



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA POTENCIA EÓLICA EN LAS PROVINCIAS DE
CUSCO, CALCA, CANCHIS 2017 – 2021**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA**

AUTOR:

Br. MAYRA IRINA GARCIA LA TORRE

ASESORA:

Dra. SALINOVA CARRILLO SEGURA

CÓDIGO ORCID:

0000-0002-8462-0615

CUSCO-PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado:

EVALUACIÓN DE LA POTENCIA EÓLICA EN LAS PROVINCIAS DE CUSCO, CALCA, CANCHIS 2017-2021

presentado por: Bachiller Mayra Irina García La Torre con Nro. de DNI: 2 3 8 7 6 0 5 9 ,
para optar el título profesional/grado académico de Maestro en Ciencias mención Física

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por dos veces,
mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema
Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ocho
(8%)

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 20 de Diciembre de 2023



.....
Firma

Post firma Salinova Carrillo Segura

Nro. de DNI 23983417

ORCID del Asesor 0000-0002-8462-0615

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: Identificación de reporte de similitud: oid:27259:282264263

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE LA POTENCIA EÓLICA
EN LAS PROVINCIAS DE CUSCO, CALCA,
CANCHIS 2017 - 2021**

AUTOR

MAYRA IRINA GARCÍA LA TORRE

RECUENTO DE PALABRAS

13193 Words

RECUENTO DE CARACTERES

71817 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

94 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.4MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 1, 2023 1:24 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 1, 2023 1:25 AM GMT-5**● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- Material bibliográfico
- Material citado
- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

DEDICATORIA

A mis amados padres:

Benjamín y Judith, que Dios los tenga en su gloria,

Siempre agradecida por su esfuerzo.

Recordando las palabras de mi señor padre:

Nunca es tarde para estudiar y lograr tus
metas.

A mi querido hermano:

Héctor, desde el cielo,
me sigue cuidando como un ángel.

A mis amados hijos: Ricardo y Daniela

Por ser fuente de inspiración para superarme,

por su apoyo emocional al realizar dicha tesis.

Mayra Irina García La Torre

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco y a la Escuela de posgrado Maestría en Física, por brindarme la oportunidad de estudiar en sus aulas, quiero agradecer de manera especial a mis docentes por transmitirme sus conocimientos.

De manera especial a mis dictaminantes de la tesis: Dr. Edilberto Atau Enriquez y Dr. Milton Rojas Gamarra por compartir sus conocimientos.

Un agradecimiento especial a mi asesora de tesis: Dra. SALINOVA CARRILO SEGURA, por su constante apoyo, enseñanza de sus conocimientos, paciencia, su apoyo emocional, sus consejos para poder lograr uno de mis sueños.

El autor

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE	iv
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
PRESENTACION.....	ix
RESUMEN.....	x
REPILOGO	xi
INTRODUCCION	xii
CAPÍTULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Situación problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.3. Justificación de la investigación	2
1.4. Objetivos de la investigación.....	2
1.4.1. Objetivos generales	2
CAPÍTULO II	3
2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	3
2.1. Bases teóricas	3
2.1.1. Energía Renovable.	3
2.1.2. Clasificación de las Fuentes Renovables.	4
2.1.3. Distribución de Weibull para determinar el potencial eólico.....	6
2.1.4. Ecuaciones de la distribución de Weibull	7
2.1.5. Métodos para estimar los parámetros de Weibull c y k.	9
2.1.6. Estimación de indicadores de viento	9
2.1.7. Evolución histórica de las energías renovables.....	10
2.1.8. Potencia eólica obtenida del viento	11
2.2. Marco conceptual (palabras clave).....	12
2.2.1. Potencial Eléctrico.....	12
2.2.2. El viento.....	12
2.2.3. Energía Eólica	12
2.2.4. Velocidad del viento.....	13

