 m/s y en marítimas “offshore” se permiten mayores velocidades). (Villarrubia López, 2012)

2.2.8. La Atmósfera

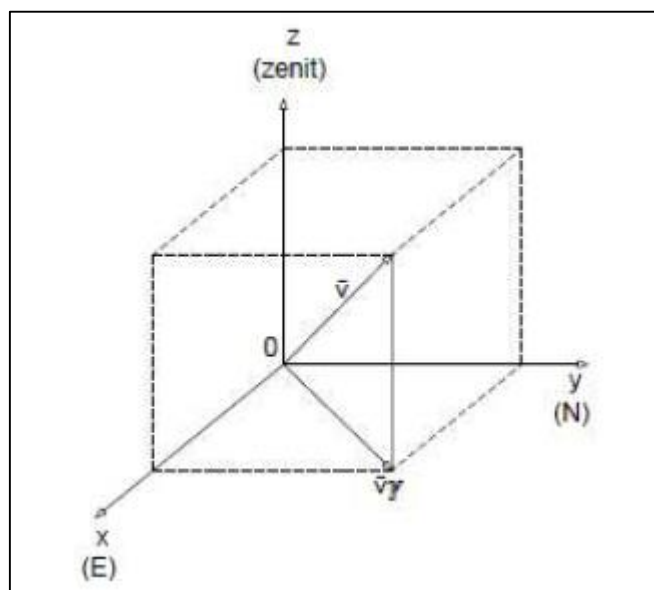
La atmósfera está formada por una mezcla de gases, la mayor parte de los cuales se concentra en la denominada homosfera, que se extiende desde el suelo hasta los 80-100 kilómetros de altura. De hecho esta capa contiene el 99,9% de la masa total de la atmósfera. (METEOROLOGÍAENRED, 2017)

2.2.8.1. Gases que lo componen

Hay que destacar el Nitrógeno (N_2), el Oxígeno (O_2), el Argón (Ar), el Dióxido de Carbono (CO_2) y el vapor de agua. Es importante saber que la concentración de estos gases varía con la altura, siendo especialmente acusadas las variaciones del vapor de agua, que se concentra sobre todo en las capas próximas a la superficie. (METEOROLOGÍAENRED, 2017)

2.2.9. Velocidad del viento

La velocidad del viento es una magnitud vectorial. Dada las características del viento, el vector velocidad varía continuamente de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido. Los instrumentos de medida de velocidad (anemómetros) y de dirección (veleta) miden valores con una frecuencia de muestreo (por ejemplo, cada 1 o 2 segundos) y los promedian para intervalos de algunos minutos (en general 10 minutos). Así, el valor que se obtiene representa las características medias del viento instantáneo durante este período de tiempo. Por ello es usual, caracterizar el viento por un vector velocidad media (algunas veces denominado viento medio o estacionario) al que se le pueden superponer variaciones aleatorias.

Figura 1.2: Componentes de vector velocidad

Fuente: (TORO, 2011)

Este triedro se define según el siguiente criterio: los ejes x e y se toman según las direcciones E y N respectivamente y el eje z según la dirección del zenit (es decir la dirección que define una recta que desde el centro de la tierra sea perpendicular a la superficie terrestre en el punto del lugar de medición).

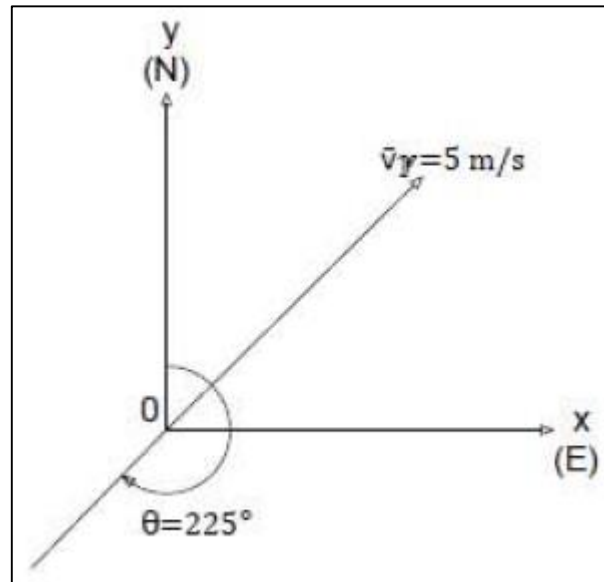
En aplicaciones de energía eólica, sólo se consideran las componentes de la velocidad en el plano horizontal (se ignora la componente según el eje cenital z). Esta última en general es mucho menor que las primeras y además no presenta interés para aprovechamiento energético. Así mismo, los aparatos de medida registran generalmente sólo el módulo y dirección de la componente en el plano horizontal.

Por ello, el viento se caracteriza por medio de dos valores:

- El módulo de la componente de la velocidad en el plano horizontal (simplemente velocidad).

- Dirección de donde sopla.

Figura 2.3: Componente de velocidad de viento



Fuente: (TORO, 2011)

Tabla 2.2: Escala de velocidades de viento

Escala de velocidades de viento			
Velocidades de viento a 10 m de altura		Escala Beaufort (anticuada)	Viento
m/s	Nudos		
0,0-0,4	0,0-0,9	0	Calma
0,4-1,8	0,9-3,5	1	Ligero
1,8-3,6	3,5-7,0	2	
3,6-5,8	7-11	3	
5,8-8,5	11-17	4	Moderado
8,5-11	17-22	5	Fresco
11-14	22-28	6	Fuerte
14-17	28-34	7	
17-21	34-41	8	Temporal
21-25	41-48	9	
25-29	48-56	10	Fuerte
29-34	56-65	11	Temporal
>34	>65	12	Huracán

Fuente: (TORO, 2011)

2.2.10. Variabilidad de la velocidad del viento

La velocidad del viento está siempre fluctuando, por lo que el contenido energético del viento varía continuamente. De qué magnitud sea exactamente esa agitación depende tanto de las condiciones climáticas como de las condiciones de superficie locales y de los obstáculos. La producción de energía de una turbina eólica variará conforme varíe el viento, aunque las variaciones más rápidas serán hasta cierto punto compensadas por la

inercia del rotor de la turbina eólica. Variaciones diurnas (noche y día) del viento. (TORO, 2011)

En la mayoría de localizaciones del planeta el viento sopla fuerte en el día que durante la noche. Esta variación se debe a que las diferencias de temperatura, por ejemplo entre la superficie del mar y la superficie terrestre, son mayores en el día que en la noche. El viento presenta turbulencias y tiende a cambiar de dirección más rápidamente en el día que en la noche. Desde el punto de vista de los propietarios de aerogeneradores, el hecho de que la mayor parte de la energía eólica se produzca durante el día es una ventaja, ya que el consumo de energía entonces es mayor en las noches. Muchas compañías eléctricas pagan más por la electricidad producida en las horas picos de carga (cuando hay una falta de capacidad generadora barata). (TORO, 2011)

2.2.11. Rugosidad

En general, cuanto más pronunciada sea la rugosidad del terreno mayor será la ralentización que experimente el viento. Obviamente, los bosques y las grandes ciudades reducen la velocidad de viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos sólo lo disminuyen ligeramente. Las superficies de agua son incluso más lisas que las pistas de hormigón, y tendrán por tanto menos influencia sobre el viento, mientras que la hierba alta y los arbustos rompen el viento de forma considerable. Es un error habitual creer que, en el caso de acantilados y similares, uno puede añadir la altura del acantilado a la altura de la torre del aerogenerador para obtener su altura efectiva (cuando el viento viene del mar), Evidentemente esto no se puede hacer. El acantilado creará turbulencia, y frenará el viento antes incluso de que llegue al acantilado. Por tanto, la variable z en un perfil de velocidades es la altura desde la base del aerogenerador. En la industria eólica, la gente suele referirse a la clase longitud de rugosidad (z_0) cuando se trata de evaluar las

condiciones eólicas de un paisaje. Una alta clase de rugosidad 3 ó 4 se refiere a un paisaje con edificios y rascacielos, mientras que a la superficie del mar le corresponde una rugosidad de clase 0. Las pistas de hormigón de los aeropuertos pertenecen a la clase de rugosidad 0,5, al igual que el paisaje abierto y llano pacido por las ovejas. El término longitud se refiere a la máxima distancia sobre el nivel del suelo a la que teóricamente la velocidad del viento es nula. En la siguiente tabla pueden consultarse las rugosidades aproximadas correspondientes a distintos tipos de paisajes. (TORO, 2011)

Tabla 2.3: Rugosidad de la superficie en de velocidades de viento

Tabla de clase y longitudes de rugosidad			
Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad Z_0 (m)	Índice de energía (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua
0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, por ejemplo pista de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Area agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colina suavemente redondeada.
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos reguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m.
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos reguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos reguardantes de 8 metros de altura con una distancia de 250m.
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con mucho o altos setos reguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual.
3,5	0,8	18	Ciudades más grandes con edificios altos
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.
Definiciones de acuerdo con el Atlas Eólico Europeo, WAsP			

Fuente: (TORO, 2011)

2.2.12. Parques eólicos

La idoneidad de una ubicación para la implantación de un parque eólico está matizada por una serie de factores que no sólo tienen que ver con las condiciones del potencial eólico del lugar. Los factores constructivos de accesibilidad y medioambientales influyen decisivamente sobre la viabilidad y, por ende, la rentabilidad de la inversión.

2.2.12.1. Variables a considerar para la instalación de parques eólicos

Para evaluar la viabilidad del uso del viento como fuente de energía, es necesario conocer las características del mismo. Dada su variabilidad y aleatoriedad deben aplicarse técnicas estadísticas para su análisis.

En el caso de esta investigación, una vez levantada la base de datos con la información proporcionada, los datos serán procesados en términos de estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central para determinar los valores promedio y la desviación estándar por año tanto de la velocidad del viento como de su dirección. Para todos los cálculos se utilizará el software estadístico SPSS 22.0 y Excel 2013.

2.2.12.2. Proceso de caracterización del viento

Intervienen los siguientes aspectos:

- Procedimiento de toma de datos
- Técnica de medición
- Métodos de tratamiento de datos

2.2.13. Distribución de Weibull

Los cambios continuos en los datos de velocidades de vientos, se debe considerar representar de forma estadística, para luego establecer un modelo de frecuencias con las velocidades de viento y que contengan una función matemática. La función para describir la distribución de velocidades puede ser de Weibull y Rayleigh, Weibull está conformada por las variables “C” de escala y “k” constante de forma, la distribución de Rayleigh es de un solo parámetro, esto hace que Weibull sea de mayor utilización para obtener modelos matemáticos.

2.2.14. Rosa de los vientos

Para elaborar la rosa de los vientos se utilizó el software WRPLOT View TM, para esto se necesitan las variables de velocidades y dirección de viento como también conocer el punto exacto donde se encuentra la estación a representar, este es un programa de libre distribución para Windows.

2.2.15. Recursos eólicos

En general, la evaluación de los recursos eólicos de un lugar, presenta los siguientes problemas:

-La necesidad de disponer de medidas de velocidad y dirección del viento durante un período de tiempo suficientemente representativo. Para esta investigación se debe disponer de un historial mínimo de tres años en todas las estaciones de monitoreo, para evaluar el potencial eólico de cada estación. (Figuroa Diego David, 2005)

-La variabilidad y aleatoriedad del viento.

-La necesaria extrapolación para las diferentes alturas respecto al nivel del suelo de las medidas tomadas a una altura determinada (generalmente 10 m).

Como toda actividad humana, el uso de la energía eólica comporta un impacto medioambiental, en aspectos positivos como negativos, y por tanto debemos aprovechar los aspectos positivos y usar medidas correctoras que minimicen los aspectos negativos.

-Es una fuente de energía renovable, su uso ahorra recursos energéticos no renovables, como son: Carbón, Petróleo, Gas natural o Uranio.

-Es una fuente de energía distribuida por todo el globo terrestre, por lo que a diferencia de otros recursos que están concentrados en unos lugares determinados, la energía eólica está a disposición de muchos países.

-Es una fuente de energía que no emite gases contaminantes, locales, transfronterizos, Así no se presenta emisión de gases invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno), gases destructores de la capa de ozono, gases acidificantes de la atmósfera (óxidos de azufre y nitrógeno), residuos sólidos ni líquidos que tanto por su cantidad como calidad puedan ser agentes contaminantes. Por ello la energía eólica puede calificarse como una energía limpia. (Figueroa Diego David, 2005)

2.2.16. Parámetros económicos en un proyecto eólico

El objeto fundamental consiste en dar una descripción de aquellos parámetros que, de una manera directa o indirecta, tienen una incidencia económica sobre la viabilidad de un proyecto eólico. Estos parámetros se han agrupado no sólo en los aspectos técnicos, relacionados con el recurso eólico y la turbina, sino también en otros que pueden tener una gran relevancia en el coste y desarrollo del proyecto. Estos aspectos son los referidos al emplazamiento, restricciones medioambientales, de tramitación, de financiación, de

explotación y mantenimiento. Aunque inicialmente no puedan parecer tan críticos como los dos citados anteriormente, pueden variar sustancialmente el grado de viabilidad de proyecto. (Marcos A., 2015)

- Aspectos relacionados con el recurso eólico

Velocidad media anual.

Distribución del viento.

Perfil vertical de la velocidad del viento.

Anemometría medida de la velocidad del viento.

Turbulencia y rafagosidad.

Técnica de modelización.

- Aspectos relacionados con la turbina

Elección del diámetro óptimo.

Operación a velocidad variable.

Altura del buje de la turbina.

Aspectos relacionados con el emplazamiento.

Accesos.

Configuración del terreno.

Conexión a la red.

Aspectos medioambientales.

Restricciones en zonas sensibles.

2.2.17. Componentes de un sistema de generación eólico

Rotor.

El rotor es todo el conjunto de elementos de la turbina eólica que gira por delante y fuera de la góndola. El más adecuado para producir energía eléctrica es el rotor tipo hélice. El rotor convierte la energía del viento en rotación y, por lo tanto, es el motor. En este trabajo se presenta la estructura de un rotor, se explica su operación y se comentan los elementos de control implícitos en él. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñoz, 1995)

Álabes.

Conocidos también como aspas o palas, los álabes son una parte imprescindible y fundamental en una turbina eólica. Realizan varias tareas y deben resistir grandes cargas. Los álabes toman la energía del viento, la capturan y la convierten en rotación en el buje. El perfil aerodinámico de los álabes es similar al perfil del ala de un avión. Los álabes emplean el mismo principio de la fuerza de empuje que actúa por la parte de abajo del ala. El aire produce una sobrepresión en la parte inferior y un vacío en la parte superior. Esta provoca una fuerza de empuje que hace que el rotor rote. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñoz, 1995)

Número de álabes.

Actualmente la mayoría de los rotores tienen tres álabes, son de eje horizontal. Además de los bien conocidos rotores de tres aspas, existen los de dos aspas o bipalas y de una

sola pala, además de los multipalas empleados fundamentalmente en los pequeños aerogeneradores y en los molinos de viento para el bombeo de agua.

En el tiempo se ha demostrado que los rotores de tres palas son más eficientes en lo que respecta a la producción de energía en las grandes turbinas eólicas. Además, estos rotores permiten una distribución de masa más adecuada, lo que hace que la rotación sea más suave y tenga una apariencia de más tranquilidad visual. En definitiva, los rotores tripalas son los que se han impuesto por las razones anteriores. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

Materiales.

Uno de los aspectos más importantes en la exitosa fabricación de los álabes es la elección del material a emplear para su producción. Su vida útil depende, en gran medida, del material de que está fabricado.

Tradicionalmente, los materiales utilizados en la fabricación de palas han sido la madera, el acero, el aluminio y en los últimos años los materiales compuestos: poliéster o resina epóxica reforzado con fibra de vidrio o fibra de carbón. La madera sola o su combinación con resina epóxica es cada vez menos usada en la fabricación de aspas. Los álabes de aluminio y las aleaciones de acero son pesados y vulnerables a la fatiga. Estos materiales son, por lo tanto, generalmente solo usados en turbinas muy pequeñas. Los álabes deben ser de bajo peso y tener un comportamiento mecánico adecuado durante su vida útil y los materiales compuestos son los que cumplen todos estos requisitos, por eso se han impuesto. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

Diseño y perfil.

El diseño de un rotor de una turbina eólica se basa en el principio de definir la geometría más adecuada de los álabes para alcanzar el comportamiento deseado. Las aspas deben ser además fáciles de fabricar y tener una adecuada resistencia estructural, para resistir las altas cargas a que van a estar sometidas. El tipo de perfil aerodinámico es uno de los parámetros de diseño más importantes en el funcionamiento de las turbinas eólicas fabricadas para girar a alta velocidad.

Cada fabricante tiene su propio principio de diseño y lleva a cabo investigaciones para mejorar las características aerodinámicas de sus álabes.

Los perfiles que se emplean usualmente son los mismos que se utilizan en la industria aeronáutica. Cada aspa tiene su geometría particular y son diferentes unas de otras según el fabricante. La potencia desarrollada por una turbina depende en gran medida de la geometría de sus álabes. En general, su fabricación se asemeja a la del ala de un avión. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

Buje.

El buje es el componente del rotor que une las palas con el sistema de rotación y constituye el centro del rotor, al cual se fijan los álabes. El buje se fabrica de hierro o acero fundidos.

El buje transmite la energía desde el rotor hasta el generador. Si la turbina eólica posee caja multiplicadora, el buje se conecta al árbol de baja velocidad de la caja multiplicadora, convirtiendo la energía del viento en energía rotacional. Si la turbina es de conexión directa, el buje transmite la energía directamente al generador.

El buje puede ser de tipo rígido o basculante. En el buje rígido el conjunto de álabes se atornilla al buje y este se fija rígidamente al eje de giro. Se usa más en los rotores de tres palas, en los que el rotor está mejor equilibrado. Los bujes basculantes se emplean para reducir las cargas que se producen sobre el buje. Este tipo de buje se emplea mayoritariamente en los rotores bipalas, ya que el pivoteo hace que se equilibren las cargas en cada revolución. La mayoría de los fabricantes usan el buje rígido; esto lo hace más resistente, reduce el número de componentes móviles que pueden fallar y es relativamente fácil de construir. (ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI, GUILLERMO RAMOS MARIÑO, & VÍCTOR CALDERÓN MOTTA, 2007)

Regulación de potencia.

El sistema de regulación de potencia se encuentra insertado en el rotor y en particular en sus álabes. La potencia que una turbina eólica absorbe tiene que ser controlada. Si el viento es muy fuerte, la potencia es reducida para prevenir daños al sistema. Esta regulación se realiza en el rotor. Básicamente, hay dos principios de regulación de potencia.

Regulación por entrada en pérdida aerodinámica pasiva (regulación por separación del flujo). Se conoce también como sistema de control de pérdidas por su procedencia. En este caso los álabes están rígidamente fijados al buje y no cambian su ángulo de posición. Cuando el viento es demasiado fuerte el generador asincrónico limita la generación de potencia automáticamente. Su velocidad de rotación es restringida por la frecuencia de la red eléctrica, de esta forma el rotor no puede girar más rápido cuando la velocidad es más fuerte. En este concepto, los álabes del rotor se diseñan para que ocurra la separación del flujo a una cierta velocidad del viento (stall), reduciéndose la potencia. En este caso se le llama regulación por entrada en pérdida pasiva (passive stall, en inglés).

Cuando el viento alcanza la velocidad máxima de diseño, la automática del aerogenerador procederá a frenar la turbina, haciendo rotar por un mecanismo especial los extremos de las palas, conocido por freno aerodinámico, y provoca un fuerte frenado aerodinámico. Una vez que la velocidad de la turbina se ha reducido en grado suficiente, se completa su frenado hasta la parada e inmovilización, aplicando un freno mecánico de disco que forma parte del tren de fuerza del aerogenerador. (ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI et al., 2007)

Regulación por cambio de paso del álabe.

Se entiende por paso el ángulo de posición de la pala. Este concepto de control se desarrolló entre 1990 y 2000, posterior al sistema danés anterior. En este caso, cada álabe individualmente puede girar sobre su eje. El accionamiento que ajusta el paso puede ser mecánico (en los sistemas de menos de 100 kW), hidráulico (más de 300 kW) o eléctrico (es el más común, especialmente para las grandes turbinas mayores de 500 kW). (ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI et al., 2007)

Un sistema de control monitorea la potencia que entrega la turbina. Si el viento es demasiado fuerte, los álabes se hacen girar contrario a la dirección del viento, generalmente algunas fracciones de grado. Esto reduce la sustentación o empuje, de forma que el rotor continúa generando su potencia nominal aunque las velocidades del viento aumenten.

Existe también la regulación por entrada en pérdida activa o active stall, que es una combinación de los dos métodos anteriores, pues se trata de una turbina diseñada para regulación por entrada en pérdida, pero dotada de paso variable. Este último control es usado principalmente en las grandes turbinas mayores que 1 MW. El active stall permite

que la potencia sea regulada con más precisión que en la regulación por pérdida pasiva.
(ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI et al., 2007)

Generador.

El generador convierte el movimiento de rotación de las palas de la turbina eólica en electricidad. El generador puede producir corriente alterna (AC) o corriente continua (DC), y existe en un amplio rango de potencias disponibles. La categoría o magnitud del generador depende de la longitud de las palas de la turbina eólica: cuanto más largas sean las palas, más energía se genera. (ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI et al., 2007)

Caja de cambios.

Muchas turbinas (particularmente aquellas por encima de los 10 kW) usan una caja multiplicadora de velocidad de giro para adaptar la velocidad del rotor a una velocidad adecuada para el generador.

Góndola.

La góndola es el recinto que protege la caja multiplicadora, el generador y otros componentes de los elementos. La góndola se puede retirar para operaciones de mantenimiento.

Sistema de orientación.

El sistema de orientación alinea la turbina eólica con el viento. La mayoría de las pequeñas unidades usan una simple cola que dirige el rotor hacia el viento. Existen ciertos mecanismos especiales para desorientar la turbina en caso de vientos peligrosamente elevados. (ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI et al., 2007)

Torre.

La torre sostiene la turbina y es, por lo tanto, una parte integrante del sistema de energía eólica. Las torres deben ser capaces de resistir rayos, vientos extremos, granizo, y formación de hielo. Como el viento se vuelve menos turbulento e incrementa su velocidad con la altura respecto al suelo, y la producción de potencia se incrementa sustancialmente con la velocidad del viento, incrementar la altura de la torre de 10 a 50 metros puede duplicar la energía del viento disponible.

2.2.18. Sistemas de protección y control.

Los sistemas de control abarcan desde interruptores, fusibles y reguladores de la carga de baterías hasta sistemas computarizados de control de sistemas de orientación. La sofisticación de los sistemas de control y protección varía dependiendo de la aplicación de la turbina eólica y del sistema de energía que soporta. (Rodríguez Rodríguez & Mendez Muñiz, 1995)

En general, los aerogeneradores modernos de eje horizontal se diseñan para trabajar con velocidades del viento que varían entre 2 y 25 m/s de promedio. La primera es la llamada velocidad de conexión y la segunda la velocidad de corte. Básicamente, el aerogenerador comienza produciendo energía eléctrica cuando la velocidad del viento supera la velocidad de conexión y, a medida que la velocidad del viento aumenta, la potencia generada es mayor, siguiendo la llamada curva de potencia.

Las aspas disponen de un sistema de control de forma que su ángulo de ataque varía en función de la velocidad del viento. Esto permite controlar la velocidad de rotación para conseguir una velocidad de rotación fija con distintas condiciones de viento.

Asimismo, es necesario un sistema de control de las velocidades de rotación para que, en caso de vientos excesivamente fuertes, que podrían poner en peligro la instalación, haga girar a las aspas de la hélice de tal forma que éstas presenten la mínima oposición al viento, con lo que la hélice se detendría.

Para aerogeneradores de gran potencia, algunos tipos de sistemas pasivos, utilizan características aerodinámicas de las aspas que hacen que aún en condiciones de vientos muy fuertes el rotor se detenga. Esto se debe a que él mismo entra en un régimen llamado "pérdida aerodinámica".

2.2.19. Perspectiva a nivel mundial de la energía eólica

Según un estudio dirigido en 2009 por Michael B. McElroy, profesor de estudios ambientales en la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de Harvard, una instalación adecuada de aerogeneradores en todo el mundo podría suministrar una cantidad de energía 40 veces superior a la demanda global. Su cálculo consideraba la construcción de parques eólicos en regiones del planeta donde no causarían perjuicio ecológico. Suponía, además, que los aerogeneradores serían de tamaño mediano (con una potencia nominal de 2,5 megavatios) y que se encontrarían detenidos el 80 por ciento del tiempo. Hoy han desarrollado un prototipo de aerogenerador off-shore de 9 MW de potencia, instalado en las costas danesas, capaz de producir en tan solo 24 horas una cantidad de energía equivalente a lo que consumiría un hogar en Estados Unidos durante dos décadas. Está principalmente diseñado para velocidades de viento entre 12 y 25 metros por segundo. Para los próximos años, los planes de la estadounidense General Electric incluyen la construcción de una turbina con componentes superconductores cuya potencia ascendería a entre 10 y 15 megavatios. Y aunque es cierto que las instalaciones eólicas permanecen inactivas la mayor parte del tiempo (en ocasiones, la tasa de utilización no llega al 20 por

ciento), se trata, en cualquier caso, de un recurso energético cuyas reservas son inagotables. (Investigación Y ciencia, 2012)(RENOVABLESVERDES de BEZZIA, 2017)

Las energías renovables convencionales y no convencionales representan un porcentaje bajo en la matriz energética del mundo. La preocupación por tener una atmósfera limpia de contaminación es cada vez mayor, sin embargo, a pesar de que el petróleo al quemarlo emite contaminantes a la atmósfera, seguirá siendo por mucho tiempo el principal elemento utilizado para obtener calor para distintas actividades y energía eléctrica. También el uso de otros combustibles como el carbón y el gas seguirán en uso masivo en algunos países durante varios años y décadas. Ya son bastantes los países desarrollados y en vías de desarrollo que desde hace pocas décadas han estado avanzando formalmente en el empleo de energías renovables, como lo es el viento para producir energía eléctrica. (Ruedas, 2011)

Las turbinas eólicas han experimentado durante los últimos 20 años un desarrollo significativo. Se han mejorado los rendimientos, ha aumentado la confiabilidad y se han reducido los costos. El único punto sobre el que quedan algunas dudas es la durabilidad. Si bien en los cálculos se acostumbra tomar 20 años de vida útil, por el momento, ninguna de las máquinas actualmente en operación ha alcanzado ese tope. La energía eólica puede competir, si las condiciones son adecuadas, con los sistemas convencionales de generación. Sus limitantes más importantes son, quizás, el desconocimiento que muchos tienen de esta realidad y la falta de incentivos para la realización de inversiones en el sector. (Moragues & Rapallini, 2003)

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis Nula H0

El potencial eólico de la zona no permite la instalación de un mini parque eólico.