2.3.	Antecedentes Empíricos de la Investigación (Estado del Arte)	13
2.3.1.	Antecedentes Internacionales	13
2.3.2.	Antecedentes Nacionales.....	17
CAPÍTULO III		19
3.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	19
3.1.	Hipótesis	19
3.1.1.	Hipótesis general	19
3.1.2.	Identificación de variables	19
CAPÍTULO IV		20
4.	METODOLOGIA	20
4.1.	Ámbito de estudio localización política y geográfica	20
4.2.	Tipo y nivel de investigación.....	20
4.2.1.	Tipo de investigación	20
4.2.2.	Nivel de investigación.....	20
4.3.	Unidad de análisis.....	20
4.4.	Población de estudio	21
4.5.	Tamaño de muestra.....	21
4.6.	Técnicas de observación y muestreo	21
4.7.	Técnicas de análisis e interpretación de la información	21
4.8.	Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas.....	21
CAPÍTULO V		23
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1.	Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados	23
5.2.	Pruebas de hipótesis.....	34
5.3.	Presentación de resultados.....	35
5.4.	Presentación de resultados de la provincia de Calca	58
5.5.	Presentación de resultados provincia de Canchis	61
CONCLUSIONES		65
RECOMENDACIONES		67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		68
ANEXOS.....		70

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Datos de la velocidad del viento provincia de Cusco años 2017 al 2020 ..</i>	Error!
Marcador no definido.	
<i>Tabla 2 Datos de la velocidad del viento provincia de Calca años 2017 al 2020...</i>	Error!
Marcador no definido.	
<i>Tabla 3 Datos de la velocidad del viento de la provincia de Canchis años 2017 al 2020</i>	Error!
Marcador no definido.	
<i>Tabla 4 Velocidad media y densidad de potencia a 25m de altura provincia Cusco</i>	33
<i>Tabla 5 La variación de la velocidad media y la densidad de potencia provincia de Cusco</i>	34
<i>Tabla 6 Los valores de k (factor de la forma) y c (factor de Escala en m/s)</i>	36
<i>Tabla 7 Variación de la velocidad media y densidad de potencia con la altura</i>	39
<i>Tabla 8 Velocidad máxima y mínima del viento en m/s provincia del Cusco</i>	40
<i>Tabla 9 Densidad de potencia con respecto a la estación de otoño (marzo, abril, mayo, junio) provincia del Cusco</i>	40
<i>Tabla 10 Densidad de potencia de provincia del Cusco estación de invierno (junio, julio, agosto, setiembre)</i>	44
<i>Tabla 11 Densidad de potencia provincia del Cusco, estación de verano (diciembre, enero, febrero, marzo)</i>	48
<i>Tabla 12 Densidad de potencia provincia del Cusco, estación primavera (setiembre , octubre, noviembre, diciembre)</i>	52
<i>Tabla 13 Densidad de potencia para el año 2020 (provincia del Cusco)</i>	56
<i>Tabla 14 Velocidades máximas y mínimas del viento años 2017 al 2020 (provincia de Calca)</i>	58
<i>Tabla 15 Densidad de potencia y velocidad máxima para el año 2020 (provincia de Calca)</i>	60
<i>Tabla 16 Velocidad máxima y mínimas del viento años 2017 al 2020 (provincia de Canchis)</i>	61
<i>Tabla 17 Densidad de potencia y velocidad máxima año 2020 (provincia de Canchis)</i>	64