2.3.2. Hipótesis Alternativa Ha

El potencial eólico de la zona permite la instalación de un mini parque eólico.

2.4. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 2.4: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independientes		
1.- Velocidad del viento.	m/s	Metros por segundo
2.- Densidad.	Kg/m ³	Kilogramo por metro cubico
3.- Temperatura.		
Dependientes		
1.- Potencial eólico de la zona estudiada.	Watts	1 Joule por tiempo
2.- Localización.	m.s.n.m.	Coordenadas geográficas
3.- Altura de torre.	m	Metros

CAPITULO III

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo experimental, porque se manipulan intencionalmente las variables. Las variables manipuladas son: Posición geográfica de los datos y altitud de medición de datos. En respuesta se obtuvieron distintos valores para la velocidad y dirección del viento. De acuerdo al manejo de la información la investigación es cuantitativa, dado que se tiene datos de velocidad del viento en m/s y a partir de ello se determinará el potencial eólico en el Sector de Ventilla (Alto Puno) del distrito de Puno.

Para lograr una buena revisión bibliográfica y obtener la mayor cantidad de información necesaria para el desarrollo de esta investigación, se usará el método semiempírico, ya que será necesario analizar la trayectoria de las distintas etapas por las que han ido atravesando, para una evaluación de los datos.

La investigación tendrá un diseño de campo, puesto que todos los datos son obtenidos del mismo lugar donde fueron medidos a nivel de ciudad. Será además de diseño transversal, porque estará definida en el tiempo y es retrospectiva, porque se utilizaron datos de años anteriores.

Se aplicará el Método científico, que consiste en identificar un problema, ubicarlo en su contexto teórico, plantear un supuesto o hipótesis y contrastarla, para establecer las correspondientes conclusiones respectivas.

3.2. LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación abarca el estudio de los datos obtenidos de: (Senamhi, tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE

GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EOLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015” y Atlas eólico del Perú), para obtener información sobre la velocidad y dirección del viento de cada propósito, y con esa información estimar la energía eólica disponible mediante la aplicación del método de distribución de Weibull y determinar si su potencial es suficiente para la construcción de un mini parque eólico.

La obtención de todos los datos fue según al año de publicación pero en el caso de Senamhi se recopilarán datos desde hace 4 años atrás.

La información de tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015”, La técnica que utilizaron fue la toma de datos del lugar, sector Ventilla (Alto Puno), datos tomados a 6m, La recolección de datos lo realizaron en formatos, el cual está en un formato Excel, tomaron 61 datos de la ubicación geográfica, los cuales fueron registrados en un intervalo de 10 minutos, empezando a las 8:00 a.m. y culminando a las 6:00 p.m.(ISIDRO & VALDIVIA, 2017).

Los datos de Atlas eólico son mensualmente a 10m, 25m, 75m, 100m, 125m, año 2016. Para efectos de simplificación se trabajará con promedios por hora y mes a 10m.

3.3. POBLACIÓN

Senamhi. Anexos

tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015”. Anexos

Atlas eólico del Perú. Anexos

3.4. MUESTRA

Para efectos de los cálculos de la distribución de Weibull, se trabajó con la mayor cantidad de datos posibles recolectados, por esta razón no se extrajo muestra y se prefirió trabajar con toda la población.

3.5. TÉCNICAS Y EQUIPOS

La técnica utilizada fue la del fichaje que consiste en recopilar información secundaria ya existente sobre la velocidad y dirección del viento, la misma que fue proporcionada por Senamhi, tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015” y Atlas eólico del Perú.

El instrumento utilizado fue una ficha de recolección de datos en la misma que se registró el nombre de cada información, el año, mes, día y hora de la toma de cada dato, la velocidad del viento y la dirección del viento.

El procesamiento de la información y con el fin de alcanzar lo deseado se desarrolló por parte, las mismas que se detallan en breve:

- Recabar información de los años de registro de monitoreo (Senamhi, tesis “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015” (ISIDRO & VALDIVIA, 2017) y Atlas eólico del Perú), solo parámetros de interés.
- Identificar y seleccionar los datos de control sobre velocidad del viento y dirección del viento.

- Trasladar datos a mapas georreferenciados en el sistema.
- Analizar estadísticamente los datos y obtener los resultados deseados.
- Estimar mediante el levantamiento de información de la velocidad y dirección del viento, el potencial de la energía eólica en el área de estudio, sector Ventilla (Alto Puno), con el fin de definir sobre su potencialidad, para la viabilidad de un mini parque eólico.

3.6. RECURSO EÓLICO

En este punto del proyecto se analiza el diseño de la instalación, según las características del recurso eólico disponible.

3.6.1. Emplazamiento

3.6.1.1. Ubicación y descripción de la zona

El parque eólico objeto del proyecto se encuentra situado en el distrito de Puno, Provincia de Puno, Departamento de Puno.

El emplazamiento exacto es Ventilla (Alto Puno), El terreno, se caracteriza por una elevación, cuya cota de mayor altitud es Montoso (4000 m.s.n.m.).

El clima de Puno varía entre frío y cálido, la temperatura promedio máxima es de 22°C y la mínima de 1,4°C. Las precipitaciones pluviales en el altiplano obedecen a una periodicidad anual de cuatro meses (diciembre a marzo), el suelo está formado a partir de materiales derivados de la alteración in situ de rocas sedimentarias (areniscas, calizas, margas), (Puno, 2005).

3.6.1.2. Elección del emplazamiento

Para elegir el emplazamiento para la construcción y explotación de un mini parque eólico, es necesario que se cumplan las siguientes características:

- La velocidad media del viento en el emplazamiento sea superior a 2 m/s el cual es el mínimo que hace rentable la instalación. El emplazamiento del proyecto tiene una velocidad promedio anual de 8 m/s.
- Respecto a la dirección del viento. Los mejores emplazamientos son aquellos que son perpendiculares a la dirección del viento, en nuestro caso la dirección del viento predominante es WNW (Oeste Noroeste).
- No utilizar un emplazamiento situado en áreas de especial interés medioambiental, existiendo problemas para el desarrollo del proyecto.

3.6.1.3. Accesos al parque

Carretera, la cual comunica con el camino de acceso al emplazamiento.

Camino, este camino deberá ser mejorado para facilitar el acceso de los transportes especiales que llevarán los componentes necesarios para el montaje de las partes de los aerogeneradores.

3.6.2. Atlas eólico del Perú

El Atlas Eólico es un documento que presenta la metodología utilizada para la elaboración del Atlas Eólico del Perú, así como la validación y evaluación del potencial eólico del Perú, además incluye una serie de mapas que muestran el potencial del recurso eólico a nivel nacional a diferentes alturas. (VORTEX FACTORIA DE CALCULS, 2016)

Del Atlas eólico utilizaremos la siguiente información:

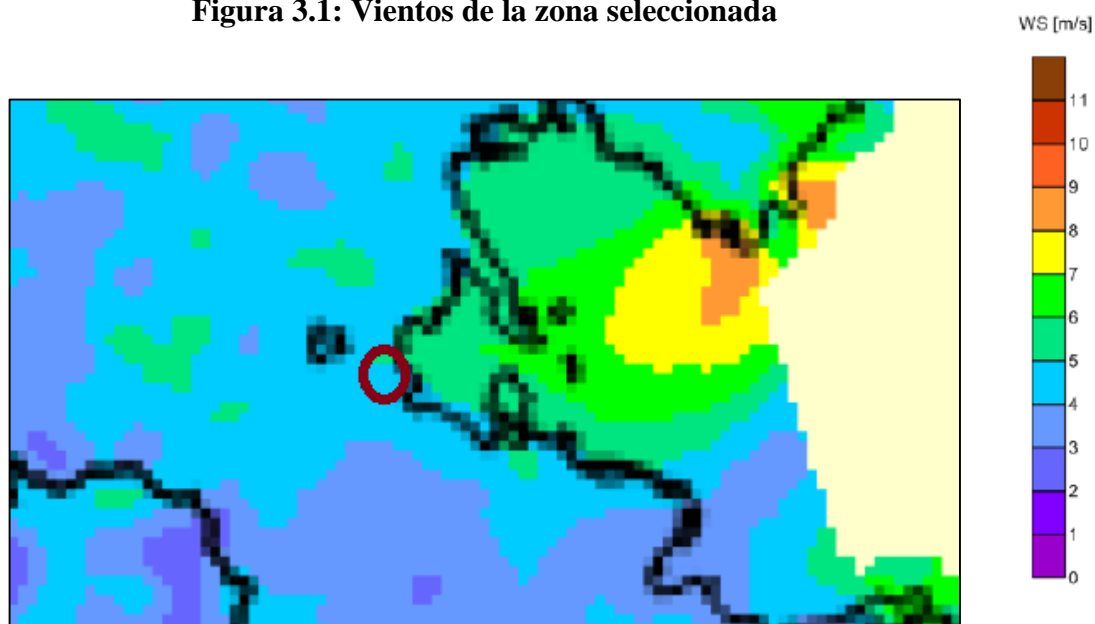
- Coordenadas UTM

- Rugosidad
- Velocidad media anual a 10 metros
- Parámetros Weibull a 10 metros.

3.6.2.1. Velocidades del viento

Para la realización del estudio de recurso eólico disponible se han utilizado los datos disponibles en el Atlas eólico de la velocidad media anual a 10 metros que es de 4 – 5m/s.

Figura 3.1: Vientos de la zona seleccionada



Fuente: (VORTEX FACTORIA DE CALCULS, 2016)

En el estudio para la elección del emplazamiento, se distingue.

Figura 3.2: Rugosidad de la zona

Fuente: (VORTEX FACTORIA DE CALCULS, 2016)

Al observar ambos mapas se pueden elegir las zonas de mayor rendimiento para la construcción del mini parque eólico, estas zonas deberán tener la mayor velocidad y la menor rugosidad.

3.6.3. Densidad de potencia eólica

La energía del viento es energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2 \quad (3.1)$$

Siendo:

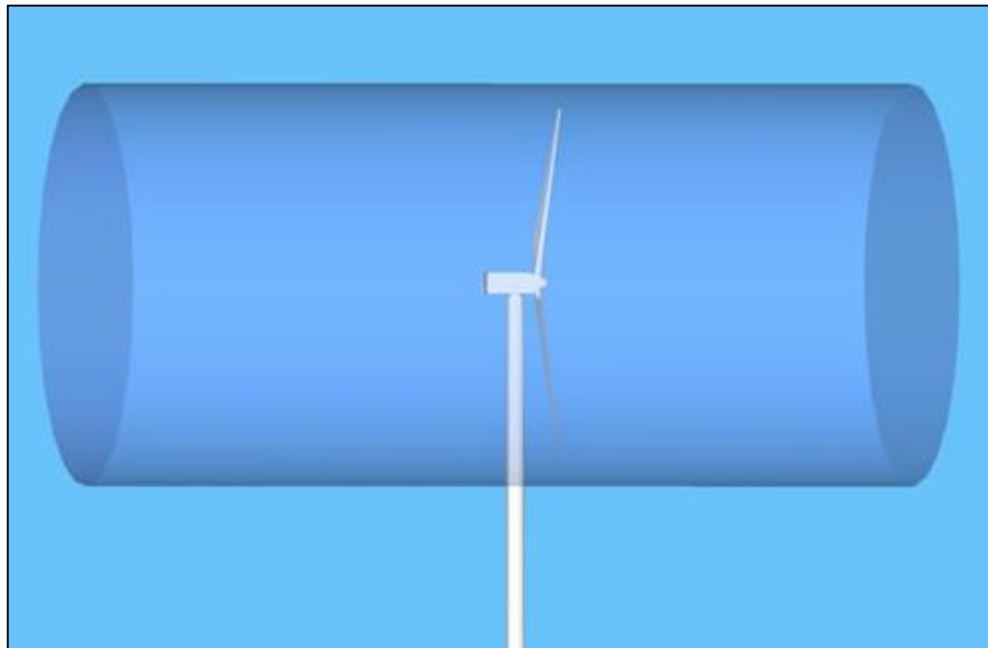
E_c : Energía cinética [J]

m : masa [kg]

v : velocidad [m/s]

La masa de aire que atraviesa por la superficie de las palas del aerogenerador en un tiempo t , se determina calculando el volumen y midiendo la densidad del aire en el emplazamiento seleccionado.

Figura 3.3: Densidad de potencia eólica



Fuente: (“Energía eólica: densidad del aire y área del rotor,” n.d.)

En la figura (3.3) el volumen es el contenido del cilindro, siendo la base la superficie de las aspas, y la altura del cilindro es el producto de la velocidad del aire por el tiempo:

$$V = S * (v * t) \quad (3.2)$$

Siendo:

V: volumen [m³]

S: superficie [m²]

v: velocidad viento [m/s]

t: tiempo [s]

La masa de aire que pasa en un tiempo “t” será producto de la densidad por el volumen que pasa en ese tiempo:

$$m = \delta * V \quad (3.3)$$

Siendo:

m: masa [kg]

δ : densidad [kg/m³]

V: volumen [m³]

Sustituyendo en la ecuación de la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2 = \frac{1}{2} * (\delta * V) * v^2 = \frac{1}{2} * \delta (S * v * t) * v^2 = \frac{1}{2} * \delta * S * v^3 * t$$

$$E_c = \frac{1}{2} * \delta * S * v^3 * t \quad (3.4)$$

Siendo:

E_c: energía cinética [J]

m: masa [kg]

v: velocidad viento [m/s]

δ : densidad [kg/m³]

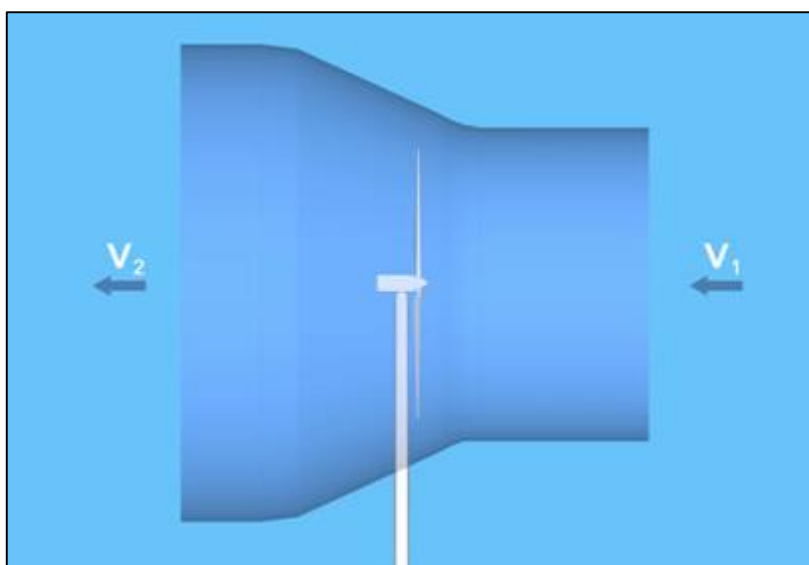
V: volumen [m³]

S: superficie [m²]

t: tiempo [s]

La potencia es el trabajo realizado por unidad de tiempo, utilizando la ecuación obtenida para la energía cinética del viento, se puede representar la potencia desarrollada por el viento:

Figura 3.4: Desviación del viento



Fuente: (“Energía eólica: densidad del aire y área del rotor,” n.d.)

$$P = \frac{Ec}{t} = \frac{\frac{1}{2} * \delta * S * v^3 * t}{t} = \frac{1}{2} * \delta * S * v^3 = \frac{1}{2} * \delta * \pi * r^2 * v^3$$

$$P = \frac{1}{2} * \delta * (\pi * r^2) * v^3 \quad (3.5)$$

Siendo:

P: potencia [W]

Ec: energía cinética [J]

t: tiempo [s]

δ : densidad [kg/m³]

S: superficie [m²]

v: velocidad del viento [m/s]

r: radio [m]

Dividiendo la ecuación por el área de barrido del rotor se obtiene la densidad de potencia eólica:

$$\text{Densidad de potencia eólica} = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} * \delta * v^3 \quad (3.6)$$

La potencia eólica media se obtiene de la velocidad media del viento:

$$Pd = \frac{1}{2} * \delta * A * v^3 \quad (3.7)$$

El cálculo de potencia eólica también se puede realizar multiplicando la potencia disponible por cada velocidad obtenida a partir de la distribución de Weibull.

La densidad de potencia es la cantidad de potencia eólica por metro cuadrado en un punto determinado. A partir de esta se puede conocer la cantidad de potencia convertible en potencia mecánica (Ley de Betz) y la potencia eléctrica que producirá el aerogenerador. Teniendo en cuenta la altura del buje del aerogenerador.

3.6.4. Rugosidad del terreno

Para grandes alturas de la superficie del suelo la rugosidad no ejerce influencia sobre el viento. Aunque en alturas más bajas la velocidad del viento se ve afectada por los obstáculos de la superficie terrestre.

3.6.4.1. Rugosidad

A mayor rugosidad del terreno menor será la velocidad el viento. En este caso en particular, la rugosidad que presenta el terreno es baja, debido a que los aerogeneradores estarán situados en la parte alta de una montaña.

La longitud de rugosidad tiene influencia sobre los efectos del parque. En el efecto estela produce la generación de turbulencias. En el efecto abrigo, cuanto mayor es la rugosidad mayor es la influencia del abrigo.

3.6.5. Perfil de viento

La velocidad del viento varía según la altura por la influencia de la rugosidad del terreno, llamado ecuación de Hellman, esta variación se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$V_2 = V_1 * \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^\alpha \quad (3.8)$$

V1: velocidad media del viento a la altura z1

V2: velocidad media del viento a la altura z2

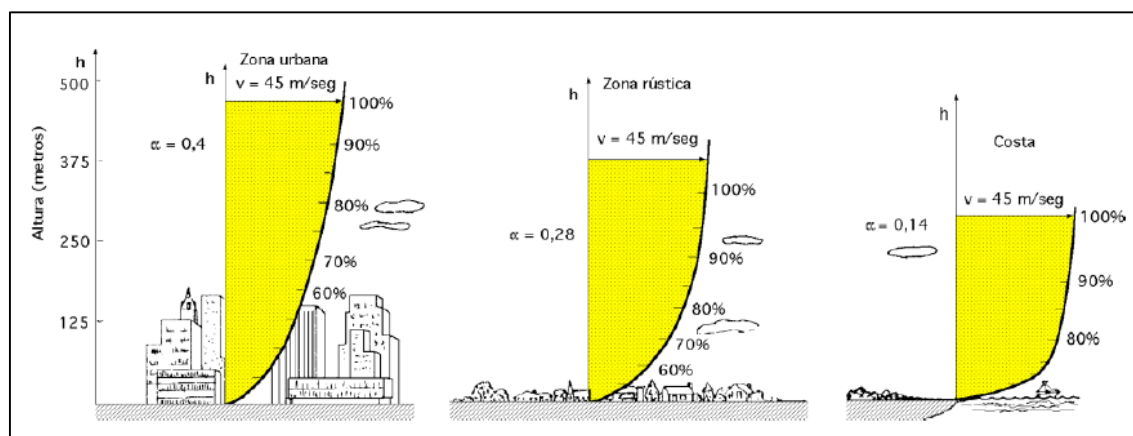
α : es el exponente de la rugosidad

Tabla 3.1: Valores típicos del parámetro α para diferentes terrenos

Terreno	Valor del exponente α
Lugares llanos con hielo o hierba	0.08 ÷ 0.12
Lugares llanos (mar, costa)	0.14
Terrenos poco accidentados	0.13 ÷ 0.16
Zonas rústicas	0.2
Terrenos poco accidentados o bosques	0.2 ÷ 0.26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0.25 ÷ 0.4

Fuente: (“Caracterización del viento,” 2004)

Figura 3.5: Perfiles de la velocidad del viento según el emplazamiento



Fuente: (“Caracterización del viento,” 2004)

3.6.6. Cizallamiento del viento

El perfil del viento se mueve a velocidades menores a medida que nos acercamos al suelo, este fenómeno se llama cizallamiento del viento. El cizallamiento también puede ser importante en el diseño de aerogeneradores, siendo asimétrica la distribución de esfuerzos en el rotor, presentando mayores cargas las zonas superiores donde las velocidades suelen aumentar.

Este fenómeno es muy influyente en el cálculo de la energía producida por el aerogenerador, ya que a pequeñas variaciones de velocidad se experimentan grandes variaciones debido a que la potencia eólica se calcula con la velocidad al cubo.

3.7. Elección de aerogenerador

3.7.1. Tipo de aerogenerador

Para elegir el tipo de aerogenerador se calcula que tipo de aerogenerador es necesario según la velocidad del viento del emplazamiento. El tipo de aerogenerador es

seleccionado en función de la velocidad de referencia en la ubicación del mini parque eólico.

La velocidad media anual a 15 m en el emplazamiento seleccionado es de 8 m/s. Por lo tanto cualquier aerogenerador soportaría las ráfagas de viento del emplazamiento.

3.7.2. Modelo de aerogenerador seleccionado

El modelo seleccionado para el mini parque eólico pertenece a la empresa ENAIR ENERGY S.L. (España), aerogenerador de mini eólica E30PRO de 3 KW. Con las siguientes características:

-El eje es horizontal, paralelo al suelo por lo tanto la fuerza predominante es lateral. Cuenta con un sistema de orientación al viento predominante.

-La torre del aerogenerador es modular.

-Cuenta con un rotor tripala, por su momento de inercia las fuerzas se distribuyen y compensan mejor entre ellas, comparándolo con un rotor bipala, también se reduce la generación de ruido. Cuentan con mayor par de arranque y son más estables en la rotación para su orientación. Las palas del aerogenerador se fabrican con fibra de vidrio pre impregnado de resina de epoxi más fibra de carbono y de fibra de vidrio reforzada. Generando unas palas ligeras, rígidas y resistentes.

Las palas se ubican enfrentadas al viento, orientación a barlovento. Se minimiza el efecto sombra sobre el rotor, aparición de vibraciones y esfuerzos de fatiga.

-La tecnología de paso variable ayuda adaptar el ángulo de las palas para maximizar la energía obtenida y minimizar las cargas del aerogenerador. Permitiendo que las palas actúen como freno aerodinámico.

-Usa un generador alimentado.

CARACTERISTICAS DEL AEROGENERADOR E30PRO de 3 KW.

Voltaje : 24/48/220 v (+/- 5% ΔV)

Frecuencia : 60 Hz (+/- 2%)

Potencia : 3 000 W (efectiva)

Velocidad de arranque : 2 m/s

Velocidad de corte : 12 m/s

3.8. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos seleccionados serán analizados utilizando una hoja de Excel, estimando las velocidades diarias con respecto al día (30/07/2016), que tomaremos como base para el presente estudio, siendo la velocidad promedio de 5,556 m/s, a la altura de 6 m, y promediando con todos los días del mes de julio y con los días de los años 2014, 2015, 2016, 2017, (2018 hasta julio) y poder tener un promedio de velocidad.

$$V_{6m} = \left(\frac{V_a * 5.556}{V_{p.e.}} \right) \quad (3.9)$$

V_{6m} : Velocidad estimada a 6 metros.

$V_{p.e.}$: Velocidad promedio de día 30/07/2016 (registrado en Senamhi).

V_a : Velocidad promedio del siguiente a promediar a 6 metros (registrado en Senamhi).

Luego de tener listo todos los datos estimados a la altura de 6m, se aplica la fórmula de Hellman, la ecuación (8), con su respectivo exponente de Hellman (0,15) para una altura de 15 metros, para nuestro caso, y finalmente tener todos los datos estimados para calcular el potencial eólico.

3.9. DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para realizar el análisis descriptivo se hará el uso de:

- Registro temporal de velocidad de viento (fabricado)

- Potencia de salida que necesita del histograma de velocidades del viento o también llamado distribución de frecuencia de la velocidad de viento

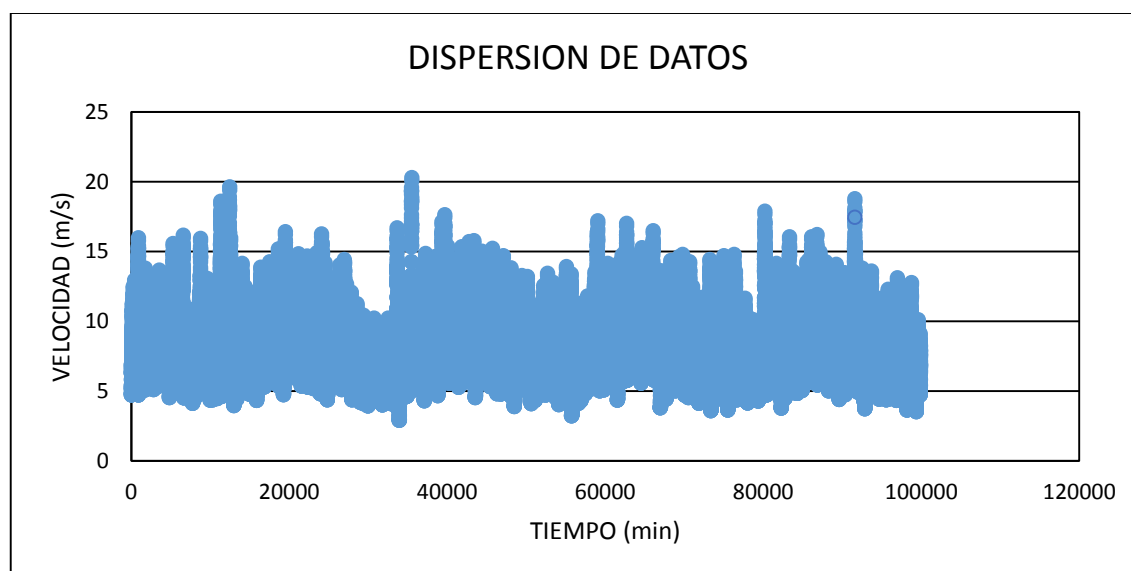
CAPITULO IV

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1.1. Evaluación de entrega de energía

En la figura (4.1) se observa la dispersión de datos de la velocidad del viento del sector de Ventilla (Alto Puno), que son 99 971, estimados cada 10 minutos en un rango de las 8:00 a.m. hasta las 18:00 p.m., de los años 2014, 2015, 2016, 2017, y 6 meses del año 2018. La variación de la velocidad mínima y máxima esta entre 2 m/s y 21 m/s.

Figura 4.1: Dispersión de datos seleccionados



Elaboración: propia

En la tabla (4.1) se muestra la frecuencia con la que se presentaron los distintos valores de velocidad. Para encontrar estos valores fue necesario establecer primero el rango de velocidades mínima y máxima, en base a ello establecer intervalos que agrupen a todos los límites inferiores y superiores con respecto al valor central. La velocidad que se presentó con mayor frecuencia esta entre 8 - 9 m/s con un porcentaje equivalente al 19,9%, seguido por la velocidad de 9 - 10 m/s con una frecuencia de 17,6% y la velocidad

7 – 8 m/s con una frecuencia de 17,4%. Las velocidades altas de 9,68 – 10,64 m/s tuvo una frecuencia relativa del 8,7% seguido por la velocidades de 12 m/s y 13 m/s con una frecuencia 4,6% y 2,4%, las velocidades de 14 m/s, 15 m/s tuvieron una frecuencia de 1% y 0,4%.

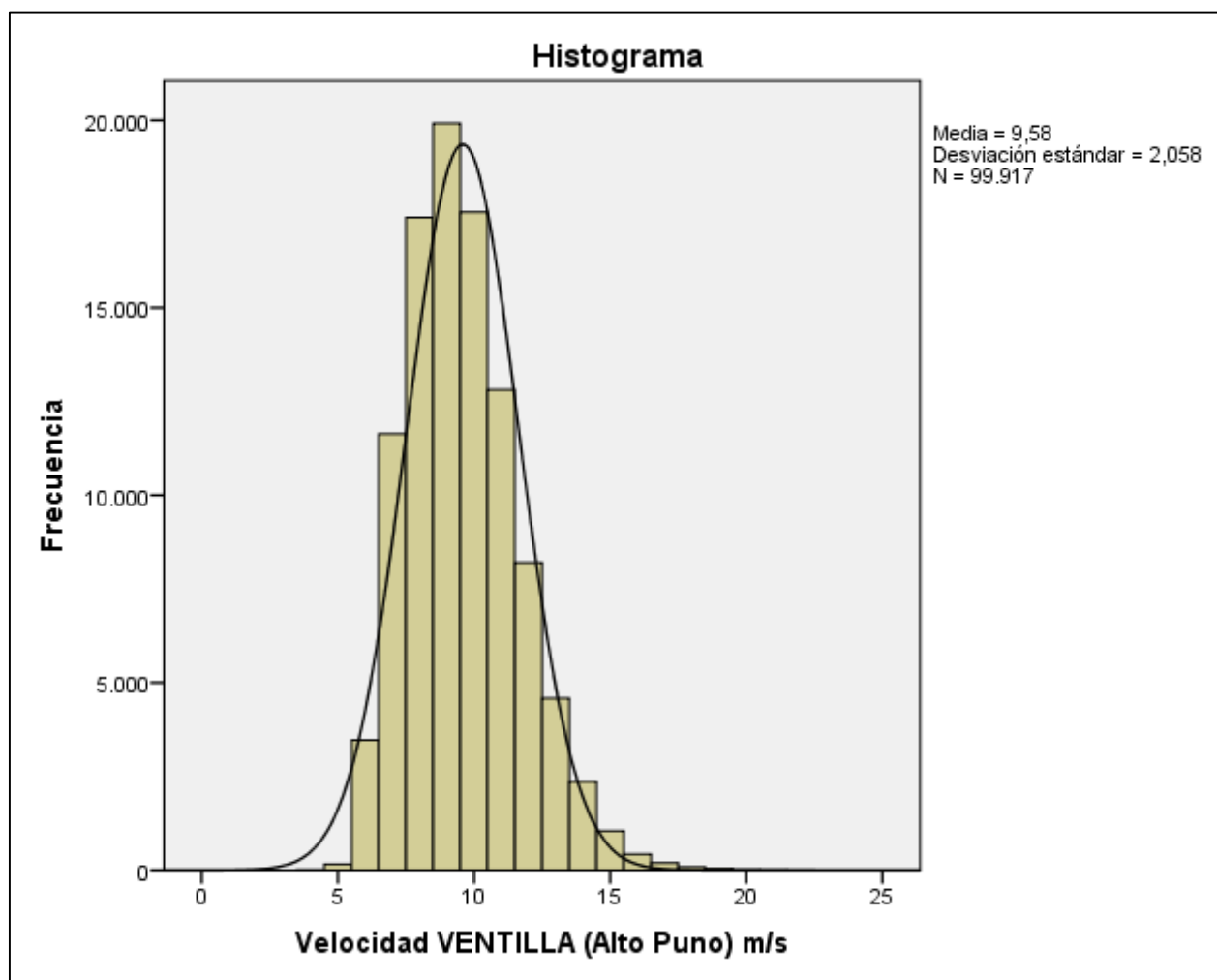
Tabla 4.1: Distribución de frecuencias de la velocidad Ventilla (Alto Puno)

Velocidad (m/s)	Intervalo	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
3	3-4	9	,0	,0	,0
4	4-5	162	,2	,2	,2
5	5-6	3466	3,5	3,5	3,6
6	6-7	11638	11,6	11,6	15,3
7	7-8	17409	17,4	17,4	32,7
8	8-9	19919	19,9	19,9	52,6
9	9-10	17546	17,6	17,6	70,2
10	10-11	12814	12,8	12,8	83,0
11	11-12	8202	8,2	8,2	91,2
12	12-13	4585	4,6	4,6	95,8
13	13-14	2362	2,4	2,4	98,2
14	14-15	1044	1,0	1,0	99,2
15	15-16	424	,4	,4	99,7
16	16-17	193	,2	,2	99,9
17	17-18	78	,1	,1	99,9

18	18-19	40	,0	,0	100,0
19	19-20	17	,0	,0	100,0
20	20-21	7	,0	,0	100,0
21	21-22	2	,0	,0	100,0
	Total	99917	100.0	100.0	

Elaboración: propia. (IBM SPSS Statistics 22)

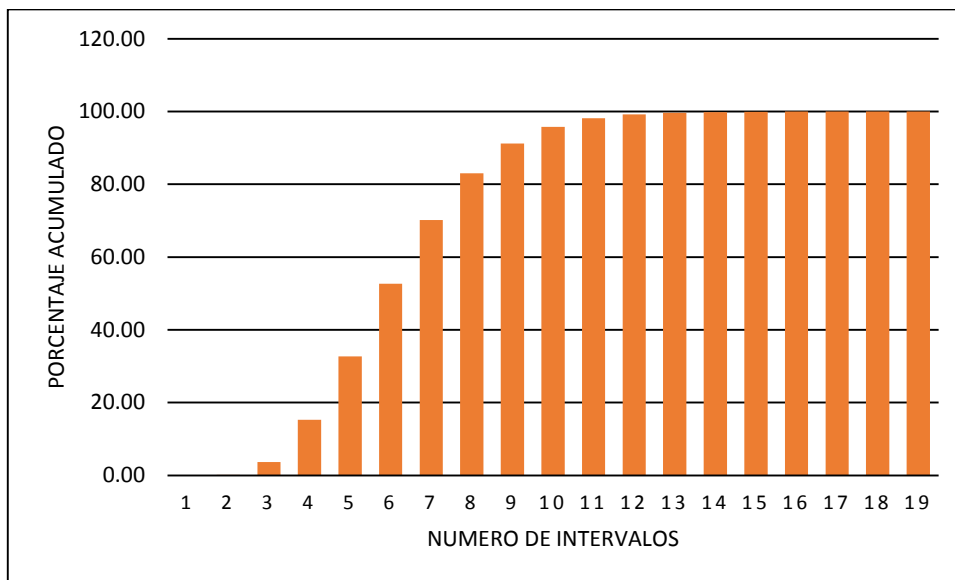
En la figura (4.2) se muestra el histograma de frecuencias de la velocidad del viento del área de estudio Ventilla (Alto Puno). La media es de 9,58 con una desviación estándar de $\pm 2,058$. Las velocidades más bajas y las más altas son las de menor frecuencia, conforme se aprecia en la distribución bajo la curva normal.

Figura 4.2: Histograma de frecuencias de velocidad Ventilla (Alto Puno)

Elaboración: propia. (IBM SPSS Statistics 22)

En la figura (4.3) se representa la curva de frecuencia acumulada o probabilidad de que la velocidad de viento sea (menor o igual que un cierto valor de velocidad). Es decir, la probabilidad que el viento sea menor a 8 m/s es de (<83,03%) del tiempo.

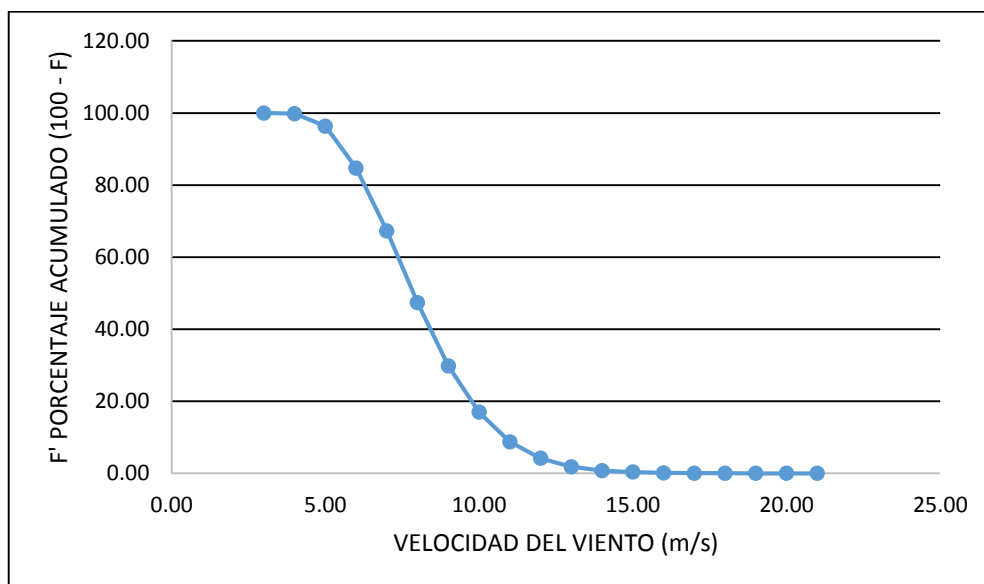
Figura 4.3: Curva de frecuencia acumulada



Elaboración: propia.

En la figura (4.4) se muestra la frecuencia acumulada complementaria F' o (mayor que). Es decir, alrededor de un 67,29% del tiempo, el viento fue mayor a 7 m/s.

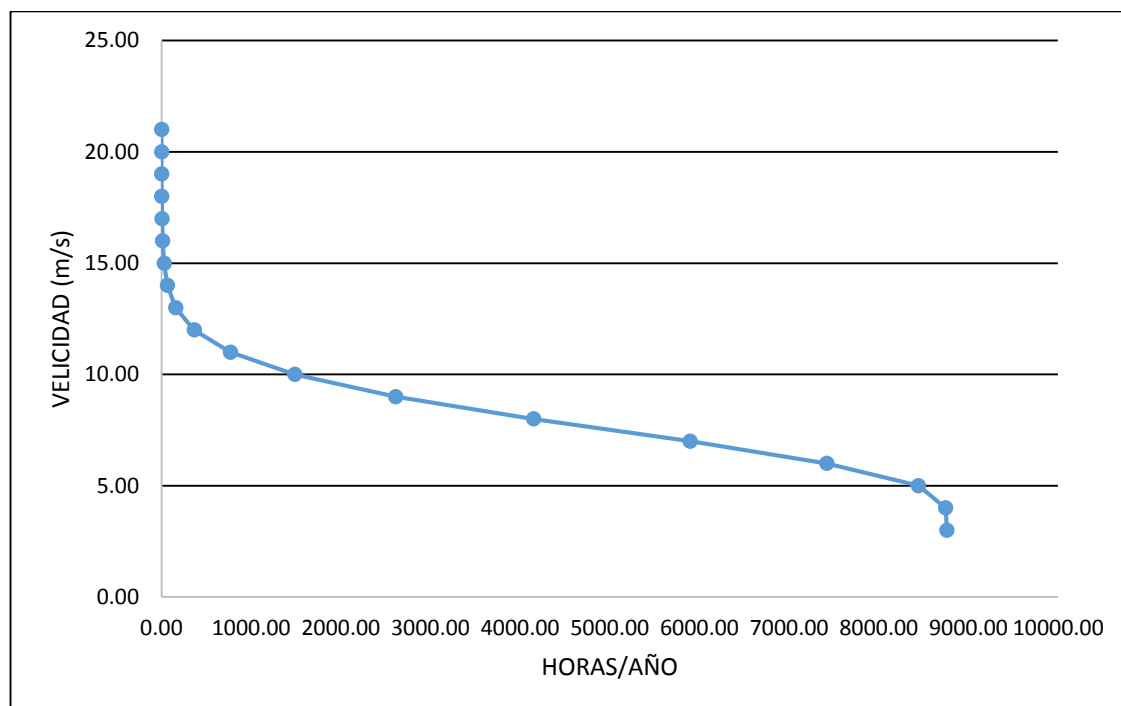
Figura 4.4: Frecuencia acumulada complementaria F'



Elaboración: propia.

En la figura (4.5) se muestra la curva de duración de la velocidad del viento que se obtiene a partir de la frecuencia acumulada complementaria, es decir, que alrededor de 4148,52 horas del año el viento fue mayor que 8 m/s lo cual nos indica una mayor precisión de cuantas horas al año el viento sopla a cierta velocidad.

Figura 4.5: Curva de duración de la velocidad del viento



Elaboración: propia.

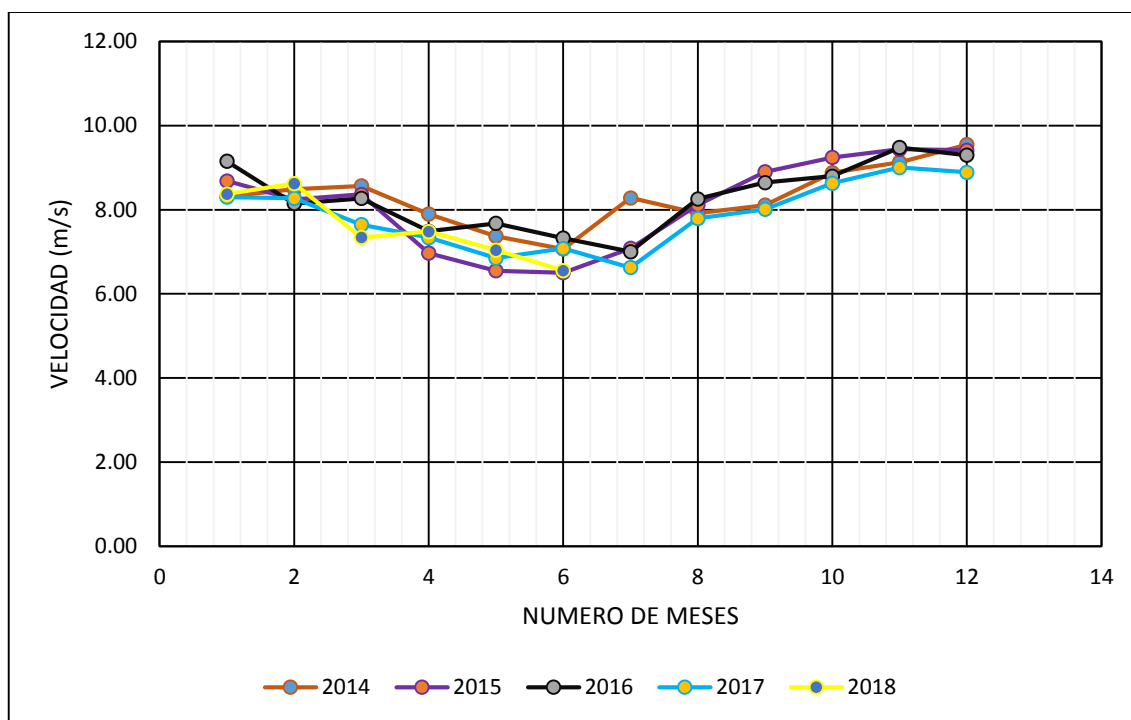
En la tabla (4.2) se representan las variaciones mensuales de la velocidad promedio en Ventilla (Alto Puno) de cada año y un ajuste de los datos. Los promedios más altos, del 2014 se ubican en los meses de diciembre, noviembre y marzo, del 2015 en los meses de octubre, noviembre y diciembre, del 2016 en los meses de enero, noviembre y diciembre, del 2017 en los meses noviembre y diciembre, del 2018 en los meses de enero y febrero, dando un promedio de velocidad de todos los años de 8 m/s.

Tabla 4.2: Variaciones mensuales de la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno)

MES/AÑO	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	8,31	8,68	9,15	8,30	8,37
Febrero	8,49	8,24	8,15	8,27	8,62
Marzo	8,57	8,36	8,27	7,64	7,34
Abril	7,90	6,97	7,49	7,34	7,48
Mayo	7,37	6,55	7,67	6,85	7,04
Junio	7,07	6,50	7,33	7,08	6,55
Julio	8,28	7,08	7,00	6,62	
Agosto	7,92	8,11	8,26	7,79	
Setiembre	8,11	8,90	8,64	8,01	
Octubre	8,88	9,24	8,80	8,63	
Noviembre	9,13	9,43	9,48	9,00	
Diciembre	9,55	9,41	9,30	8,89	
PROMEDIO	8,30	8,12	8,29	7,87	7,57

Elaboración: propia.

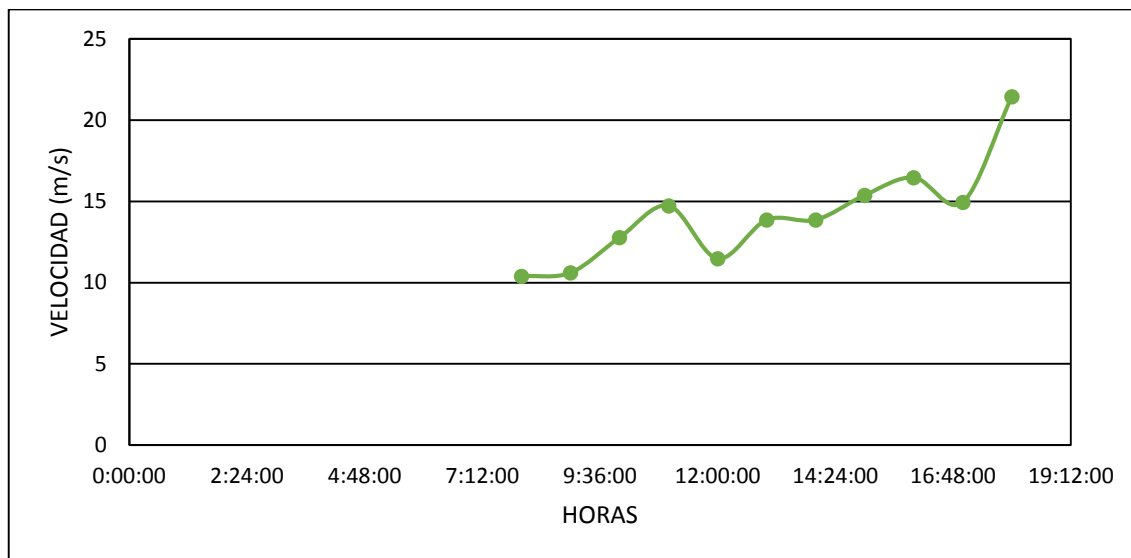
Figura 4.6: Variaciones mensuales de la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno)



Elaboración: propia.

La figura (4.7) muestra las variaciones diarias de la velocidad promedio del viento en Ventilla (Alto Puno) de los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Los promedios más altos de velocidad se dan entre las 11h00, 13h00, 16h00 y las 18h00.

Figura 4.7: Variaciones diarias de la velocidad de Ventilla (Alto Puno)



Elaboración: propia.

4.2. APROXIMACIÓN DE LA ECUACIÓN LINEAL

Para la representación de la ecuación lineal se aplican las ecuaciones (4.1) y (4.2) donde $f(v)$, corresponde a la frecuencia acumulada.

$$y = \text{Ln}[\text{Ln}[\frac{1}{1-(fv)}]] \tag{4.1}$$

$$x = \text{Ln}(v) \tag{4.2}$$

Tabla 4.3: Valores de X e Y doble logarítmica en Ventilla (Alto Puno)

Velocidad (m/s)	Frecuencia	Frecuencia puntual	\bar{Y} Frecuencia acumulada	X x: Ln (velocidad)	Y y: Ln (Ln(1/1-frecuencia acumulada))
3	9,00	0,000	0,000	1,099	-9,315
4	162,00	0,002	0,002	1,386	-6,370
5	3466,00	0,035	0,036	1,609	-3,295

6	11638,00	0,116	0,153	1,792	-1,796
7	17409,00	0,174	0,327	1,946	-0,926
8	19919,00	0,199	0,526	2,079	-0,291
9	17546,00	0,176	0,702	2,197	0,191
10	12814,00	0,128	0,830	2,303	0,573
11	8202,00	0,082	0,912	2,398	0,890
12	4585,00	0,046	0,958	2,485	1,156
13	2362,00	0,024	0,982	2,565	1,390
14	1044,00	0,010	0,992	2,639	1,585
15	424,00	0,004	0,997	2,708	1,739
16	193,00	0,002	0,999	2,773	1,878
17	78,00	0,001	0,999	2,833	1,991
18	40,00	0,000	1,000	2,890	2,111
19	17,00	0,000	1,000	2,944	2,232
20	7,00	0,000	1,000	2,996	2,381
21	2,00	0,000	1,000	3,045	3,604
Σ	99 917,00			$\bar{X}=0,176*(10)$	

Elaboración: propia.

$$\bar{X} = 1.76$$

$$\bar{Y} = 0.70$$

\bar{X} : Frecuencia puntual seleccionada.

\bar{Y} : Frecuencia acumulada seleccionada.