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Tendencia mensual de la velocidad máxima del viento provincia del Cusco</i>	27
<i>Figura 2 Tendencia mensual de la velocidad mínima del viento de la provincia del Cusco</i>	28
<i>Figura 3 Rango de Variación de la velocidad promedio del viento provincia del Cusco</i>	29
<i>Figura 4 Rosa del viento de los años 2018 y 2019</i>	30
<i>Figura 5 Las funciones de probabilidad de Weibull para las alturas 10 y 25 metros</i>	32
<i>Figura 6 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada de los años 2017 al 2021 provincia del Cusco</i>	37
<i>Figura 7 Distribución de probabilidad del viento mes de junio provincia del Cusco 2017 al 2021</i>	37
<i>Figura 8 Distribución de probabilidad del mes setiembre provincia del Cusco 2017 al 2021</i>	38
<i>Figura 9 Distribución de probabilidad del viento mes de agosto provincia del Cusco 2017 al 2021</i>	39
<i>Figura 10 Ajuste lineal de la densidad de potencia provincia del Cusco estación otoño</i>	41
<i>Figura 11 Distribución del viento para la estación de otoño mes mayo (provincia del Cusco)</i>	42
<i>Figura 12 Distribución del viento para la estación mes junio (provincia del Cusco)</i>	42
<i>Figura 13 Distribución del viento para la estación de otoño mes abril (provincia del Cusco)</i>	43
<i>Figura 14 Distribución del viento para la estación de otoño mes marzo (provincia del Cusco)</i>	44
<i>Figura 15 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada para la estación invierno (provincia del Cusco)</i>	45
<i>Figura 16 Distribución de probabilidad del viento para la estación de invierno mes setiembre (provincia del Cusco)</i>	46
<i>Figura 17 Distribución del viento para la estación de invierno mes de junio (provincia del Cusco)</i>	46
<i>Figura 18 Distribución del viento para la estación de invierno mes julio (provincia del Cusco)</i>	47
<i>Figura 19 Distribución del viento para la estación de invierno mes agosto (provincia del Cusco)</i>	47

<i>Figura 20 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada para la estación de verano (provincia del Cusco).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 21 Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes diciembre (provincia del Cusco).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22 Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes enero (provincia del Cusco).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 23 Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes febrero (provincia del Cusco).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24 Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes marzo (provincia del Cusco).....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 25 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada de la estación de primavera (provincia del Cusco).....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 26 Distribución de Probabilidad del viento para la estación de primavera mes setiembre (provincia del Cusco).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 27 Distribución de probabilidad del viento para la estación de primavera mes octubre (provincia del Cusco).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 28 Distribución de probabilidad del viento para la estación de primavera mes noviembre (provincia del Cusco)</i>	<i>55</i>
<i>Figura 29 Distribución de probabilidad del viento para la estación de primavera mes de diciembre (provincia del Cusco)</i>	<i>56</i>
<i>Figura 30 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada del año 2020 (provincia del cusco)</i>	<i>57</i>
<i>Figura 31 Velocidades máximas y mínimas del viento de la provincia de Calca años 2017 al 2020.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 32 Rosa del viento de la provincia de Calca año 2020.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 33 Velocidades máximas y mínimas del viento de la provincia de Canchis años 2017 al 2020.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 34 Velocidades máximas y mínimas del viento de la provincia de Canchis años 2017 al 2020.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 35 Rosa del viento de la provincia de Canchis año 2020.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 36 Distribución de probabilidad del viento año 2020 (provincia de Canchis).64</i>	

PRESENTACIÓN

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO. SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO

: En cumplimiento a lo estipulado en el Reglamento de grados académicos de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, pongo a vuestra consideración la tesis titulada “**EVALUACIÓN DE LA POTENCIA EÓLICA EN LAS PROVINCIAS DE CUSCO, CALCA, CANCHIS 2017 - 2021**”, trabajo de investigación con el que pretendo optar el grado académico **de maestro en ciencias mención física**. El presente trabajo de tesis, tiene como objetivo evaluar la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca, Canchis.

RESUMEN

El trabajo se realizó con una evaluación cuantitativa y cualitativa del recurso Eólico, este estudio se realiza con el objetivo de conocer la caracterización de la potencia eólica extraído en las provincias de Cusco, Calca y Canchis, del departamento del Cusco. Las provincias que constituye el estudio y cuya muestra se trabaja con la data obtenida de parámetros velocidad del viento, el muestreo es de información energética que esta proporcionado por una fuente secundaria como NASA POWER y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú- SENAMHI para las provincias de Cusco; Calca y Canchis. Se analizaron los datos de los años 2017-2021. El análisis cuantitativo de la potencia eólica consiste en la caracterización de la velocidad media mensual del viento para una altura de 10 m del suelo el viento supera los 5,367m/s y que las direcciones predominantes del viento son del oeste al este.