4.3. CÁLCULO DEL PARÁMETRO DE FORMA (k) Y EL PARÁMETRO DE ESCALA (C)

El parámetro de forma k, es la pendiente de la recta de regresión. Este parámetro y el valor del intercepto b se calcula mediante las ecuaciones (4.3) y (4.4).

$$k = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \quad (4.3)$$

$$b = \bar{y} - k\bar{x} \quad (4.4)$$

Tabla 4.4: Valores para calcular k y C en Ventilla (Alto Puno)

$x-\bar{x}$	$y-\bar{y}$	$\sum(x-\bar{x})*(y-\bar{y})$	$\sum(x-\bar{x})*(x-\bar{x})$
-0,66	-11,07	7,32	0,44
-0,37	-8,13	3,04	0,14
-0,15	-5,05	0,76	0,02
0,03	-3,56	-0,11	0,00
0,19	-2,69	-0,50	0,03
0,32	-2,05	-0,66	0,10
0,44	-1,57	-0,69	0,19
0,54	-1,19	-0,64	0,29
0,64	-0,87	-0,55	0,41
0,72	-0,60	-0,44	0,53
0,80	-0,37	-0,30	0,65
0,88	-0,18	-0,15	0,77
0,95	-0,02	-0,02	0,90
1,01	0,12	0,12	1,03
1,07	0,23	0,25	1,15

1,13	0,35	0,40	1,28
1,18	0,47	0,56	1,40
1,24	0,62	0,77	1,53
1,28	1,84	2,37	1,65
	Σ	11,52	12,51

Elaboración: propia.

$$k = \frac{11.52}{12.51}$$

$$k = 0.92$$

$$b = 0.70 - 0.92*(1.76)$$

$$b = -0.92$$

El parámetro de escala (C) se determina mediante la ecuación (14)

$$C = e^{(-b/k)} \tag{4.5}$$

$$C = e^{(0.92/0.92)}$$

$$C = 2.71$$

Ecuación lineal:
$$y = 0.92 * (x) - 0.92$$

Tabla 4.5: Puntos para la aproximación lineal en Ventilla (Alto Puno)

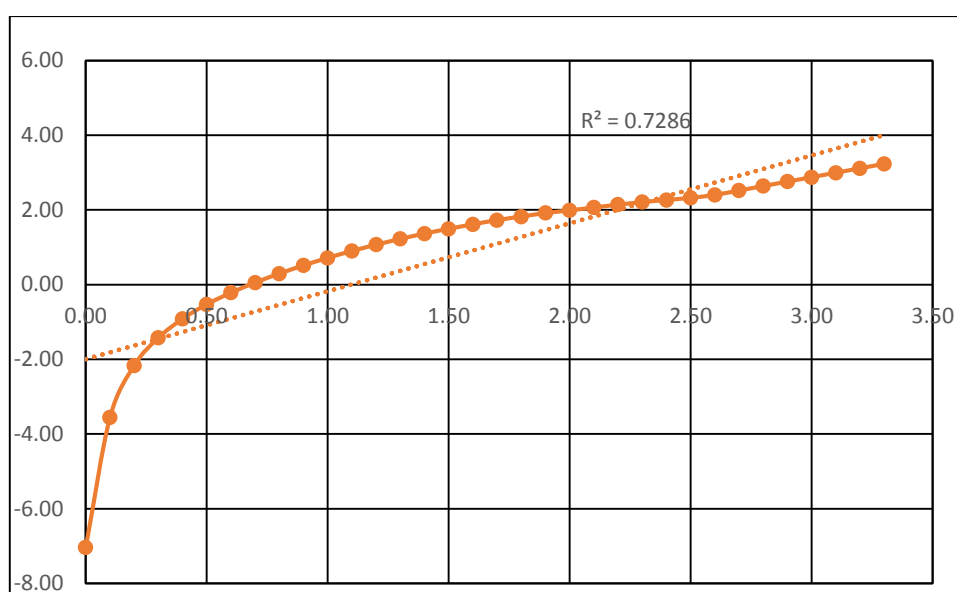
x	y
0,00	-0,92
0,10	-0,83
0,20	-0,74

0,30	-0,64
0,40	-0,55
0,50	-0,46
0,60	-0,37
0,70	-0,28
0,80	-0,18
0,90	-0,09
1,00	0,00
1,10	0,09
1,20	0,18
1,30	0,28
1,40	0,37
1,50	0,46
1,60	0,55
1,70	0,64
1,80	0,74
1,90	0,83
2,00	0,92
2,10	1,01
2,20	1,10
2,30	1,20
2,40	1,29
2,50	1,38
2,60	1,47
2,70	1,56
2,80	1,66
2,90	1,75

3,00	1,84
3,10	1,93
3,20	2,02
3,30	2,12

Elaboración: propia.

Figura 4.8: Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica Ventilla (Alto Puno)



Elaboración: propia.

Realizando el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados, podemos afirmar que el ajuste del modelo es bueno, ya que el valor de $R^2 = 0,7286$ es cercano a 1, en concreto, el 72,86% de la variabilidad de la variable Y a su promedio es explicado por el modelo de Regresión ajustado. Con lo cual se concluye que la velocidad del viento en Ventilla (Alto Puno) influye en la eficiencia del mini parque eólico. La correlación es positiva considerable.

4.4. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE WEIBULL

Calculados los parámetros de forma (k) y de escala (C), se aplica a ecuación (15) para evaluar la función densidad de probabilidad de Weibull.

$$C = 2.71$$

$$K = 0.92$$

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.6)$$

En donde v corresponde a cada una de las velocidades, en este caso particular desde 0 m/s hasta 21 m/s.

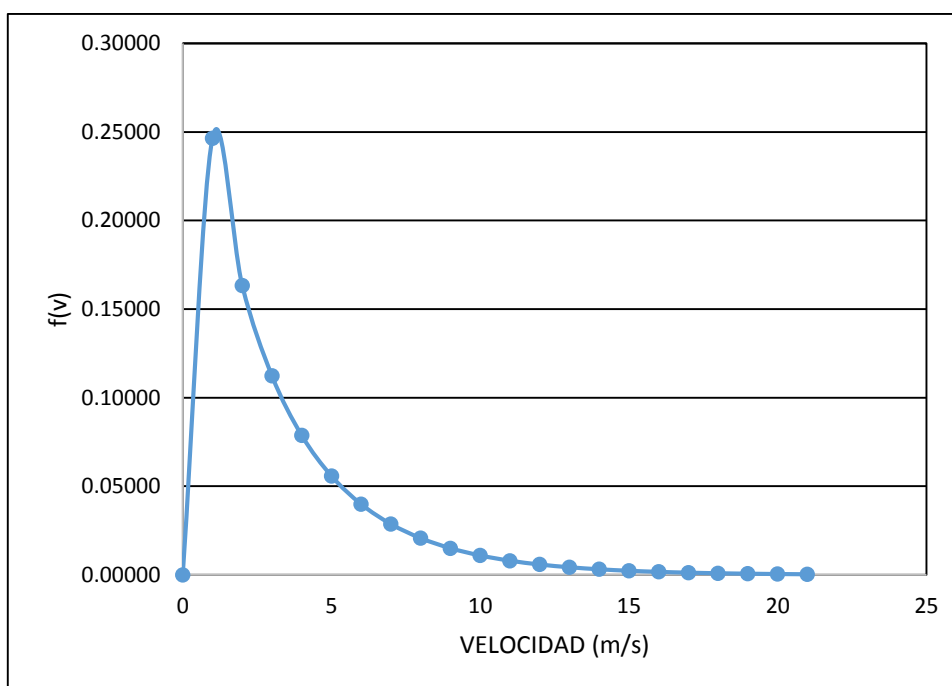
Tabla 4.6: Función de densidad de probabilidad de Weibull Ventilla (Alto Puno)

v (m/s)	Función densidad de Probabilidad f(v)
0	0,00000
1	0,24655
2	0,16342
3	0,11243
4	0,07878
5	0,05585
6	0,03993
7	0,02873
8	0,02078
9	0,01510
10	0,01101
11	0,00805
12	0,00591

13	0,00435
14	0,00320
15	0,00237
16	0,00175
17	0,00130
18	0,00096
19	0,00072
20	0,00053
21	0,00040

Elaboración: propia.

Figura 4.9: Aproximación distribución de Weibull Ventilla (Alto Puno)



Elaboración: propia.

4.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA MEDIA DE SALIDA

Para el cálculo de la potencia media de salida se utiliza la ecuación. (4.7)

$$P_{ms_n} = \left(\frac{P_{i_{n-1}} + P_{i_n}}{2}\right) * f(v) \tag{4.7}$$

Donde P_{ms_n} es la potencia media de salida, es la potencia instantánea del aerogenerador a diferentes velocidades y $f(v)$ es la función densidad de probabilidad de Weibull.

4.6. CÁLCULO DE LA POTENCIA MEDIA DE SALIDA ACUMULADA

Se determina por medio de la ecuación. (4.8)

$$P_{msa} = P_{msa_{n-1}} + P_{ms_n} \tag{4.8}$$

Tabla 4.7: Potencia instantánea, potencia media de salida en Ventilla (Alto Puno)

Velocidad del aerogenerador (m/s)	Función Densidad de Probabilidad	Potencia Instantánea (W)	Potencia Media de Salida (W)	Potencia Media de Salida Acumulada (W)
0	0,00000	0	0,00	0,00
1	0,24655	0	0,00	0,00
2	0,16342	1	0,08	0,08
3	0,11243	10	0,62	0,70
4	0,07878	100	4,33	5,03
5	0,05585	300	11,17	16,20
6	0,03993	650	18,97	35,17
7	0,02873	1000	23,71	58,88
8	0,02078	1450	25,46	84,34
9	0,01510	1850	24,91	109,25
10	0,01101	2100	21,74	131,00

11	0,00805	2300	17,72	148,71
12	0,00591	2500	14,18	162,89
13	0,00435	2500	10,86	173,76
14	0,00320	2500	8,01	181,77
15	0,00237	2500	5,92	187,68

Elaboración: propia.

4.7. CÁLCULO DE ENERGÍA ANUAL EXTRAÍBLE DEL RECURSO EÓLICO

Este valor se encuentra multiplicando la potencia media de salida acumulada total por 8760, que corresponde al número total de horas en un año.

$$\text{Energía anual (KWH)} = P_{msa_T}(\text{Horas}) \quad (4.9)$$

$$\text{Energía anual (KWH)} = 187,68 * (8\ 760)$$

$$\text{Energía anual (KWH)} = 1\ 644\ 080,82\ \text{wh}$$

$$\text{Energía anual (KWH)} = 1,64\ \text{Mwh}$$

4.8. POTENCIA DISPONIBLE

Es la potencia contenida en el viento debido a su energía cinética y está dada por la ecuación.

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

Dónde: A es el área de barrido del aerogenerador:

$$\text{Diámetro: } 3,8\ \text{m}$$

$$A = 11,34\ \text{m}^2$$

Tabla 4.8: Velocidad del viento promedio anual

V (m/s)	N	V*N
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	9	27
4	162	648
5	3 466	17 330
6	11 638	69 828
7	17 409	121 863
8	19 919	159 352
9	17 546	157 914
10	12 814	128 140
11	8,202	90 222
12	4 585	55 020
13	2 362	30 706
14	1 044	14 616
15	424	6 360
16	193	3 088
17	78	1 326
18	40	720
19	17	323
20	7	140
21	2	42
	99 917	857 665

Elaboración: propia.

La velocidad promedio anual se calcula utilizando la ecuación. (4.10)

$$\bar{v} = \frac{1}{n}(\sum(v)(n)) \quad (4.10)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{99\,917}(857\,665)$$

$$\bar{V} = 8.58 \text{ (m/s)}$$

Para aplicar la ecuación es necesario corregir la densidad del aire mediante la ecuación.

$$\delta = 1.225 \left(\frac{288}{t+273} \right) * e^{-\left(\frac{h}{8,435}\right)} \quad (4.11)$$

Dónde: δ es la densidad del aire en kg/m³, t es la temperatura en grados centígrados y h es la altura de la zona en estudio sobre el nivel del mar en msnm.

Para el lugar Ventilla (Alto Puno) los datos son los siguientes:

Altura = 4000 msnm.

Temperatura = 8.4 °C

$$\delta = 1.225 \left(\frac{288}{8.4 + 273} \right) * e^{-\left(\frac{4000}{8435}\right)}$$

$$\delta = 0.78$$

Entonces:

$$Pd = \frac{1}{2}(0,78)(11,34)(8,58)^3$$

$$Pd = 2\,798,17 \text{ W}$$

$$Pd = 2,8 \text{ kW}$$

Energía anual disponible = (2,8) (8760) = 24 511,95 KWh/año, es decir 24,5 MWh/año.

4.9. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA

Se toma en cuenta los resultados de la energía anual extraíble del recurso eólico.

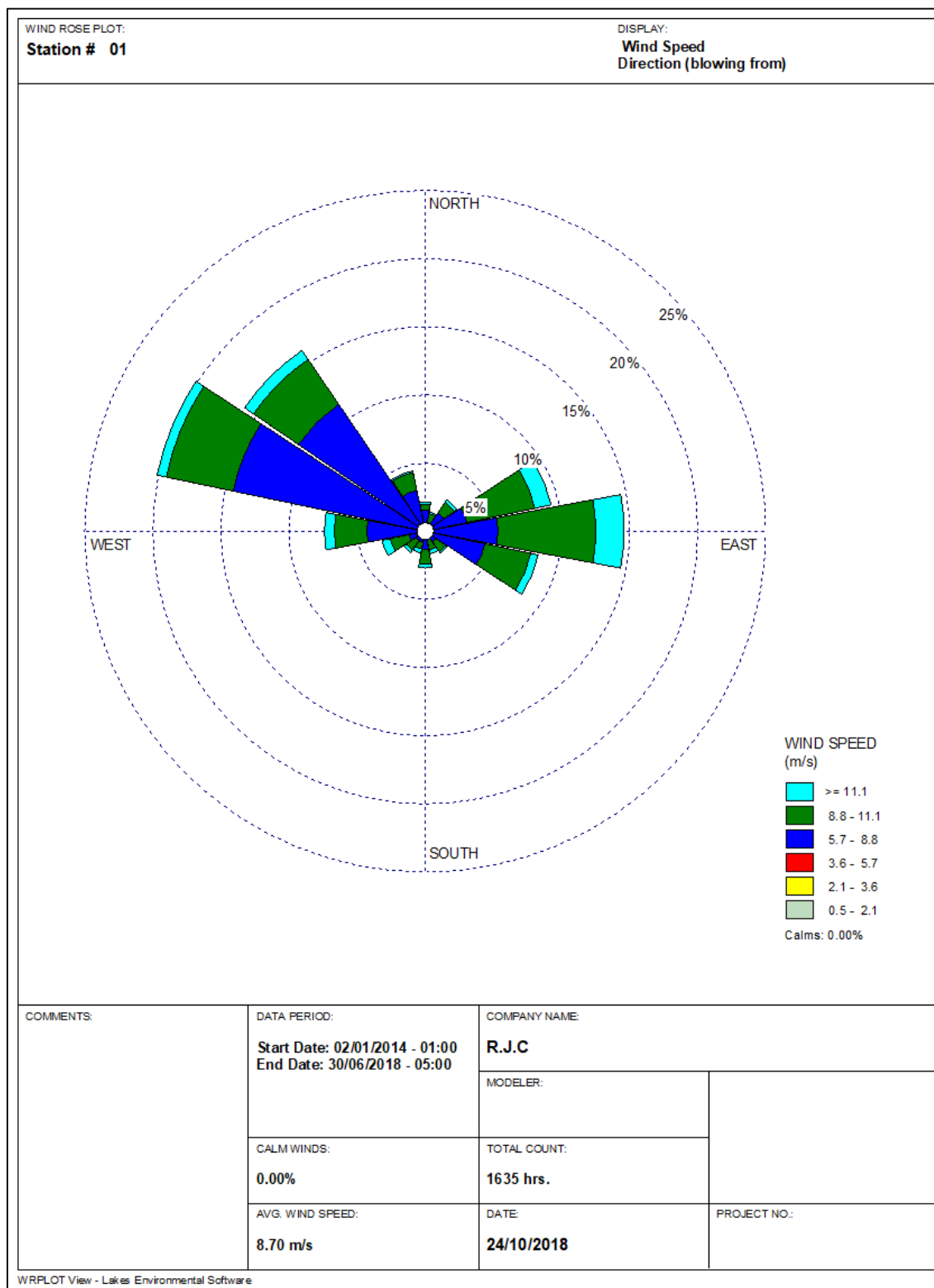
4.10. REPRESENTACIÓN EN LA ROSA DE LOS VIENTOS VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN VENTILLA (ALTO PUNO)

Para la representación de la rosa de los vientos se usó el software WRPLOT View. Esta representación es muy útil porque muestra información simultánea, dirección e intensidad del viento en un mismo gráfico, llamado rosa de los vientos.

En la figura (4.10) se muestra los segmentos, que representan direcciones angulares según la procedencia del viento.

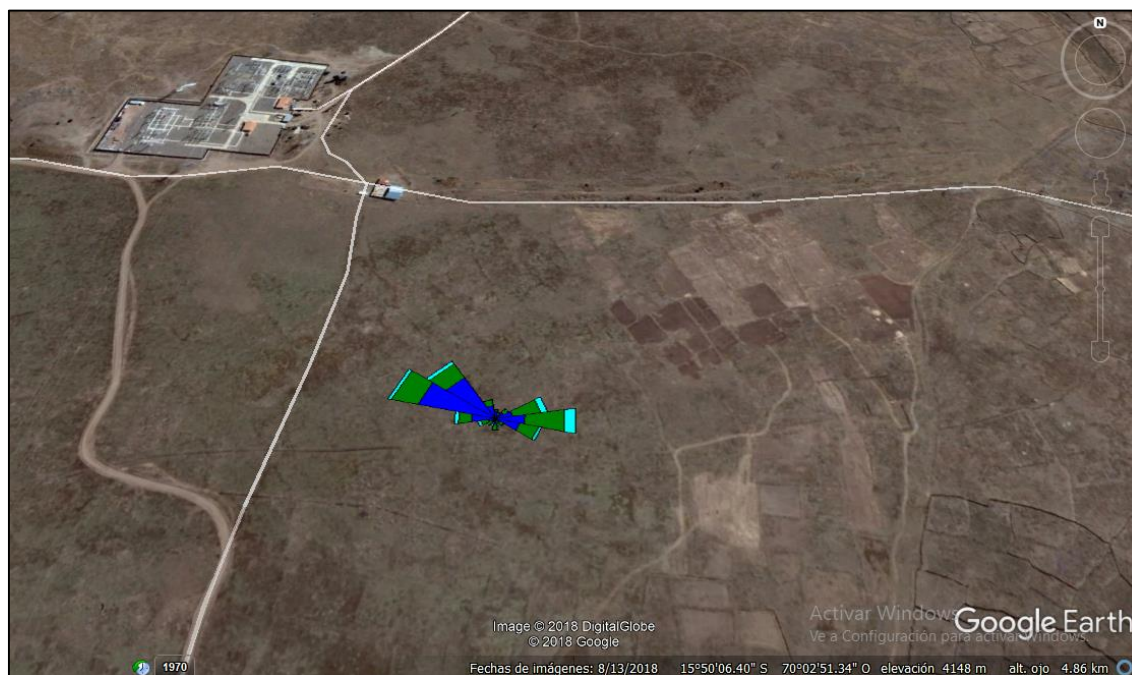
Las divisiones en la longitud radial representan la duración en el tiempo y la proporción de energía contenida en el sector.

Figura 4.10: Rosa de los vientos en Ventilla (Alto Puno)



Elaboración: propia.

Figura 4.11: Rosa de los vientos en el sitio Ventilla (Alto Puno)



Fuente: Google Earth Pro

4.11. GEORREFERENCIACIÓN DEL MAPA DEL DISTRITO DE PUNO

Para la georreferenciación del mapa del área en estudio del sector de Ventilla (Alto Puno), distrito de Puno se utilizó el programa Google Earth Pro, mediante los cálculos realizado anteriormente se tiene la tabla de ID, latitud, longitud, estación, E. anual.

Tabla 4.9: Atributos

Latitud	Longitud	Estación	E. Anual (MWh)
-15,835944	-70,048251	Ventilla	1.64

Elaboración: propia.

4.12. INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

Para el cálculo de las líneas se han medido en línea recta sin tener en cuenta las deformaciones del terreno, aplicando un valor de incremento del 20%, debido a la elevación del terreno.

4.12.1. Intensidad nominal

Este cálculo se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$I_n(A) = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi} \quad (4.12)$$

El factor de potencia $\cos\varphi$ se aproxima a la unidad para simplificar los cálculos.

La tensión nominal de las líneas será de 1 kV para las líneas.

Tabla 4.10: Cálculo de la intensidad nominal de cada tramo

Línea	Tramo de Línea	P (kW)	I (A)
1	AG1 - Controlador	3	1.73
2	AG2 - Controlador	3	1.73
3	AG3 - Controlador	3	1.73

Elaboración: propia.

4.12.2. Aislamiento del cable

Este tipo de red se clasifica como categoría A, donde los defectos a tierra deben ser eliminados lo más rápido posible.

Según la Tabla de Niveles de aislamiento del cable y accesorios de la ITC , en función de la tensión nominal y categoría se pueden obtener las siguientes características del cable de red y sus accesorios.

Tabla 4.11: Tensión asignada recomendada para los cables que se deben utilizar

Tensión nominal de la Red U_n (kV)	Tensión más elevada de la Red U_s (kV)	Categoría de la Red	Tensión asignada del cable U_o/U	Tensión soportada a Impulsos
1	1.2	A	0.6	45

Fuente: (Española, 2007)

Donde:

U_n : Valor de la tensión entre fases por el cual se denomina la red y a la cual se refieren ciertas características de servicio de la red.

U_s : Valor más elevado de la tensión eficaz entre fases que puede presentarse en un instante y en un punto cualquiera de la red, en las condiciones normales de explotación.

U_o : Tensión asignada eficaz a frecuencia industrial entre cada conductor y la pantalla del cable, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

U : Tensión asignada eficaz a frecuencia industrial entre dos conductores cualesquiera para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

U_p : Valor de cresta de la tensión soportada a impulsos de tipo rayo aplicada entre cada conductor y la pantalla o la cubierta para el que se ha diseñado el cable o los accesorios.

4.12.3. Elección de la sección del conductor.

Para elegir la sección del conductor se utilizan las tablas de la Norma UNE 212435.

Elegida la tensión de 1 kV, se selecciona lo cables unipolares RZ1 con conductor de aluminio o cobre.

4.12.3.1. Dimensionamiento de conductores según criterio térmico.

Se divide la corriente nominal o corriente máxima admisible, I_n , por los factores de corrección k .

$$I_1 = \frac{I_n}{k} \quad (4.13)$$

A través del valor de I_1 entramos a las tablas de intensidad admisible y elegimos la sección (S) correspondiente a una intensidad mayor o igual a I_1 .

Se debe cumplir:

$$k * I_{\text{tabla}} > I_n \quad (4.14)$$

A partir de las tablas de intensidad máxima admisible de la UNE 211435 se obtiene la sección, estos valores han sido tabulados para una instalación de las siguientes características

Es necesario calcular factores de corrección para utilizar los valores tabulados.

Tabla 4.12: Temperaturas inicial y final de cortocircuito

Material de aislamiento	Temperatura inicial	Temperatura final
XLPE, EPR	90 °C	250 °C
HEPR	105 °C	250 °C
Material de cubierta		
PVC	70 °C o 85 °C (nota 1)	200 °C
Z1	70 °C o 85 °C (nota 1)	180 °C

Fuente: (Española, 2007)

NOTA 1: El valor se estima 20 °C inferior a la temperatura del conductor, que corresponde a 70 °C en cables de XLPE y de EPR y a 85 °C en cables de HEPR, de acuerdo con cálculos hechos sobre cables habituales.

Para el aislante del proyecto, HEPR, la temperatura máxima admisible en el conductor es de 70°C.

A partir de este dato y con una temperatura máxima anual del terreno de 20°C, se calcula el factor de corrección del terreno.

Factor de corrección de la resistividad térmica del terreno:

Se obtiene a través de los valores del ITC-LAT: 06 en función de la naturaleza y humedad. Para un terreno de una resistividad 0,85 k.m/W.

Tabla 4.13: Factores de corrección para agrupamiento de cables de 0.6/1 kV soterrados

Circuitos en tubulares soterradas (un circuito trifásico, con neutro, por tubo)					
Tubos dispuestos en un plano horizontal					
Circuitos agrupados	Contacto	Distancias entre tubos en mm			
		200	400	600	800
2	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97
3	0,77	0,82	0,87	0,90	0,93
4	0,71	0,77	0,84	0,88	0,91
5	0,67	0,74	0,81	0,86	0,89
6	0,64	0,71	0,79	0,85	0,88
7	0,61	0,69	0,78	0,84	–
8	0,59	0,67	0,77	0,83	–
9	0,57	0,66	0,76	0,82	–
10	0,56	0,65	0,75	–	–

Fuente (Española, 2007)

Según la Norma UNE 211435:2011, de intensidad admisible para cables de distribución de 3,6/6 kV a 18/30 kV con aislamiento HEPR y conductor de aluminio es la siguiente:

Tabla 4.14: Intensidades máximas admisibles

Aislamiento de XLPE				
Sección mm ²	Conductor de cobre			
	Tiempo de cortocircuito, s			
	0,2	0,5	1	2
2,5	850	560	410	310
4	1 340	870	640	470
6	1 990	1 290	940	690
10	3 290	2 120	1 530	1 110
16	5 240	3 360	2 410	1 740

Temperatura inicial 90 °C; Temperatura final 250 °C

Fuente: (Española, 2007)

Tabla 4.15: Cálculo de la sección para una In = 1,73 A

Sección (mm ²)	Factor de corrección resistividad	Factor de corrección temp.	k	In (A)	I1=In/k	I(tabla)≥I1	k*I(tabla) >In
2,5	1,12	1.09	1,22	1,73	1,42	VERDADERO	0,00
4	1,13	1.09	1,23	1,73	1,40	VERDADERO	43,11
6	1,13	1.09	1,23	1,73	1,40	VERDADERO	55,43
10	1,13	1.09	1,23	1,73	1,40	VERDADERO	76,37
16	1,14	1.09	1,24	1,73	1,39	VERDADERO	104,38

Elaboración: propia.

La sección más pequeña que cumple el criterio de tensión para In=1,73 A es de 10 mm².

Tabla 4.16: Secciones mínimas por fase del conductor en función de In (A)

In (A)	k	I1 (A)	Seccion (mm ²)
1,73	1,22	1,42	10

Elaboración: propia.

Tabla 4.17: Secciones del conductor de las líneas

Línea	Tramo de Línea	P (kW)	I (A)
1	AG1 - Controlador	3	1,73
2	AG2 - Controlador	3	1,73
3	AG3 - Controlador	3	1,73

Elaboración: propia.

4.12.3.2. Características del cable seleccionado

El cable seleccionado para la instalación del parque eólico, es un cable tipo Eprotenax Compact (aislamiento HEPR), con conductor de aluminio. La tensión nominal será 12/20 kV, característica necesaria.

Tabla 4.18: Resistencia máxima en C.A. del cable a 105 °C

Sección nominal mm ²	Resistencia máxima en c.a. y a 105 °C en Ω/km			
	Cables Unipolares		Cables Tripolares	
	Cu	Al	Cu	Al
10	2.446	-	2.484	-
16	1.540	2.533	1.566	2.574
25	0.972	1.602	0.991	1.633
35	0.702	1.157	0.715	1.176
50	0.519	0.847	0.528	0.887
70	0.359	0.591	0.365	0.601
95	0.259	0.430	0.264	0.434
120	0.206	0.340	0.209	0.343
150	0.168	0.277	0.170	0.281
185	0.134	0.221	0.137	0.224
240	0.104	0.168	0.105	0.173
300	0.083	0.136	-	-
400	0.066	0.105	-	-
500	0.054	0.089	-	-

Fuente: (Prysmian, 2014)

Tabla 4.19: Reactancia del cable seleccionado

Sección nominal mm ²	Reactancia X en Ω/km por fase						
	Tensión nominal del cable						
	1,8/3 kV	3,6/6 kV	6/10 kV	8,7/15 kV	12/20 kV	15/25 kV	18/30 kV
	Tres cables unipolares en contacto mutuo						
10	0.135	-	-	-	-	-	-
16	0.126	-	-	-	-	-	-
25	0.118	0.125	0.134	0.141	-	-	-
35	0.113	0.118	0.128	0.135	0.140	-	-
50	0.108	0.113	0.122	0.128	0.130	0.140	0.148
70	0.101	0.106	0.115	0.120	0.122	0.130	0.137
95	0.099	0.102	0.110	0.115	0.118	0.121	0.129
120	0.095	0.098	0.106	0.111	0.112	0.118	0.123
150	0.093	0.096	0.102	0.108	0.110	0.115	0.118
185	0.089	0.093	0.100	0.104	0.106	0.110	0.113
240	0.088	0.090	0.097	0.101	0.102	0.106	0.109
300	0.086	0.088	0.093	0.097	0.099	0.103	0.105
400	0.085	0.086	0.091	0.095	0.096	0.100	0.102
500	0.084	0.084	0.089	0.092	0.093	0.096	0.099

Fuente: (Prysmian, 2014)

4.12.3.3. Caída de tensión

La caída de tensión en los conductores de las secciones obtenidas en el apartado de Dimensionado de conductores por criterio térmico, se obtendrán con la siguiente ecuación.

$$\Delta U = \sqrt{3} * L * I * (R * \cos\varphi + X * \sin\varphi) \quad (4.15)$$

Siendo:

L: longitud de línea en km

I: intensidad nominal de A

R: resistencia del cable en Ω/km

X: reactancia del cable en Ω/km

$\cos \varphi$: factor de potencia

Como se vio anteriormente el factor de potencia se ha aproximado a 1, por lo que el $\sin\varphi = 0$, quedando eliminado ese término en la ecuación.

La caída de tensión se puede expresar en %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 \quad (4.16)$$

Siendo:

ΔU : caída de tensión en V

U_n : tensión nominal de la línea en V, 1 000 V en todos los tramos

Tabla 4.20: Caída de tensión en las líneas

Línea	Tramo de Línea	Longitud (km)	ΔU (V)	ΔU (%)
1	AG1 - Controlador	0,050	0,12	0,01
2	AG2 - Controlador	0,050	0,12	0,01
3	AG3 - Controlador	0,050	0,12	0,01

Elaboración: propia.

Según el reglamento de Alta Tensión se hace referencia a una caída de tensión máxima del 5%. Como se observa en ninguna línea se presentan caídas de tensión superior a 0,05. Por lo tanto se cumple el criterio de caída de tensión.

4.13. PRESUPUESTO PARA EL PARQUE EÓLICO DE 9 kW

El costo de instalación de un parque eólico oscila entre (840 - 1000) €/KW, en Europa (1€ ≈ 1,30\$).

4.13.1. Aerogenerador de 3 KW - presupuesto aproximado

Costo de instalación: 3 900 \$/KW

Para 3 aerogeneradores (3 KW): 9 KW x 3900 \$/KW

Inversión total: 35 000 \$

De este valor los componentes tienen los siguientes porcentajes:

Tabla 4.21: Porcentajes de los componentes

Estudio de Viabilidad	1,0%
Turbina	65,0%

Obras civiles	12,0%
Transporte y montaje de turbinas	1,95%
Sistema eléctrico	12,0%
Desarrollo e ingeniería	5,0%
Planificación y Administración	2,0%
Promoción del Parque	1,0%
Otros	0,05%
	100,0%

CONCLUSIONES

PRIMERO: Con el procedimiento y los cálculos de energía realizados se han conseguido unos resultados relativamente buenos para un primer estudio y diseño de un parque eólico en la ciudad de Puno, pero no tan exactos debido a la recopilación de datos reales de la zona, puesto que no se cuenta con datos exactos de la velocidad del viento y dirección del viento.

SEGUNDO: La energía anual extraíble del recurso eólico en Ventilla (Alto Puno) fue de 1,64 MWh y la energía anual disponible fue de 24,5 MWh/año, por tal motivo es viable implantar un mini parque eólico por las características del potencial eólico.

TERCERO: La altura es un parámetro muy importante para la determinación de la densidad que interviene directamente en la potencia disponible. La densidad encontrada para esta zona es 0,78 kg/m³. La velocidad promedio anual del viento es 8,58 m/s, importante para la evaluación de la producción energética y para su cálculo. Las características direccionales del viento son de gran importancia, para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación del aerogenerador.

CUARTO: La aleatoriedad del viento, afecta significativamente a la energía eólica extraíble por unidad de área, pequeñas variaciones en la velocidad producen cambios importantes debido a que la potencia varía con el cubo de la velocidad. La potencia es directamente proporcional al área de barrido, si se incrementa el diámetro del rotor del aerogenerador, se incrementará también la potencia del mismo. Los parámetros de forma (k) y de escala (C) son fundamentales para la evaluación del potencial eólico, de ellos depende la evaluación de la distribución de densidad de probabilidad.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Es recomendable monitorear, que las tomas de datos se realicen a frecuencias de 10s y promedios, con intervalos de minutos y horas, de esta forma se obtiene mayor precisión, para un adecuado estudio de parques eólicos.

SEGUNDO: De acuerdo a los valores de energía extraíble, es posible tener una instalación de un mini parque eólico en la zona de Ventilla (Alto Puno), el cual tiene un potencial eólico considerable en energía anual extraíble, pero con un adecuado tratamiento de datos de velocidad y dirección del viento a una altura exacta para confirmar el estudio.

TERCERO: Es necesario adoptar medidas de contingencia para una recolección de datos adecuado con un equipo de medición de intensidad de viento y dirección del viento, con sensores libres de obstáculos para que puedan registrar las variaciones de temperatura, densidad, rugosidad, altitud y presión de la zona para una posterior investigación.

CUARTO: Es necesario incentivar el estudio de las energías renovables para un proyecto de instalación de una central eólica o híbrida y dar a conocer los principales impactos que el proyecto generaría. Las energías renovables mejorarían la competencia en el sistema de generación eléctrica, con un beneficio importante para todos los consumidores.

VII. REFERENCIAS

Acciona. (2018). ENERGÍAS RENOVABLES. Retrieved November 5, 2018, from

<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>

Caracterización del viento. (2004), 24.

Carlos Andrés Ortiz. (2005). La Energía Eólica: Características y limitaciones.

Retrieved November 6, 2018, from <http://estrucplan.com.ar/articulos/la-energia-eolica-caracteristicas-posibilidades-y-limitaciones/>

Ekidom S.L. (n.d.). Historia de la energía eólica. Retrieved October 31, 2018, from

<http://www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica>

Energía eólica: densidad del aire y área del rotor. (n.d.). Retrieved October 30, 2018,

from <https://www.textoscientificos.com/energia/eolica/densidad-del-aire-y-area-del-rotor>

ENRIQUE BALDOVINO FERNANDINI, GUILLERMO RAMOS MARIÑO, &

VÍCTOR CALDERÓN MOTTA. (2007). *PROPUESTA ESTRATÉGICA PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGIA EÓLICA EN EL PERU*. Retrieved from

http://dalessio.pearsonperu.pe/el_proceso_estrategico_1/recursos/6_propuesta_estrategica_para_el_desarrollo_de_la_energia.pdf

Escudero López, J. M., & Dios Bornay, J. de. (2004). *Manual de energía eólica :*

investigación, diseño, promoción, construcción y explotación de distinto tipo de instalaciones. Mundi-Prensa. Retrieved from

<https://books.google.com.pe/books?id=bY33m9Z3NAEC&printsec=frontcover&dq=LÓPEZ,+José+María+Escudero&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwiZ2fGHssXeAhVSj1kKHbLODMsQ6AEIKDAA#v=onepage&q=LÓPEZ%2C José María Escudero&f=false

Española, N. (2007). *Tensión asignada recomendada para los cables que se deben utilizar en redes trifásicas Tensión. Norma Española UNE 211435.*

Figuroa Diego David, B. (2005). *Implementacion de Proyectos de Generacion Eolica en el Ecuador.* Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5944/1/T2415.pdf>

Investigación Y ciencia. (2012). El futuro de la energía eólica. Retrieved November 11, 2018, from <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-antepasado-del-homo-551/el-futuro-de-la-energa-elica-8652>

ISIDRO, B. C., & VALDIVIA, C. A. (2017). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR- EÓLICA PARA LA EPIME-PUNO, 2015.*

jesarella Inga. (n.d.). ENERGÍA EÓLICA EN EL PERU. Retrieved November 5, 2018, from <http://energiaeolicacuriosidades.blogspot.com/2012/07/energia-en-el-peru.html>

JESSICA YINETH ESCORCIA, & LUISA FERNANDA MONTOYA. (2009). *ENERGIA EOLICA: APLICACIONES.* Retrieved November 8, 2018, from http://luisajessica.blogspot.com/2009/11/aplicaciones_18.html

Marcos A. (2015). *CONSIDERACIONES AL PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN SU RENTABILIDAD.* Retrieved from https://www.aepro.com/files/congresos/2004bilbao/ciip04_0906_0913.1301.pdf

METEOROLOGÍAENRED. (2017). ¿Qué es la atmósfera y por qué es importante?

Retrieved November 8, 2018, from <https://www.meteorologiaenred.com/la-atmosfera.html>

Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). Instituto Argentino de la Energía. *Energía Eólica*,

22. Retrieved from http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf

OCIO ULTIMATE MAGAZINE. (2014). Usos de la energía eólica. Retrieved

November 8, 2018, from <https://www.ocio.net/estilo-de-vida/ecologismo/usos-de-la-energia-eolica/>

Omar, A., & Ean, R. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento, (82), 179–200.

PERÚ21. (2018). parque eólico más grande del país. Retrieved November 22, 2018,

from <https://peru21.pe/peru/marcona-inauguran-parque-eolico-grande-pais-wayra-i-415038>

Prysmian. (2014). *Cables y Accesorios para Media Tensión*.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.012>

Puno, G. R. (2005). CARACTERIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE PUNO, 2, 1–

RENOVABLESVERDES de BEZZIA. (2017). El futuro de la energía eólica. Retrieved

November 11, 2018, from <https://www.renovablesverdes.com/los-ultimos-avances-energia-eolica/>

RENOVABLESVERDES DE VEZZIA. (n.d.). Energías no renovables. Retrieved

November 5, 2018, from <https://www.renovablesverdes.com/energias-no-renovables/>

Rodríguez Rodríguez, L. M., & Mendez Muñiz, J. M. (1995). *Energía Eólica. España: Fundacion Confemetal.*

Ruedas, F. B. (2011). *IMPACTO DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA USANDO FUENTES DE ENERGÍA EÓLICA EN LA RED ELÉCTRICA NACIONAL.*

Retrieved from

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/4634/1/tesis.pdf>

Textos Científicos. (2014). *Energía eólica.* Retrieved November 6, 2018, from

<https://www.textoscientificos.com/energia/eolica>

TORO, D. (2011). *Implementacion de Proyectos de Genaracion Eolica en el Ecuador.*

Curso de Fisica Ambiental (UCLM, Grupo G-9).

Twenergy. (2012). *¿Qué es la energía eólica?* Retrieved November 6, 2018, from

<https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-eolica-382>

Villarrubia López, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica.* Marcombo Ediciones

Técnicas. Retrieved from

https://books.google.com.pe/books?id=GW_jEgJJSdcC&pg=PT347&lpg=PT347&dq=Una+central+térmica+opera+con+un+rendimiento+medio+del+33+%25,+para+obtener+1+MWh+eléctrico+en+barras+del+alternador+de+la+central&source=bl&ots=QaBNe5qsnB&sig=Amcww25z4yOZA0mk5wrZ4qd

VORTEX FACTORIA DE CALCULS. (2016). *SBCC-05/PROSEMER-MINEM*

Estudio para aprovechamiento eólico con fines energéticos y actualización del atlas eólico del Perú.

Anexo N° 01: Datos seleccionados de SENAMHI.

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/01/2014	2.09	335	01/02/2014	2.5	263	01/03/2014	2.78	307
02/01/2014	2.85	306	02/02/2014	2.65	156	02/03/2014	2.82	229
03/01/2014	2.92	295	03/02/2014	2.95	81	03/03/2014	2.62	56
04/01/2014	3.16	158	04/02/2014	-40.69	296	04/03/2014	2.73	132
05/01/2014	2.62	96	05/02/2014	2.89	72	05/03/2014	3.25	76
06/01/2014	2.94	292	06/02/2014	2.74	82	06/03/2014	3.06	88
07/01/2014	3.27	98	07/02/2014	2.91	272	07/03/2014	3.29	73
08/01/2014	-39.15	81	08/02/2014	2.38	305	08/03/2014	2.57	124
09/01/2014	2.97	49	09/02/2014	2.77	243	09/03/2014	3.39	315
10/01/2014	2.45	61	10/02/2014	2.75	92	10/03/2014	2.92	295
11/01/2014	3.09	89	11/02/2014	2.84	100	11/03/2014	2.88	319
12/01/2014	3.11	321	12/02/2014	2.9	277	12/03/2014	2.75	76
13/01/2014	2.42	84	13/02/2014	2.47	85	13/03/2014	-38.73	322
14/01/2014	3.86	74	14/02/2014	2.91	333	14/03/2014	2.51	319
15/01/2014	4.03	207	15/02/2014	2.55	291	15/03/2014	2.48	312
16/01/2014	2.09	305	16/02/2014	2.26	325	16/03/2014	2.6	83
17/01/2014	2.49	268	17/02/2014	3.04	338	17/03/2014	3.23	320
18/01/2014	2.33	288	18/02/2014	-42.8	328	18/03/2014	-41.25	261
19/01/2014	2.32	88	19/02/2014	2.58	87	19/03/2014	2.59	351
20/01/2014	2.2	87	20/02/2014	2.47	73	20/03/2014	2.47	298
21/01/2014	2.33	281	21/02/2014	3.26	156	21/03/2014	2.01	287
22/01/2014	2.91	151	22/02/2014	2.8	82	22/03/2014	2.87	303
23/01/2014	2.24	297	23/02/2014	3.26	22	23/03/2014	2.34	193
24/01/2014	2.25	236	24/02/2014	2.35	106	24/03/2014	2.41	78
25/01/2014	-38.37	233	25/02/2014	2.51	303	25/03/2014	-43.12	287
26/01/2014	2.34	309	26/02/2014	-38.67	62	26/03/2014	3.37	298
27/01/2014	2.76	92	27/02/2014	3.45	14	27/03/2014	2.28	83
28/01/2014	3.32	296	28/02/2014	3.34	62	28/03/2014	3.93	290
29/01/2014	3.48	314				29/03/2014	3.53	268
30/01/2014	2.25	322				30/03/2014	2.76	143
31/01/2014	2.32	322				31/03/2014	2.54	310

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/04/2014	2.97	70	01/05/2014	2.74	295	01/06/2014	2.15	317
02/04/2014	2.41	107	02/05/2014	2.41	78	02/06/2014	2.41	292
03/04/2014	2.29	285	03/05/2014	2.14	311	03/06/2014	2.26	290
04/04/2014	2.87	38	04/05/2014	2.05	83	04/06/2014	2.28	104
05/04/2014	2.53	328	05/05/2014	2.43	87	05/06/2014	2.31	300
06/04/2014	2.42	82	06/05/2014	2.65	174	06/06/2014	2.3	286
07/04/2014	3.58	212	07/05/2014	2.12	298	07/06/2014	3.3	275
08/04/2014	2.75	282	08/05/2014	1.82	310	08/06/2014	2.58	256
09/04/2014	2.7	95	09/05/2014	2.13	345	09/06/2014	2.17	87
10/04/2014	2.5	278	10/05/2014	2.65	293	10/06/2014	2.43	328
11/04/2014	2.36	308	11/05/2014	1.93	332	11/06/2014	2.24	312
12/04/2014	2.21	325	12/05/2014	2.58	307	12/06/2014	2.2	261
13/04/2014	2.13	351	13/05/2014	2	299	13/06/2014	2.16	311
14/04/2014	2.33	299	14/05/2014	2.18	294	14/06/2014	1.92	282
15/04/2014	2.67	103	15/05/2014	2.65	177	15/06/2014	2.07	89
16/04/2014	2.66	289	16/05/2014	2.65	72	16/06/2014	2.13	296
17/04/2014	3.36	266	17/05/2014	2.27	319	17/06/2014	2.18	110

18/04/2014	4.08	9	18/05/2014	2.18	315	18/06/2014	2.47	102
19/04/2014	2.75	69	19/05/2014	2.55	290	19/06/2014	1.93	294
20/04/2014	2	301	20/05/2014	2.54	254	20/06/2014	2.26	202
21/04/2014	2.65	343	21/05/2014	2.19	311	21/06/2014	2.86	304
22/04/2014	2.52	267	22/05/2014	3.05	310	22/06/2014	2.46	308
23/04/2014	2.55	112	23/05/2014	2.98	257	23/06/2014	2.21	296
24/04/2014	2.36	295	24/05/2014	4.02	270	24/06/2014	2.13	321
25/04/2014	2.18	58	25/05/2014	3	274	25/06/2014	2.34	301
26/04/2014	2.32	273	26/05/2014	2.14	292	26/06/2014	2.78	283
27/04/2014	2.36	309	27/05/2014	2.3	298	27/06/2014	2.42	353
28/04/2014	2.56	86	28/05/2014	2.22	293	28/06/2014	1.97	353
29/04/2014	2.41	288	29/05/2014	2.23	82	29/06/2014	2.47	116
30/04/2014	2.49	271	30/05/2014	2.23	304	30/06/2014	2.4	308
			31/05/2014	2.19	312			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/07/2014	2.28	314	01/08/2014	2.52	82	01/09/2014	2.41	24
02/07/2014	2.13	298	02/08/2014	1.75	80	02/09/2014	2.21	292
03/07/2014	2.39	299	03/08/2014	2.24	301	03/09/2014	2.14	289
04/07/2014	3.65	295	04/08/2014	2.16	320	04/09/2014	2.11	289
05/07/2014	4.69	266	05/08/2014	2.32	325	05/09/2014	2.73	97
06/07/2014	2.69	336	06/08/2014	2.47	290	06/09/2014	2.72	270
07/07/2014	2.55	310	07/08/2014	2.43	347	07/09/2014	2.4	276
08/07/2014	2.05	294	08/08/2014	1.95	328	08/09/2014	2.83	92
09/07/2014	2.18	306	09/08/2014	2.34	327	09/09/2014	2.59	287
10/07/2014	2.39	301	10/08/2014	2.5	82	10/09/2014	2.73	108
11/07/2014	3.3	256	11/08/2014	2.5	81	11/09/2014	2.24	301
12/07/2014	2.58	60	12/08/2014	2.84	260	12/09/2014	2.65	85
13/07/2014	2.33	309	13/08/2014	2.53	223	13/09/2014	2.93	300
14/07/2014	2.13	340	14/08/2014	2.19	1	14/09/2014	2.51	87
15/07/2014	2.14	80	15/08/2014	2.63	318	15/09/2014	2.68	321
16/07/2014	2.51	283	16/08/2014	2.18	293	16/09/2014	3.05	286
17/07/2014	2.32	345	17/08/2014	2.92	290	17/09/2014	2.78	181
18/07/2014	2.92	301	18/08/2014	3.57	118	18/09/2014	1.91	316
19/07/2014	2.39	357	19/08/2014	2.55	47	19/09/2014	2.08	283
20/07/2014	2.42	315	20/08/2014	2.83	51	20/09/2014	2.67	300
21/07/2014	2.23	301	21/08/2014	2.88	77	21/09/2014	3.07	279
22/07/2014	2.39	238	22/08/2014	2.61	86	22/09/2014	2.8	178
23/07/2014	4.95	251	23/08/2014	2.8	218	23/09/2014	2.78	81
24/07/2014	2.8	242	24/08/2014	3.15	78	24/09/2014	2.47	68
25/07/2014	4.03	283	25/08/2014	2.76	299	25/09/2014	3.15	291
26/07/2014	3.44	278	26/08/2014	3.03	287	26/09/2014	3.5	128
27/07/2014	3.45	55	27/08/2014	2.83	75	27/09/2014	3.39	238
28/07/2014	2.42	300	28/08/2014	2.61	313	28/09/2014	3	177
29/07/2014	2.29	285	29/08/2014	3.08	354	29/09/2014	3.1	264
30/07/2014	2.12	300	30/08/2014	2.65	206	30/09/2014	2.43	315
31/07/2014	2.34	220	31/08/2014	2.96	283			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/10/2014	3.08	81	01/11/2014	3.83	84	01/12/2014	-42.41	18
02/10/2014	3	80	02/11/2014	3.21	28	02/12/2014	2.82	86
03/10/2014	3.15	308	03/11/2014	2.37	281	03/12/2014	3.02	79

04/10/2014	2.34	299	04/11/2014	2.68	289	04/12/2014	3.34	318
05/10/2014	2.85	230	05/11/2014	2.96	17	05/12/2014	3.3	73
06/10/2014	3.05	73	06/11/2014	2.54	44	06/12/2014	3.22	100
07/10/2014	2.4	132	07/11/2014	2.58	306	07/12/2014	3.4	71
08/10/2014	2.63	83	08/11/2014	3.02	91	08/12/2014	3.18	78
09/10/2014	2.97	73	09/11/2014	3.05	121	09/12/2014	3.28	86
10/10/2014	2.59	29	10/11/2014	3.08	71	10/12/2014	2.6	347
11/10/2014	3.22	86	11/11/2014	3.15	275	11/12/2014	3.06	74
12/10/2014	3.37	79	12/11/2014	3	79	12/12/2014	3.41	84
13/10/2014	2.83	320	13/11/2014	2.1	287	13/12/2014	3.74	177
14/10/2014	3.6	53	14/11/2014	3.1	90	14/12/2014	3	82
15/10/2014	3.26	288	15/11/2014	3.65	75	15/12/2014	3.28	76
16/10/2014	-39.19	306	16/11/2014	4.14	52	16/12/2014	-42.76	96
17/10/2014	3.12	294	17/11/2014	2.66	131	17/12/2014	3.13	353
18/10/2014	3.19	276	18/11/2014	-40.33	230	18/12/2014	3.33	55
19/10/2014	3.52	234	19/11/2014	2.81	306	19/12/2014	3.03	274
20/10/2014	3.04	62	20/11/2014	-38.87	80	20/12/2014	2.37	286
21/10/2014	2.63	173	21/11/2014	2.93	90	21/12/2014	2.99	79
22/10/2014	2.62	256	22/11/2014	2.75	309	22/12/2014	2.92	345
23/10/2014	2.57	80	23/11/2014	2.98	285	23/12/2014	3	304
24/10/2014	-42.82	299	24/11/2014	3.09	300	24/12/2014	3.54	117
25/10/2014	2.84	228	25/11/2014	-42.31	277	25/12/2014	3.46	221
26/10/2014	2.75	277	26/11/2014	2.88	283	26/12/2014	3.03	69
27/10/2014	2.55	66	27/11/2014	3.25	71	27/12/2014	3.45	13
28/10/2014	2.97	329	28/11/2014	3.65	64	28/12/2014	3.09	70
29/10/2014	3.32	64	29/11/2014	2.94	326	29/12/2014	3.03	232
30/10/2014	2.63	60	30/11/2014	3.16	92	30/12/2014	2.52	274
31/10/2014	2.63	127				31/12/2014	3.7	274