El análisis cualitativo correspondiente a la estimación de la potencia eólica el cual se realizó con la distribución de Weibull, obteniéndose una densidad de potencia media anual a 10 m del suelo de $75,75 \text{ W/m}^2$ del tiempo desde el 2017 al 2021.

Palabras clave: Potencia Eléctrica, viento, energía eólica, energías renovables

REPILOGO

Il lavoro è stato svolto con una valutazione quantitativa e qualitativa della risorsa Eolico, questo studio è effettuato con l'obiettivo di conoscere la caratterizzazione dell'energia eolica estratta nelle province di Cusco, Calca i Canchis, del dipartimento di Cusco. Province che costituiscono lo studio e il cui campione è elaborato con i dati ottenuti dai parametri di velocità del vento, il campionamento è un'informazione energetica fornita da una fonte secondaria come NASA POWER e il Servizio Nazionale di Meteorologia e Idrologia del Perù-SENAMHI per Cusco regione. Sono stati analizzati i dati degli anni 2017-2021. L'analisi quantitativa per l'energia eolica consiste nella caratterizzazione della velocità media mensile del vento per un'altezza di 10 m dal suolo, che il vento superi i 5,367 m/s e che le direzioni del vento predominanti siano da ovest a est.

L'analisi qualitativa corrispondente alla stima del potenziale eolico è stata effettuata con la distribuzione di Weibull, ottenendo una densità di potenza media annua a 10 m dal suolo di 75,75 W/m² dal 2017 al 2021.

Parole chiave: Energia elettrica, eolico, energia eolica, energie rinnovabili

INTRODUCCIÓN

La demanda de la energía a nivel mundial crece con el transcurso de los años y el desarrollo de un país está directamente relacionado con el uso de la energía eléctrica. Para ello las fuentes de energías renovables son la alternativa energética que puede satisfacer la demanda energética, sin contribuir a la contaminación ambiental y el cambio climático. (Quiñonez, 2019)

Las fuentes de energías renovables proporcionan posibilidades de abastecimiento de energía renovable sustentable y limpia para las generaciones futuras. (Orozco, 2021)

La Región del Cusco tiene localizadas a las energías renovables tales como geotérmica, hidráulico, fotovoltaico y eólico son regularmente constantes, que en la actualidad no son aprovechadas para uso directo a través de la transformación a energías eléctricas. El uso de las energías renovables en nuestro país requiere manejo de información actualizada sobre las características de los recursos energéticos renovables disponibles en el área geográfica de uso, tanto para la electrificación de zonas rurales como para el bombeo del agua del subsuelo y otras aplicaciones. (Caraballosa Granado, 2021)

El objetivo de esta investigación fue evaluar la potencia eólica extraído de las provincias del Cusco, Calca, Canchis. La caracterización de estos recursos permitiría desarrollar proyectos, generación de la energía eléctrica para zonas circundantes y aisladas de las provincias de Cusco, Calca, Canchis u otros proyectos productivos que requieran uso de energías sustentables, provenientes los recursos renovables.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Situación problemática

Es inaceptable que, en nuestro país, que posee abundantes recursos energéticos renovables suficientes para atender a toda la población, siga habiendo hoy en día peruanos que vivan sin electricidad en sus hogares, escuelas, centros de trabajo, etc., esto sin duda se debe a la falta de políticas gubernamentales claras que hagan posible solucionar esta necesidad básica. (Gómez Orea, 2002)

Adicionalmente, la energía eólica es aquella que aprovecha la energía del viento y se puede transformar en energía eléctrica, mecánica o térmica, para producir electricidad. Los países con mayor potencia instalada son. China, Estados Unidos, Alemania, España, India, Reino Unido y Canadá (Belloso Chacín, 2021)

Dado que el consumo de energía eléctrica en una vivienda y por consiguiente su costo, el cual se incrementa notablemente al contar con un sistema de climatización, ya sea para calefacción o refrigeración, se contempla la utilización de energías alternativas para tal efecto, que sean renovables, limpias, que minimicen la emisión de gases efecto invernadero y de residuos peligrosos y que además sean autóctonas, como la energía solar, energía esta de la que provienen de una u otra manera las demás energías como la eólica. (Pereyra Tamayo, 2011).