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/01/2015	2.7	151	01/02/2015	3.78	77	01/03/2015	2.51	107
02/01/2015	3.06	184	02/02/2015	-42.5	64	02/03/2015	2.4	357
03/01/2015	2.33	89	03/02/2015	2.42	116	03/03/2015	2.83	105
04/01/2015	-41.54	271	04/02/2015	2.75	86	04/03/2015	2.93	187
05/01/2015	2.5	73	05/02/2015	2.73	82	05/03/2015	2.83	80
06/01/2015	2.9	305	06/02/2015	3.58	92	06/03/2015	2.44	198
07/01/2015	2.5	106	07/02/2015	3.19	85	07/03/2015	2.4	19
08/01/2015	2.44	343	08/02/2015	2.48	77	08/03/2015	3.24	91
09/01/2015	3.31	72	09/02/2015	-39.66	96	09/03/2015	3.54	80
10/01/2015	-40.9	286	10/02/2015	2.34	274	10/03/2015	3.11	79
11/01/2015	2.45	295	11/02/2015	1.97	120	11/03/2015	2.3	337
12/01/2015	2.45	119	12/02/2015	1.93	315	12/03/2015	2.58	355
13/01/2015	2.73	281	13/02/2015	2.9	61	13/03/2015	2.9	103
14/01/2015	2.29	72	14/02/2015	2.82	84	14/03/2015	2.26	46
15/01/2015	3.3	129	15/02/2015	2.35	11	15/03/2015	2.64	79
16/01/2015	2.81	74	16/02/2015	2.86	106	16/03/2015	2.35	80
17/01/2015	-38.87	75	17/02/2015	-38.37	177	17/03/2015	3.09	85
18/01/2015	2.57	351	18/02/2015	2.38	105	18/03/2015	3.64	80
19/01/2015	2.8	58	19/02/2015	-40.83	284	19/03/2015	3.6	38
20/01/2015	3.76	70	20/02/2015	3.14	82	20/03/2015	-39.81	29
21/01/2015	3.23	33	21/02/2015	2.81	108	21/03/2015	2.73	82
22/01/2015	2.97	92	22/02/2015	-40.05	84	22/03/2015	2.67	318
23/01/2015	2.64	336	23/02/2015	2.81	141	23/03/2015	3.2	88

24/01/2015	3.74	107	24/02/2015	2.63	308	24/03/2015	2.95	49
25/01/2015	2.83	253	25/02/2015	2.4	272	25/03/2015	2.4	345
26/01/2015	2.67	281	26/02/2015	2.43	57	26/03/2015	2.3	76
27/01/2015	2.19	119	27/02/2015	2.78	331	27/03/2015	2.41	244
28/01/2015	2.13	308	28/02/2015	2.8	287	28/03/2015	2.38	292
29/01/2015	3.27	65				29/03/2015	2.41	297
30/01/2015	4.1	76				30/03/2015	2.57	26
31/01/2015	-38.88	114				31/03/2015	2.56	283

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/04/2015	2.44	88	01/05/2015	1.96	310	01/06/2015	2.07	282
02/04/2015	3.05	157	02/05/2015	2.18	286	02/06/2015	2.35	130
03/04/2015	2.69	206	03/05/2015	2.06	281	03/06/2015	2.35	42
04/04/2015	1.93	303	04/05/2015	2.14	294	04/06/2015	-39.77	299
05/04/2015	2.47	308	05/05/2015	2.04	320	05/06/2015	-39.93	285
06/04/2015	2.74	298	06/05/2015	2.1	309	06/06/2015	1.77	86
07/04/2015	2.45	147	07/05/2015	1.74	279	07/06/2015	1.87	299
08/04/2015	2.77	280	08/05/2015	1.93	313	08/06/2015	1.98	332
09/04/2015	-61.59	2	09/05/2015	2.24	280	09/06/2015	2	290
10/04/2015	2.06	64	10/05/2015	2.13	300	10/06/2015	2.06	292
11/04/2015	2	317	11/05/2015	2.42	117	11/06/2015	2.29	314
12/04/2015	2.03	204	12/05/2015	2.15	284	12/06/2015	2.38	296
13/04/2015	2.77	279	13/05/2015	2.03	297	13/06/2015	2.28	296
14/04/2015	2.84	178	14/05/2015	2.25	283	14/06/2015	2.1	335
15/04/2015	2.05	281	15/05/2015	1.97	272	15/06/2015	2.2	62
16/04/2015	2.28	213	16/05/2015	1.94	354	16/06/2015	1.97	311
17/04/2015	1.91	87	17/05/2015	2.11	284	17/06/2015	2.58	281
18/04/2015	2.32	279	18/05/2015	1.88	8	18/06/2015	2.36	302
19/04/2015	2.36	282	19/05/2015	2.58	291	19/06/2015	2.2	319
20/04/2015	2.08	68	20/05/2015	2.25	108	20/06/2015	2.19	76
21/04/2015	1.85	306	21/05/2015	2.07	294	21/06/2015	2.07	50
22/04/2015	1.9	281	22/05/2015	2.28	321	22/06/2015	1.94	317
23/04/2015	-44.84	184	23/05/2015	2.23	264	23/06/2015	2.47	74
24/04/2015	2.1	211	24/05/2015	2.43	290	24/06/2015	1.86	79
25/04/2015	2.5	273	25/05/2015	2.13	246	25/06/2015	1.96	298
26/04/2015	2.08	329	26/05/2015	2.29	316	26/06/2015	1.8	67
27/04/2015	2.63	4	27/05/2015	2.48	269	27/06/2015	2.23	321
28/04/2015	1.81	294	28/05/2015	1.99	309	28/06/2015	2.32	319
29/04/2015	2.14	320	29/05/2015	2.37	286	29/06/2015	2.35	303
30/04/2015	2.15	74	30/05/2015	2.43	91	30/06/2015	-41.33	71
			31/05/2015	2.05	355			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/07/2015	2.12	289	01/08/2015	2.39	314	01/09/2015	3.56	79
02/07/2015	2.13	302	02/08/2015	2.31	312	02/09/2015	3.47	82
03/07/2015	-37.44	12	03/08/2015	2.54	305	03/09/2015	3.21	239
04/07/2015	2.2	290	04/08/2015	2.42	53	04/09/2015	2.62	256
05/07/2015	2.75	259	05/08/2015	2.48	79	05/09/2015	1.9	274
06/07/2015	4.21	261	06/08/2015	2.46	335	06/09/2015	2.36	265
07/07/2015	-42.13	274	07/08/2015	2.42	90	07/09/2015	3.75	236
08/07/2015	-39.58	288	08/08/2015	2.36	309	08/09/2015	3.37	269
09/07/2015	1.93	316	09/08/2015	5.12	281	09/09/2015	2.8	229

10/07/2015	-39.6	289	10/08/2015	3.12	77	10/09/2015	2.85	331
11/07/2015	1.29	279	11/08/2015	2.7	312	11/09/2015	2.56	315
16/07/2015	2.14	304	12/08/2015	2.73	253	12/09/2015	3.13	295
17/07/2015	2.3	67	13/08/2015	2.24	257	13/09/2015	3.09	114
18/07/2015	2.51	312	14/08/2015	3.21	259	14/09/2015	2.95	78
19/07/2015	2.41	295	15/08/2015	2.44	303	15/09/2015	2.47	88
20/07/2015	2.39	311	16/08/2015	2.83	264	16/09/2015	2.94	75
21/07/2015	2.66	337	17/08/2015	2.65	292	17/09/2015	3.14	94
22/07/2015	2.26	311	18/08/2015	2.7	15	18/09/2015	2.84	121
23/07/2015	2.2	321	19/08/2015	2.28	288	19/09/2015	2.51	360
24/07/2015	2.31	344	20/08/2015	2.74	310	20/09/2015	3	72
25/07/2015	2.63	320	21/08/2015	3	78	21/09/2015	2.68	314
26/07/2015	2.29	104	22/08/2015	3.07	284	22/09/2015	2.44	286
27/07/2015	2.28	295	23/08/2015	2.28	311	23/09/2015	2.98	300
28/07/2015	2.03	338	24/08/2015	2.77	86	24/09/2015	2.34	232
29/07/2015	2.32	111	25/08/2015	2.67	105	25/09/2015	2.25	85
30/07/2015	-39.5	314	26/08/2015	2.89	241	26/09/2015	3.69	270
31/07/2015	2.05	294	27/08/2015	2.36	317	27/09/2015	3.61	250
			28/08/2015	2.43	80	28/09/2015	2.98	75
			29/08/2015	2.38	278	29/09/2015	3.24	105
			30/08/2015	2.29	290	30/09/2015	3.17	294
			31/08/2015	2.5	76			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/10/2015	2.69	309	01/11/2015	-38.47	137	01/12/2015	3.27	293
02/10/2015	2.68	95	02/11/2015	3.2	99	02/12/2015	2.59	270
03/10/2015	2.07	50	03/11/2015	3.3	265	03/12/2015	3.29	343
04/10/2015	2.27	283	04/11/2015	3.17	140	04/12/2015	3.68	153
05/10/2015	2.31	105	05/11/2015	3.01	73	05/12/2015	3.43	79
06/10/2015	2.58	98	06/11/2015	3.02	202	06/12/2015	3.96	161
07/10/2015	2.7	88	07/11/2015	3.4	295	07/12/2015	-37.66	93
08/10/2015	3.75	244	08/11/2015	3.26	105	08/12/2015	3.45	288
09/10/2015	3.38	282	09/11/2015	2.68	318	09/12/2015	2.72	76
10/10/2015	3.7	249	10/11/2015	-432.28	307	10/12/2015	3.53	287
11/10/2015	4.32	273	11/11/2015	-461.8	62	11/12/2015	3.26	88
12/10/2015	3.21	79	12/11/2015	-39.7	323	12/12/2015	2.71	22
13/10/2015	3.03	292	13/11/2015	-39.28	103	13/12/2015	-49.67	76
14/10/2015	2.94	299	14/11/2015	-38.96	93	14/12/2015	2.76	83
15/10/2015	2.86	303	15/11/2015	2.33	336	15/12/2015	3.07	52
16/10/2015	3.15	94	16/11/2015	-361.7	112	16/12/2015	3.98	76
17/10/2015	4.45	68	17/11/2015	-466.95	346	17/12/2015	3.06	316
18/10/2015	2.98	82	18/11/2015	3.36	290	18/12/2015	2.88	117
19/10/2015	3.17	47	19/11/2015	2.86	295	19/12/2015	3.13	275
20/10/2015	3.58	78	20/11/2015	3.47	74	20/12/2015	2.01	269
21/10/2015	3.1	38	21/11/2015	3.87	347	21/12/2015	2.9	123
22/10/2015	2.88	77	22/11/2015	-38.44	100	22/12/2015	2.63	318
23/10/2015	3.88	93	23/11/2015	-38.8	335	23/12/2015	3.49	244
24/10/2015	3.21	88	24/11/2015	2.98	328	24/12/2015	-39.05	263
25/10/2015	2.99	68	25/11/2015	-38.14	98	25/12/2015	-40.5	296
26/10/2015	2.46	92	26/11/2015	-83.24	-999	26/12/2015	3.05	86
27/10/2015	2.67	300	27/11/2015	3.45	306	27/12/2015	2.73	179
28/10/2015	-124.31	334	28/11/2015	3.3	74	28/12/2015	2.49	159
29/10/2015	2.69	102	29/11/2015	3.2	278	29/12/2015	2.88	75

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
30/10/2015	2.81	294	30/11/2015	2.5	346	30/12/2015	3.36	325
31/10/2015	3.13	307				31/12/2015	2.89	290
01/01/2016	2.74	82	01/02/2016	2.81	100	01/03/2016	2.15	81
02/01/2016	3.79	87	02/02/2016	421.74	326	02/03/2016	3.49	75
03/01/2016	-38.33	89	03/02/2016	2.13	49	03/03/2016	2.05	123
04/01/2016	3.13	290	04/02/2016	-39.14	151	04/03/2016	2.8	251
05/01/2016	3	288	05/02/2016	-465.28	285	05/03/2016	-39.54	203
06/01/2016	3.23	312	06/02/2016	2.88	308	06/03/2016	2.86	48
07/01/2016	3.76	313	07/02/2016	2.26	345	07/03/2016	2.72	304
08/01/2016	2.77	112	08/02/2016	-486.06	236	08/03/2016	2.78	311
09/01/2016	3.09	59	09/02/2016	2.88	178	09/03/2016	2.4	288
10/01/2016	3.28	167	10/02/2016	2.38	338	10/03/2016	1.72	316
11/01/2016	3	128	11/02/2016	2.12	324	11/03/2016	-41.13	315
12/01/2016	2.8	71	12/02/2016	2.73	78	12/03/2016	200.26	102
13/01/2016	-39.21	87	13/02/2016	3.23	75	13/03/2016	3.23	90
14/01/2016	2.99	312	14/02/2016	-40.59	309	14/03/2016	2.93	302
15/01/2016	2.8	68	15/02/2016	3.71	98	15/03/2016	-38.48	97
16/01/2016	3.4	181	16/02/2016	2.85	235	16/03/2016	3.24	107
17/01/2016	2.68	29	17/02/2016	2.61	115	17/03/2016	2.49	70
18/01/2016	2.99	83	18/02/2016	2.82	163	18/03/2016	2.32	103
19/01/2016	2.88	84	19/02/2016	2.93	182	19/03/2016	2.51	266
20/01/2016	2.35	49	20/02/2016	2.68	357	20/03/2016	2.35	268
21/01/2016	2.68	86	21/02/2016	2.55	113	21/03/2016	2.66	307
22/01/2016	-39.13	330	22/02/2016	3.2	313	22/03/2016	2.24	298
23/01/2016	2.58	89	23/02/2016	2.35	207	23/03/2016	2.53	312
24/01/2016	3.84	78	24/02/2016	2.6	255	24/03/2016	3.3	12
25/01/2016	3.47	77	25/02/2016	2.19	347	25/03/2016	3.35	293
26/01/2016	2.33	272	26/02/2016	97.2	193	26/03/2016	2.7	225
27/01/2016	2.77	282	27/02/2016	2.65	296	27/03/2016	3.19	307
28/01/2016	2.6	105	28/02/2016	2.67	171	28/03/2016	2.57	299
29/01/2016	3.05	108	29/02/2016	-80.36	-999	29/03/2016	-319.92	343
30/01/2016	2.99	74				30/03/2016	2.94	81
31/01/2016	3.39	62				31/03/2016	2.85	289

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/04/2016	2.63	302	01/05/2016	2.29	291	01/06/2016	3.14	246
02/04/2016	2.87	319	02/05/2016	2.69	315	02/06/2016	2.4	323
03/04/2016	3.27	71	03/05/2016	2.35	305	03/06/2016	2.16	299
04/04/2016	2.86	286	04/05/2016	2.39	103	04/06/2016	2.67	296
05/04/2016	3.33	272	05/05/2016	2.46	322	05/06/2016	1.98	331
06/04/2016	3.06	103	06/05/2016	2.57	332	06/06/2016	2.42	292
07/04/2016	2.58	211	07/05/2016	2.37	273	07/06/2016	2.65	313
08/04/2016	2.35	276	08/05/2016	2.43	277	08/06/2016	2.38	314
09/04/2016	2.21	333	09/05/2016	3.17	324	09/06/2016	2.12	300
10/04/2016	2.53	267	10/05/2016	2.66	327	10/06/2016	1.78	301
11/04/2016	2.3	296	11/05/2016	2.55	292	11/06/2016	1.85	131
12/04/2016	2.16	280	12/05/2016	2.32	89	12/06/2016	2.48	297
13/04/2016	2	296	13/05/2016	2.35	307	13/06/2016	2.54	309
14/04/2016	1.81	335	14/05/2016	2.09	299	14/06/2016	2.48	104
15/04/2016	2.47	190	15/05/2016	-39.31	301	15/06/2016	2.2	90

16/04/2016	2.54	284	16/05/2016	2.26	7	16/06/2016	2.32	324
17/04/2016	2.63	53	17/05/2016	3.39	310	17/06/2016	2.67	240
18/04/2016	2.25	246	18/05/2016	2.56	219	18/06/2016	2.36	82
19/04/2016	2.81	319	19/05/2016	2.76	316	19/06/2016	2.15	282
20/04/2016	1.97	317	20/05/2016	2.41	294	20/06/2016	2.76	292
21/04/2016	2.27	295	21/05/2016	2.15	98	21/06/2016	2.28	312
22/04/2016	1.31	320	22/05/2016	2.4	57	22/06/2016	1.9	297
23/04/2016	2.64	252	23/05/2016	2.71	119	23/06/2016	2.08	318
24/04/2016	2.79	253	24/05/2016	2.26	260	24/06/2016	2.98	325
25/04/2016	2.31	278	25/05/2016	2.41	272	25/06/2016	3.51	317
26/04/2016	2.27	311	26/05/2016	2.38	314	26/06/2016	2.67	305
27/04/2016	2.42	296	27/05/2016	2.58	294	27/06/2016	1.87	287
28/04/2016	2.58	88	28/05/2016	3.23	84	28/06/2016	2.79	248
29/04/2016	2.07	84	29/05/2016	2.6	231	29/06/2016	2.38	261
30/04/2016	2.06	104	30/05/2016	2.23	283	30/06/2016	2.37	111
			31/05/2016	3.11	117			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/07/2016	2.58	108	01/08/2016	2.23	105	01/09/2016	2.75	91
02/07/2016	2.41	109	02/08/2016	-39.21	107	02/09/2016	2.33	318
03/07/2016	2.29	294	03/08/2016	2.38	49	03/09/2016	2.22	286
04/07/2016	2.93	281	04/08/2016	2.13	59	04/09/2016	3.03	275
05/07/2016	3.38	268	05/08/2016	2.49	314	05/09/2016	3.28	257
06/07/2016	1.97	296	06/08/2016	2.5	316	06/09/2016	2.77	106
07/07/2016	1.43	281	07/08/2016	2.57	294	07/09/2016	3.18	116
08/07/2016	2.01	322	08/08/2016	2.98	264	08/09/2016	2.91	298
09/07/2016	2.44	296	09/08/2016	2.39	290	09/09/2016	2.57	48
10/07/2016	1.95	3	10/08/2016	2.7	81	10/09/2016	2.45	302
11/07/2016	2.57	288	11/08/2016	2.95	110	11/09/2016	2.36	293
12/07/2016	2.39	294	12/08/2016	2.46	11	12/09/2016	2.25	290
13/07/2016	2.24	323	13/08/2016	2.63	10	13/09/2016	3.1	122
14/07/2016	2.33	315	14/08/2016	2.59	113	14/09/2016	2.82	90
15/07/2016	2.05	275	15/08/2016	2.99	79	15/09/2016	2.58	82
16/07/2016	2.54	308	16/08/2016	2.64	54	16/09/2016	2.73	89
17/07/2016	2.29	298	17/08/2016	2.32	15	17/09/2016	3.26	316
18/07/2016	2.85	74	18/08/2016	-38.57	209	18/09/2016	3.1	53
19/07/2016	2.43	113	19/08/2016	2.29	316	19/09/2016	3.57	354
20/07/2016	1.88	315	20/08/2016	2.79	319	20/09/2016	2.57	300
21/07/2016	1.82	312	21/08/2016	2.5	306	21/09/2016	3.46	309
22/07/2016	2.05	291	22/08/2016	3.17	338	22/09/2016	3.41	316
23/07/2016	2.33	308	23/08/2016	3.41	87	23/09/2016	2.92	346
24/07/2016	2.43	94	24/08/2016	2.65	339	24/09/2016	2.83	91
25/07/2016	2.81	114	25/08/2016	2.63	107	25/09/2016	2.65	311
26/07/2016	1.9	117	26/08/2016	2.5	308	26/09/2016	-40.45	297
27/07/2016	2.18	124	27/08/2016	2.83	291	27/09/2016	2.95	84
28/07/2016	2.05	296	28/08/2016	4.08	238	28/09/2016	2.6	75
29/07/2016	2.13	322	29/08/2016	4.34	242	29/09/2016	2.88	288
30/07/2016	2.43	122	30/08/2016	2.9	274	30/09/2016	3.04	110
31/07/2016	2.37	310	31/08/2016	2.6	292			
Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/10/2016	3.27	81	01/11/2016	2.69	266	01/12/2016	2.84	67

02/10/2016	2.38	245	02/11/2016	-38.49	297	02/12/2016	2.85	129
03/10/2016	2.65	273	03/11/2016	3.15	336	03/12/2016	3.18	122
04/10/2016	2.71	150	04/11/2016	3.72	72	04/12/2016	3.03	71
05/10/2016	2.72	101	05/11/2016	2.96	107	05/12/2016	2.73	166
06/10/2016	2.71	210	06/11/2016	2.89	93	06/12/2016	2.98	204
07/10/2016	2.92	221	07/11/2016	3.32	293	07/12/2016	3.08	154
08/10/2016	3.18	87	08/11/2016	2.8	250	08/12/2016	2.95	338
09/10/2016	3.32	80	09/11/2016	2.74	128	09/12/2016	3.13	285
10/10/2016	1.92	199	10/11/2016	3.49	200	10/12/2016	3.4	84
11/10/2016	2.49	321	11/11/2016	2.87	111	11/12/2016	3.03	290
12/10/2016	2.59	292	12/11/2016	-38.51	294	12/12/2016	2.91	292
13/10/2016	3.58	91	13/11/2016	2.95	284	13/12/2016	3.2	99
14/10/2016	2.68	103	14/11/2016	3.11	318	14/12/2016	2.77	113
15/10/2016	2.73	294	15/11/2016	-462.85	101	15/12/2016	2.71	208
16/10/2016	2.92	293	16/11/2016	2.96	68	16/12/2016	3.13	77
17/10/2016	2.63	316	17/11/2016	3.14	277	17/12/2016	3.74	108
18/10/2016	2.91	14	18/11/2016	3.05	98	18/12/2016	3.38	78
19/10/2016	3.72	128	19/11/2016	-40.66	321	19/12/2016	3.08	107
20/10/2016	2.75	267	20/11/2016	3.42	314	20/12/2016	2.73	110
21/10/2016	2.5	102	21/11/2016	3.32	98	21/12/2016	3.2	113
22/10/2016	2.9	309	22/11/2016	3.67	299	22/12/2016	4.16	159
23/10/2016	3.22	249	23/11/2016	3.74	354	23/12/2016	2.72	317
24/10/2016	2.71	283	24/11/2016	3.35	117	24/12/2016	2.87	95
25/10/2016	2.74	190	25/11/2016	2.96	172	25/12/2016	2.55	302
26/10/2016	3.03	102	26/11/2016	3.42	209	26/12/2016	-42.9	350
27/10/2016	3.81	76	27/11/2016	2.91	318	27/12/2016	3.22	111
28/10/2016	4.29	73	28/11/2016	2.46	97	28/12/2016	3.43	320
29/10/2016	2.68	293	29/11/2016	3.85	270	29/12/2016	2.91	313
30/10/2016	2.55	284	30/11/2016	2.58	295	30/12/2016	2.98	170
31/10/2016	2.56	77				31/12/2016	3.1	312

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/01/2017	2.9	99	01/02/2017	2.7	310	01/03/2017	2.51	291
02/01/2017	2.5	105	02/02/2017	2.88	265	02/03/2017	2.14	297
03/01/2017	2.68	60	03/02/2017	2.97	185	03/03/2017	2.53	314
04/01/2017	3.44	312	04/02/2017	2.47	317	04/03/2017	2.47	306
05/01/2017	2.59	36	05/02/2017	2.82	89	05/03/2017	2.88	277
06/01/2017	2.44	183	06/02/2017	2.88	71	06/03/2017	2.01	314
07/01/2017	1.68	304	07/02/2017	2.22	328	07/03/2017	3.23	93
08/01/2017	2.09	113	08/02/2017	2.49	297	08/03/2017	3.6	79
09/01/2017	2.8	113	09/02/2017	2.41	315	09/03/2017	2.64	95
10/01/2017	3	103	10/02/2017	2.86	189	10/03/2017	2.73	112
11/01/2017	3.02	75	11/02/2017	2.5	64	11/03/2017	2.16	143
12/01/2017	3.43	84	12/02/2017	2.77	316	12/03/2017	2.71	88
13/01/2017	2.93	128	13/02/2017	2.93	73	13/03/2017	2.37	128
14/01/2017	2.56	256	14/02/2017	3.69	99	14/03/2017	3.15	73
15/01/2017	2.48	282	15/02/2017	3.21	335	15/03/2017	2.36	234
16/01/2017	3.2	97	16/02/2017	2.63	43	16/03/2017	2.27	288
17/01/2017	2.75	78	17/02/2017	2.42	280	17/03/2017	2.3	284
18/01/2017	2.75	145	18/02/2017	2.37	303	18/03/2017	2.65	107
19/01/2017	1.95	288	19/02/2017	2.38	289	19/03/2017	2.71	96
20/01/2017	-38.68	92	20/02/2017	2.47	331	20/03/2017	2.25	91
21/01/2017	3.08	142	21/02/2017	3.73	62	21/03/2017	2.57	81

22/01/2017	2.6	324	22/02/2017	2.37	94	22/03/2017	2.89	52
23/01/2017	2.79	100	23/02/2017	3	313	23/03/2017	2.97	95
24/01/2017	2.69	316	24/02/2017	3.46	88	24/03/2017	2.08	170
25/01/2017	2.59	133	25/02/2017	2.67	102	25/03/2017	2.43	314
26/01/2017	2.66	184	26/02/2017	2.51	176	26/03/2017	2.57	280
27/01/2017	2.95	95	27/02/2017	2.08	67	27/03/2017	2.69	67
28/01/2017	3.62	82	28/02/2017	2.35	279	28/03/2017	1.82	306
29/01/2017	3.18	60				29/03/2017	2.37	170
30/01/2017	2.53	88				30/03/2017	1.94	292
31/01/2017	2.29	341				31/03/2017	2.01	308

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/04/2017	2.68	254	01/05/2017	2.54	315	01/06/2017	2.2	89
02/04/2017	2.4	282	02/05/2017	2.1	314	02/06/2017	1.85	317
03/04/2017	2.55	75	03/05/2017	2.43	324	03/06/2017	2.2	6
04/04/2017	2.34	172	04/05/2017	2.05	309	04/06/2017	2.22	4
05/04/2017	2.08	290	05/05/2017	2.26	289	05/06/2017	1.94	289
06/04/2017	2.71	247	06/05/2017	2.48	308	06/06/2017	2.14	342
07/04/2017	2.58	284	07/05/2017	-39.63	100	07/06/2017	3.41	301
08/04/2017	2.38	283	08/05/2017	2.46	232	08/06/2017	3.73	243
09/04/2017	2.5	249	09/05/2017	2.08	297	09/06/2017	2.29	85
10/04/2017	2.72	105	10/05/2017	2.28	27	10/06/2017	2.14	79
11/04/2017	2.63	72	11/05/2017	2.36	271	11/06/2017	3.43	272
12/04/2017	2.99	196	12/05/2017	2.04	294	12/06/2017	2.92	240
13/04/2017	2.7	94	13/05/2017	2.69	243	13/06/2017	2.13	278
14/04/2017	1.99	296	14/05/2017	2.15	284	14/06/2017	2.18	110
15/04/2017	2.53	182	15/05/2017	2.09	285	15/06/2017	1.93	324
16/04/2017	2.27	51	16/05/2017	2	301	16/06/2017	2	303
17/04/2017	2.23	296	17/05/2017	2.97	83	17/06/2017	2.04	329
18/04/2017	2.14	276	18/05/2017	3.71	298	18/06/2017	2.05	307
19/04/2017	3.64	257	19/05/2017	2.45	52	19/06/2017	2.39	317
20/04/2017	2.01	302	20/05/2017	2.35	265	20/06/2017	2.21	304
21/04/2017	2	100	21/05/2017	2.73	111	21/06/2017	2.3	305
22/04/2017	1.59	325	22/05/2017	1.97	288	22/06/2017	2.34	282
23/04/2017	2.53	106	23/05/2017	1.86	305	23/06/2017	2.25	307
24/04/2017	2.03	290	24/05/2017	1.96	285	24/06/2017	2.12	313
25/04/2017	2.72	184	25/05/2017	1.89	301	25/06/2017	2.11	296
26/04/2017	2.36	309	26/05/2017	1.95	314	26/06/2017	2.33	98
27/04/2017	1.91	33	27/05/2017	1.61	325	27/06/2017	2.04	293
28/04/2017	2.94	99	28/05/2017	2.06	57	28/06/2017	2.29	103
29/04/2017	2.25	345	29/05/2017	2.09	169	29/06/2017	2.19	319
30/04/2017	2.04	300	30/05/2017	1.95	269	30/06/2017	2.53	60
			31/05/2017	1.88	294			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/07/2017	2.94	73	01/08/2017	2.42	107	01/09/2017	2.54	343
02/07/2017	2.1	314	02/08/2017	2.25	102	02/09/2017	2.52	65
03/07/2017	2.13	289	03/08/2017	2.01	296	03/09/2017	3.3	163
04/07/2017	2.07	329	04/08/2017	2.18	303	04/09/2017	3.57	213
05/07/2017	1.95	327	05/08/2017	2.26	112	05/09/2017	3.24	313
06/07/2017	2.16	310	06/08/2017	2.31	302	06/09/2017	2.65	293
07/07/2017	1.83	295	07/08/2017	2.4	103	07/09/2017	2.43	281

08/07/2017	2.26	297	08/08/2017	2.44	298	08/09/2017	2.5	308
09/07/2017	2.05	310	09/08/2017	2.3	285	09/09/2017	2.28	296
10/07/2017	2.58	96	10/08/2017	2.58	259	10/09/2017	2.64	262
11/07/2017	2.18	282	11/08/2017	4.51	293	11/09/2017	2.58	315
12/07/2017	2.07	307	12/08/2017	4.1	294	12/09/2017	2	41
13/07/2017	2.01	298	13/08/2017	2.57	279	13/09/2017	2.37	128
14/07/2017	2.33	113	14/08/2017	2.3	266	14/09/2017	2.7	274
15/07/2017	2.32	201	15/08/2017	2.09	303	15/09/2017	1.67	169
16/07/2017	1.92	105	16/08/2017	2.1	177	16/09/2017	3.14	101
17/07/2017	2.07	359	17/08/2017	2.53	245	17/09/2017	2.3	307
18/07/2017	2.55	101	18/08/2017	2.15	308	18/09/2017	1.98	54
19/07/2017	2.38	300	19/08/2017	2.6	282	19/09/2017	2.2	67
20/07/2017	2.3	300	20/08/2017	2.53	311	20/09/2017	2.98	115
21/07/2017	2.05	103	21/08/2017	2.52	77	21/09/2017	2.69	323
22/07/2017	2.4	306	22/08/2017	2.5	337	22/09/2017	2.67	53
23/07/2017	2.13	75	23/08/2017	2.46	305	23/09/2017	1.98	70
24/07/2017	1.93	89	24/08/2017	2.83	317	24/09/2017	2.85	91
25/07/2017	2.07	320	25/08/2017	2.56	304	25/09/2017	2.77	122
26/07/2017	2.04	114	26/08/2017	2.79	86	26/09/2017	3.03	109
27/07/2017	1.95	280	27/08/2017	2.6	294	27/09/2017	2.87	68
28/07/2017	2.08	80	28/08/2017	2.75	65	28/09/2017	2.87	107
29/07/2017	1.89	308	29/08/2017	2.33	80	29/09/2017	2.98	294
30/07/2017	2.4	303	30/08/2017	3.16	284	30/09/2017	2.82	106
31/07/2017	2.46	295	31/08/2017	2.41	301			

Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Día/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/10/2017	4.05	311	01/11/2017	2.61	81	01/12/2017	3.39	96
02/10/2017	-38.49	108	02/11/2017	2.7	301	02/12/2017	2.83	103
03/10/2017	2.73	308	03/11/2017	3	322	03/12/2017	3.78	90
04/10/2017	2.75	326	04/11/2017	3	75	04/12/2017	3.03	287
05/10/2017	2.64	132	05/11/2017	2.7	3	05/12/2017	2.72	347
06/10/2017	2.83	302	06/11/2017	3.59	122	06/12/2017	3.43	99
07/10/2017	2.77	290	07/11/2017	3.19	75	07/12/2017	3.52	103
08/10/2017	2.92	80	08/11/2017	2.5	314	08/12/2017	3.05	174
09/10/2017	3.42	112	09/11/2017	2.62	138	09/12/2017	2.83	313
10/10/2017	3	123	10/11/2017	2.66	323	10/12/2017	2.93	68
11/10/2017	3.05	99	11/11/2017	3.64	94	11/12/2017	2.97	58
12/10/2017	-39.12	301	12/11/2017	3.2	303	12/12/2017	3.49	188
13/10/2017	2.4	222	13/11/2017	3.06	76	13/12/2017	2.65	43
14/10/2017	3.36	81	14/11/2017	3.19	83	14/12/2017	3.32	73
15/10/2017	3.07	41	15/11/2017	3.03	97	15/12/2017	3.6	61
16/10/2017	2.59	86	16/11/2017	4.05	224	16/12/2017	3.2	72
17/10/2017	2.14	12	17/11/2017	2.5	187	17/12/2017	2.62	153
18/10/2017	2.14	288	18/11/2017	2.64	305	18/12/2017	2.73	289
19/10/2017	2.52	51	19/11/2017	3.01	137	19/12/2017	2.92	71
20/10/2017	2.89	300	20/11/2017	-38.58	96	20/12/2017	3.2	57
21/10/2017	2.5	312	21/11/2017	2.73	320	21/12/2017	2.37	187
22/10/2017	2.79	283	22/11/2017	3.2	41	22/12/2017	2.22	286
23/10/2017	2.4	2	23/11/2017	2.52	303	23/12/2017	2.63	316
24/10/2017	2.64	296	24/11/2017	2.54	72	24/12/2017	2.75	67
25/10/2017	3.34	249	25/11/2017	3.15	83	25/12/2017	2.48	238
26/10/2017	2.58	118	26/11/2017	2.97	256	26/12/2017	2.52	101
27/10/2017	2.99	353	27/11/2017	4.09	270	27/12/2017	2.55	298

28/10/2017	2.23	284	28/11/2017	2.69	231	28/12/2017	3.45	93
29/10/2017	2.94	339	29/11/2017	2.4	106	29/12/2017	2.75	81
30/10/2017	3.11	109	30/11/2017	2.87	291	30/12/2017	2.5	104
31/10/2017	3.17	77				31/12/2017	2.29	119
Dia/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Dia/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Dia/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/01/2018	2.8	188	01/02/2018	2.26	215	01/03/2018	3.48	92
02/01/2018	2.4	295	02/02/2018	2.69	109	02/03/2018	2.51	316
03/01/2018	2.32	310	03/02/2018	2.86	106	03/03/2018	2.48	286
04/01/2018	2.36	106	04/02/2018	2.74	88	04/03/2018	2.58	140
05/01/2018	2.5	108	05/02/2018	2.69	171	05/03/2018	1.9	287
06/01/2018	3.55	191	06/02/2018	3.03	235	06/03/2018	2.88	331
07/01/2018	3.23	53	07/02/2018	2.45	84	07/03/2018	1.65	254
08/01/2018	3.44	83	08/02/2018	3.43	155	08/03/2018	1.86	324
09/01/2018	3.21	198	09/02/2018	3.28	216	09/03/2018	2.17	271
10/01/2018	3.26	60	10/02/2018	2.46	112	10/03/2018	2.35	58
11/01/2018	3.39	89	11/02/2018	2.73	158	11/03/2018	2.11	307
12/01/2018	2.53	74	12/02/2018	2.46	93	12/03/2018	2.1	84
13/01/2018	1.94	284	13/02/2018	2.23	318	13/03/2018	2.36	33
14/01/2018	2.52	295	14/02/2018	4.74	97	14/03/2018	2.24	317
15/01/2018	2.5	263	15/02/2018	3.78	80	15/03/2018	-465.5	187
16/01/2018	2.56	340	16/02/2018	3.4	97	16/03/2018	2.28	44
17/01/2018	2.77	102	17/02/2018	2.31	67	17/03/2018	2.17	298
18/01/2018	3.37	97	18/02/2018	2.53	210	18/03/2018	2.45	282
19/01/2018	2.84	101	19/02/2018	2.51	281	19/03/2018	2.5	336
20/01/2018	2.49	307	20/02/2018	2.78	326	20/03/2018	3.43	94
21/01/2018	2.7	309	21/02/2018	3.27	161	21/03/2018	2.91	73
22/01/2018	2.41	89	22/02/2018	2.17	100	22/03/2018	2.44	281
23/01/2018	3.4	158	23/02/2018	2.69	128	23/03/2018	2.34	69
24/01/2018	2.28	16	24/02/2018	3.4	327	24/03/2018	2.21	358
25/01/2018	3.23	86	25/02/2018	3.03	54	25/03/2018	2.31	90
26/01/2018	2.1	289	26/02/2018	2.8	55	26/03/2018	2.4	242
27/01/2018	2.53	102	27/02/2018	2.31	182	27/03/2018	2.61	281
28/01/2018	2.6	95	28/02/2018	2.45	114	28/03/2018	2.19	261
29/01/2018	2.35	337				29/03/2018	2.39	345
30/01/2018	2.68	305				30/03/2018	2.84	97
31/01/2018	3.18	158				31/03/2018	2.5	266

Dia/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Dia/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Dia/mes/año	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento
01/04/2018	2.41	167	01/05/2018	2.29	288	01/06/2018	2.04	268
02/04/2018	2.69	64	02/05/2018	1.98	290	02/06/2018	2.48	303
03/04/2018	2.52	231	03/05/2018	2.03	282	03/06/2018	1.61	57
04/04/2018	2.68	309	04/05/2018	2.6	155	04/06/2018	1.79	302
05/04/2018	2.6	80	05/05/2018	2.43	318	05/06/2018	2.05	67
06/04/2018	1.95	288	06/05/2018	2.13	312	06/06/2018	2.38	100
07/04/2018	2.39	284	07/05/2018	2.05	286	07/06/2018	2.25	113
08/04/2018	2.47	284	08/05/2018	2.28	301	08/06/2018	2.22	238
09/04/2018	2.94	299	09/05/2018	2.38	224	09/06/2018	2	313
10/04/2018	2.38	59	10/05/2018	2.04	298	10/06/2018	2.8	305
11/04/2018	2.14	296	11/05/2018	2.27	301	11/06/2018	3.22	250
12/04/2018	2.26	102	12/05/2018	1.91	358	12/06/2018	2.47	268
13/04/2018	2.7	75	13/05/2018	3.31	245	13/06/2018	1.83	318

14/04/2018	2.46	104	14/05/2018	2.28	154	14/06/2018	2.03	319
15/04/2018	2.2	309	15/05/2018	2.11	100	15/06/2018	1.92	293
16/04/2018	2.85	101	16/05/2018	2.2	306	16/06/2018	2.22	112
17/04/2018	2.52	286	17/05/2018	2.43	270	17/06/2018	1.88	49
18/04/2018	2.72	90	18/05/2018	2.29	296	18/06/2018	1.92	47
19/04/2018	2.42	99	19/05/2018	2.14	126	19/06/2018	2.29	318
20/04/2018	2.04	118	20/05/2018	2.3	320	20/06/2018	2.15	103
21/04/2018	1.93	56	21/05/2018	2.62	292	21/06/2018	1.86	313
22/04/2018	2.54	301	22/05/2018	2.55	333	22/06/2018	1.56	301
23/04/2018	2.84	99	23/05/2018	2.59	177	23/06/2018	1.97	82
24/04/2018	3.1	283	24/05/2018	2.33	98	24/06/2018	2.2	287
25/04/2018	2.97	102	25/05/2018	2.09	324	25/06/2018	2.55	163
26/04/2018	2.52	146	26/05/2018	2.23	65	26/06/2018	2.07	311
27/04/2018	1.96	64	27/05/2018	2.38	86	27/06/2018	2.28	95
28/04/2018	2.58	292	28/05/2018	2.33	303	28/06/2018	2.28	288
29/04/2018	2.07	298	29/05/2018	2.36	307	29/06/2018	2.3	293
30/04/2018	2.02	104	30/05/2018	2.37	337	30/06/2018	2.09	111
			31/05/2018	2.55	105			

Anexo N° 02: Datos seleccionados de (ISIDRO & VALDIVIA, 2017).

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR-EÓLICA PARA LA EPIME - PUNO, 2015							
N°	HORA	FECHA	LUGAR	COORDENADAS UTM		VEL. VIENTO	POTEN. AEROG.
				ESTE	NORTE	m/s	Watts
1	8:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	53.76
2	8:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	55.30
3	8:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	56.84
4	8:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.80	58.38
5	8:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	60.06
6	8:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	61.60
7	9:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	63.14
8	9:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	64.64
9	9:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	4.90	66.22
10	9:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.00	67.76
11	9:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	69.30
12	9:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.35	83.30
13	10:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.90	97.30
14	10:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.50	111.30
15	10:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.50	84.98
16	10:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.60	86.52
17	10:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	88.06
18	10:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	89.60
19	11:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	103.60
20	11:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	117.60
21	11:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	84.98
22	11:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	86.52
23	11:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.20	88.06
24	11:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.20	89.60
25	12:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.30	91.14
26	12:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.30	92.82
27	12:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.20	94.36
28	12:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.40	95.90
29	12:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.30	97.44
30	12:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.50	95.20
31	13:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	105.00
32	13:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.35	105.00
33	13:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.90	105.00
34	13:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	5.50	95.20
35	13:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.50	112.00
36	13:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.60	121.80
37	14:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.40	119.00
38	14:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	126.00
39	14:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	123.20
40	14:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.80	123.20
41	14:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	124.60
42	14:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	128.80
43	15:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.10	131.60
44	15:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	124.60
45	15:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.20	131.60
46	15:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.30	134.40
47	15:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.70	140.00
48	15:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.50	147.00
49	16:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.60	147.00
50	16:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.00	154.00
51	16:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.70	151.20
52	16:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.00	156.80
53	16:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.90	155.40
54	16:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.00	158.20
55	17:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	6.90	124.60
56	17:10	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.10	156.80
57	17:20	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.00	137.20
58	17:30	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.30	161.00
59	17:40	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.80	152.60
60	17:50	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	8.40	162.40
61	18:00	30/07/2016	VENTILLA (ALTO PUNO)	388000	8247971	7.70	151.20

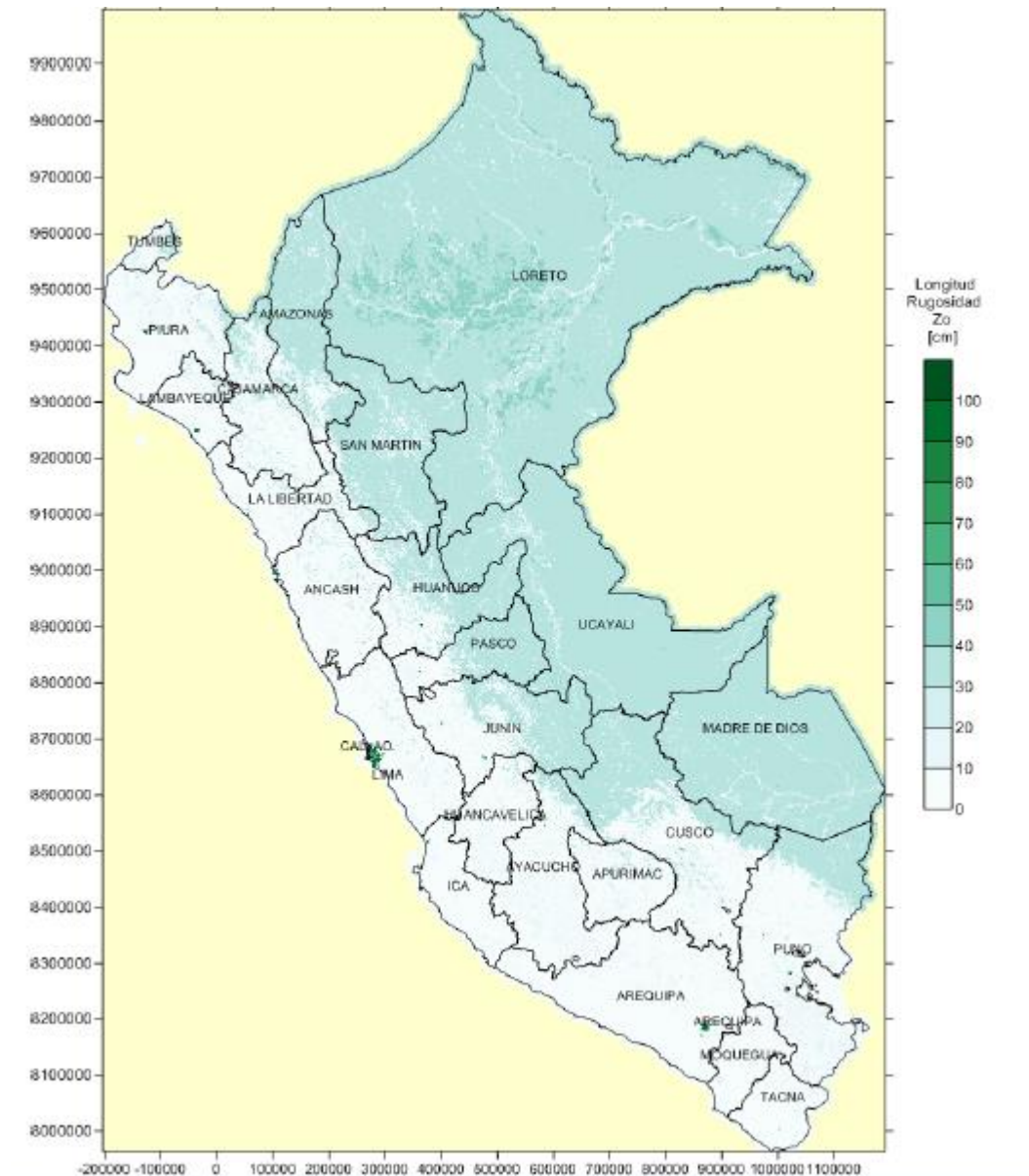
Anexo N° 03: Datos seleccionados de Atlas Eólico del Perú.

Altitud media		4000 m			
Longitud y rugosidad Zo		clase de rug.	Zo	ind. De E %	
		0.5	0.0024 m	73%	
Pendiente en grados		0° - 5°			
PARAMETROS DE WEIBULL					
	10m	25m	75m	100m	125m
Factor de escala A (m/s)	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0
Factor de forma K	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.5
POTENCIAL EÓLICO ANUAL					
WS (m/s)	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0
DENSIDAD DE POTENCIA MEDIA ANUAL DEL VIENTO					
WPD (w/m2)	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
POTENCIAL EÓLICO MENSUAL WS (m/s)					
enero	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0
febrero	3.0 - 4.0	5.0 - 6.0	6.0 - 7.0	6.0 - 7.0	6.0 - 7.0
marzo	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0
abril	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0
mayo	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0
junio	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0
julio	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0
agosto	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0	3.0 - 4.0
setiembre	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0
octubre	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0
noviembre	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0
diciembre	3.0 - 4.0	4.0 - 5.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0	5.0 - 6.0
DENSIDAD DE POTENCIA MEDIA DEL VIENTO WPD (w/m2)					
enero	0 - 100	0 - 100	100 - 200	100 - 200	100 - 200
febrero	0 - 100	0 - 100	100 - 200	100 - 200	100 - 200
marzo	0 - 100	0 - 100	100 - 200	100 - 200	100 - 200
abril	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
mayo	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
junio	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
julio	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
agosto	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
setiembre	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
octubre	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
noviembre	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100
diciembre	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	100 - 200

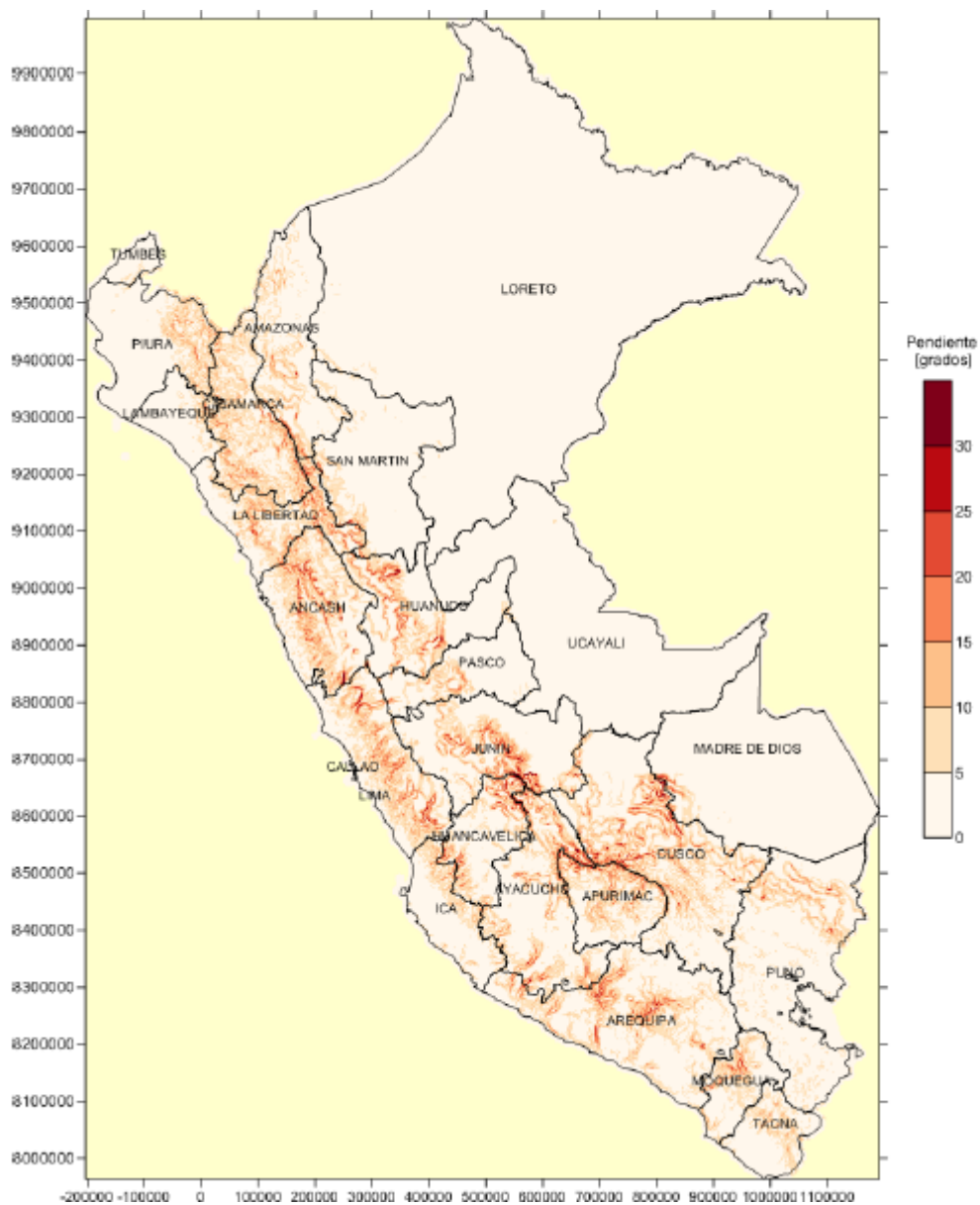
Fuente: (VORTEX FACTORIA DE CALCULS, 2016)

Anexo N° 04: Atlas eólico del Perú.

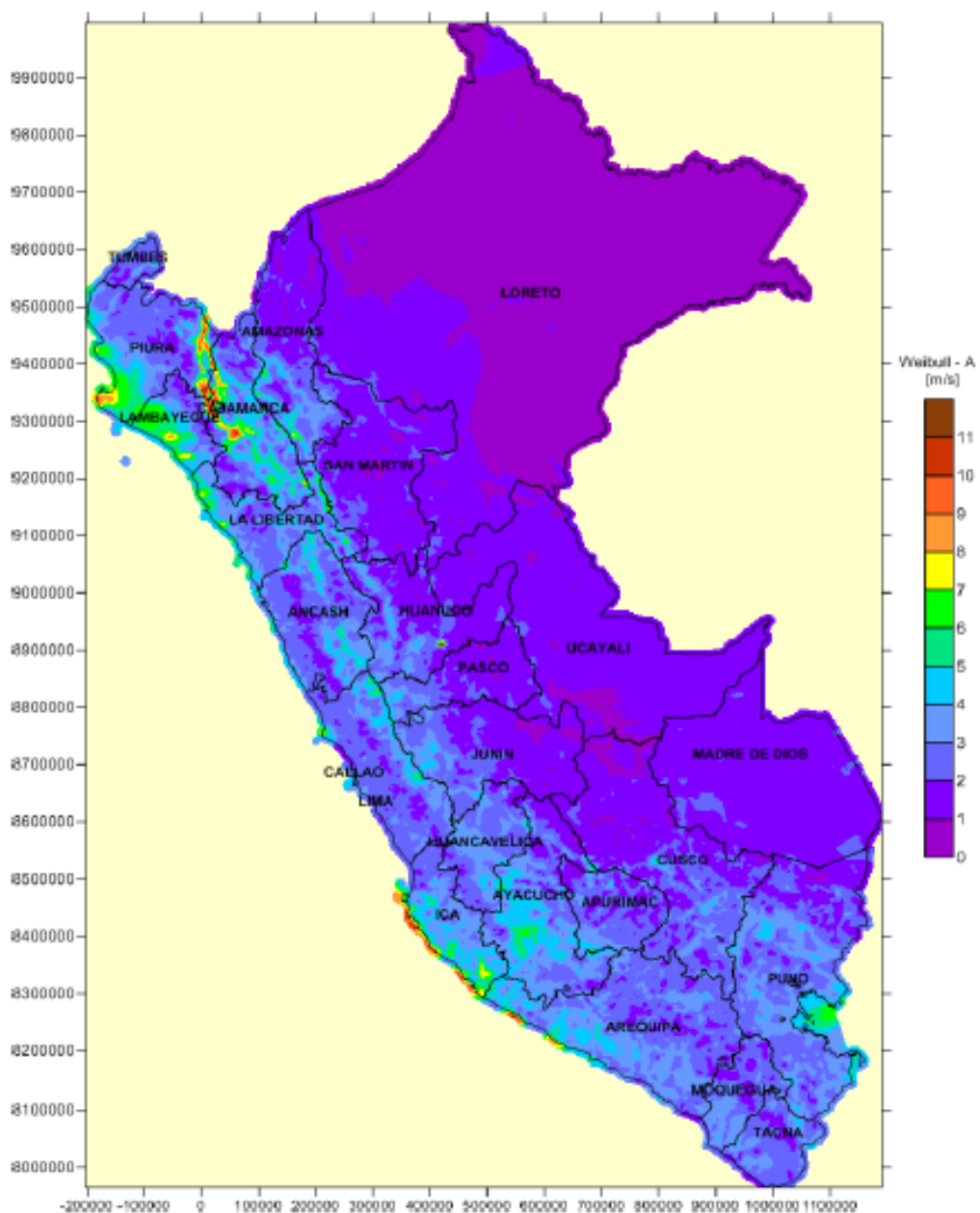
Rugosidad del terreno



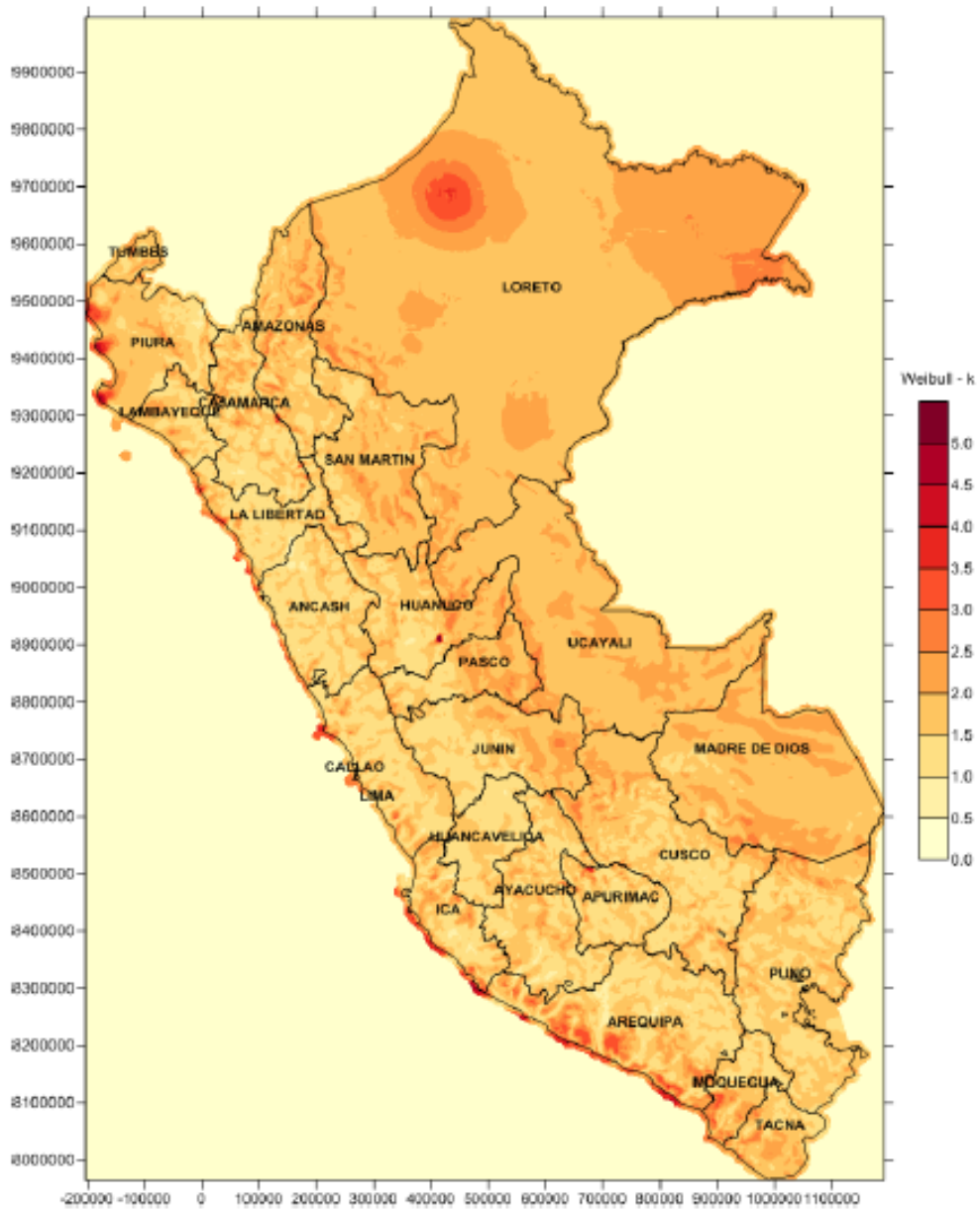
Pendiente del terreno



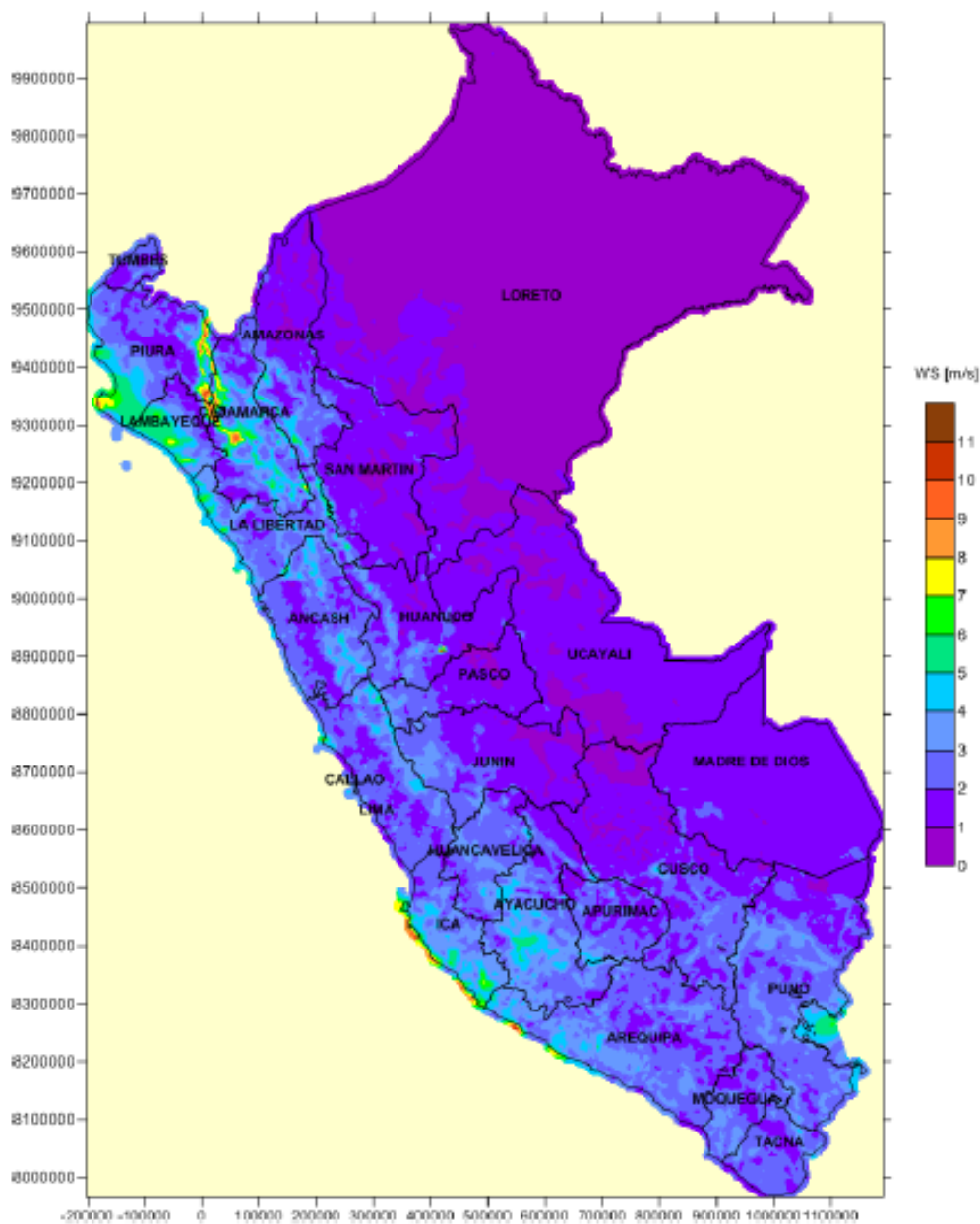
FACTOR DE ESCALA DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL A 10 m



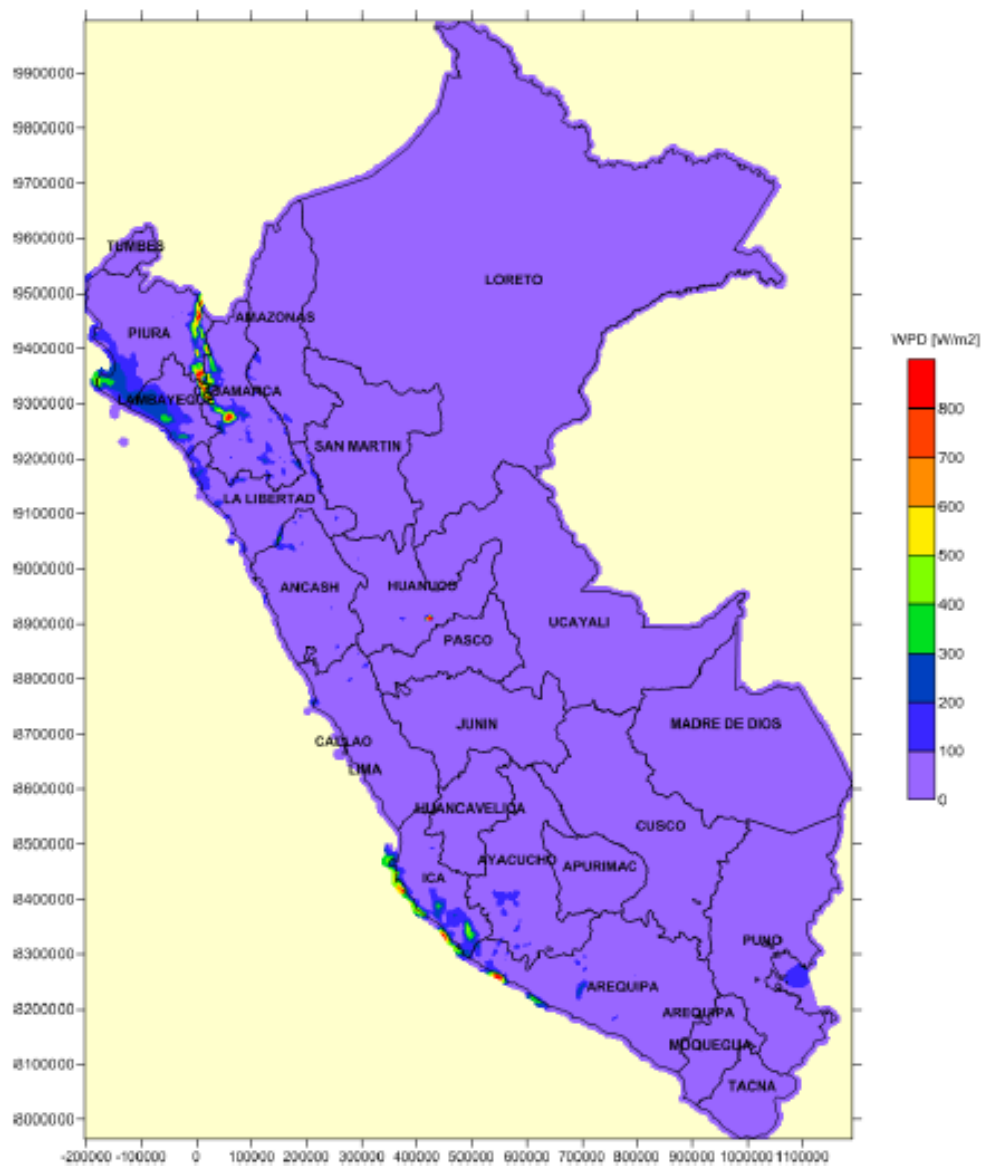
FACTOR DE FORMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL A 10 m



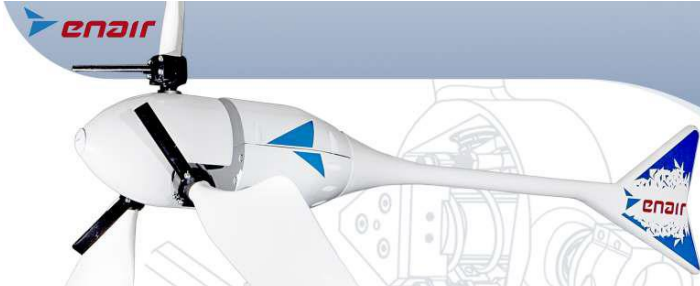
VELOCIDAD MEDIA ANUAL DEL VIENTO A 10 m



DENSIDAD DE POTENCIA MEDIA ANUAL DEL VIENTO A 10 m



Anexo N° 05: Características del aerogenerador modelo E30PRO de 3 KW.

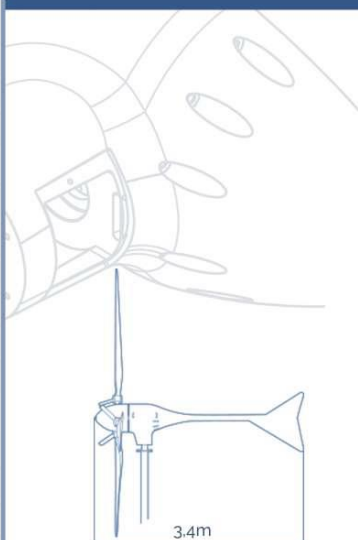

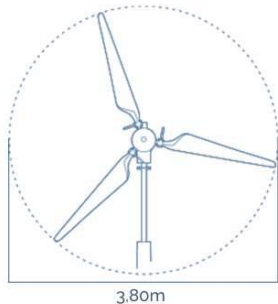


E30PRO

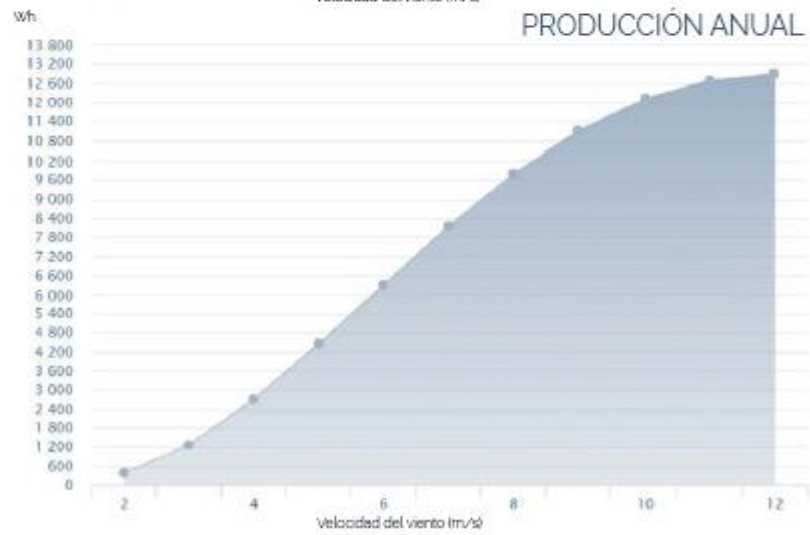
FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 30PRO es capaz de generar más de 30kWh/día

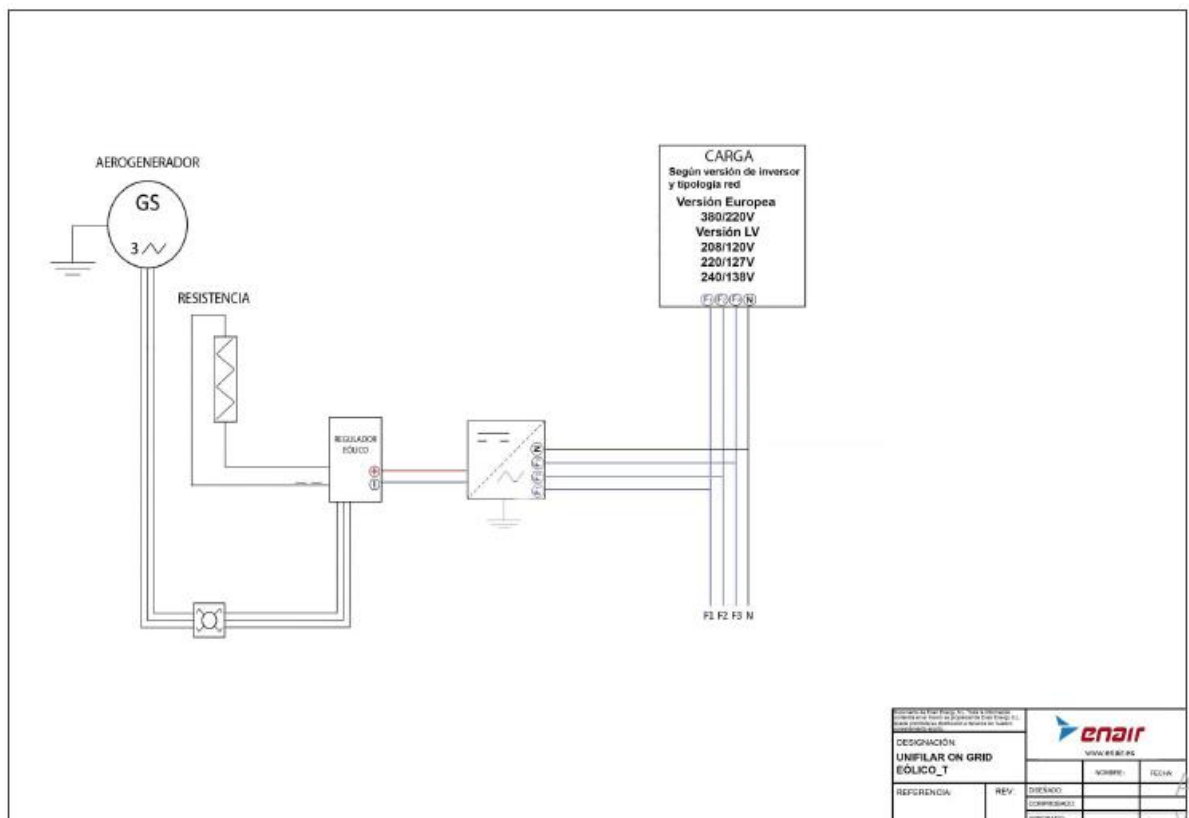
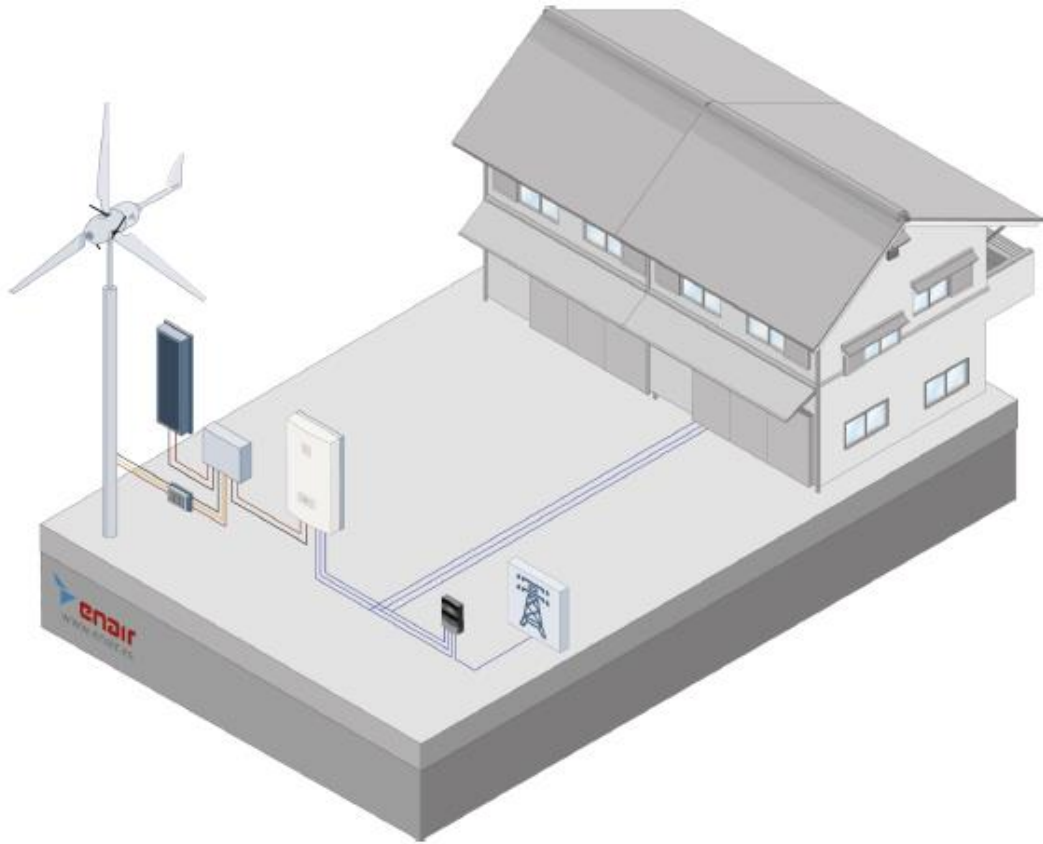
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO	
Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	3000W
Potencia Nominal	1900W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	3.80m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	11.34m ²
Peso	125kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	<ul style="list-style-type: none"> - Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosía, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable

CLASS I WIND TURBINE
IEC 61400-2/NVI-A



Anexo N° 06: Esquema de conexión a Red.



Cargador y controlador EÓLICO.

Cargador EÓLICO ENAIR - PRO - 120A – 24/48V
Características

- Control de carga de viento avanzada a DC y disipación a resistencia.
- Regulador para sistemas de 24 y 48V y corriente de 120A.
- La carga en cuatro etapas: inicial, absorción, flotación y ecualización, permite maximizar el rendimiento del sistema y aumenta la duración de las baterías.
- Display LCD multifunción con información detallada
- Todas las funciones principales se pueden ajustar con los interruptores DIP



Controlador EÓLICO ENAIR PRO-GRID
Características

- Amplio rango de voltaje de entrada
- Su alta eficiencia garantiza una eficiente transmisión de potencia
- Protección del equipo eléctrico cuando cae la red eléctrica de repente