Con el trabajo de investigación se pretende solucionar la producción de potencial energético.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Es posible efectuar la evaluación de la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca y Canchis?

1.3. Justificación de la investigación

Con este estudio se trata de dar a conocer la potencia eólica que se tiene de las energías renovables y que mejorara la situación económica, calidad de vida de los habitantes de las provincias de Cusco, Calca y Canchis (sobre todo de nuestra población de bajos recursos) y porque no del resto del Perú.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca y Canchis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Energía Renovable.

Un concepto similar, pero no idéntico, es el de energías renovables: una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que pueda suplir a las energías o fuentes energéticas convencionales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. (García Ortega, 2006)

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de crisis energética aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastecen la sociedad se agotan o se encarecen drásticamente. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no puede ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: estas serían las energías alternativas. (García Ortega, 2006)

Por otra parte, el empleo alternativo de las fuentes de energía actuales como el petróleo, gas natural o carbón acarrea consigo problemas como la progresiva contaminación o el aumento de los gases invernadero.

La discusión energía alternativa y o convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que, representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante este siglo. (García Ortega, 2006)

2.1.2. Clasificación de las Fuentes Renovables.

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

- El viento. Energía eólica
- El calor de la tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica o hidroeléctrica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El sol: energía solar.
- Las olas: energía undimotriz
- Energía azul: cuando el agua del mar se pone en contacto con agua dulce.

(García Ortega, 2006)

2.1.2.1. La energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. (Castañeda Ramirez, 2018)

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión). (Castañeda Ramirez, 2018)

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos de aspas. El aprovechamiento de la energía eólica ha progresado hasta convertirse en uno de los pilares fundamentales del suministro de energía renovable. (Castañeda Ramirez, 2018)

Hoy en día el rendimiento de las instalaciones eólicas se ha multiplicado por 3

en relación con la velocidad del viento. Para poder aprovechar al máximo la energía eólica, estos equipos se asientan sobre torres lo más altas posibles. Las mayores instalaciones eólicas del momento tienen una potencia nominal que se sitúa entre los 4 y 6 megavatios (MW). Las palas del rotor alcanzan los 65 metros. Según el Atlas eólico del Perú, nuestro país cuenta con un excelente recurso eólico. Destacan las costas del departamento de Piura, Lambayeque y algunas zonas de La Libertad. (Castañeda Ramirez, 2018)

También destacan los departamentos de Ancash, Lima y Arequipa, pero el departamento con más posibilidades eólicas es Ica.

La energía eólica, que transforma en electricidad la fuerza de un recurso inagotable como el viento, es una apuesta sostenible y de valor para el futuro. El aprovechamiento del viento requiere de la instalación de parques eólicos, ya sea en tierra o en alta mar, con decenas de aerogeneradores. Estos gigantes se han convertido en parte del paisaje en los últimos años. (Castañeda Ramirez, 2018)

La energía eólica es una fuente de energía renovable que se obtiene de la energía cinética del viento que mueve las palas de un aerogenerador el cual a su vez pone en funcionamiento una turbina que la convierte en energía eléctrica. (Pallo Pallo, 2022)

El proceso comienza cuando el aerogenerador se posiciona para aprovechar al máximo la energía del viento, usando los datos registrados por la veleta y anemómetro y girando sobre su torre. Después, el viento hace girar las palas que se conectan a un rotor que a su vez se conectan a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro a miles de revoluciones por minuto. Esta energía cinética se transfiere al generador que la convierte en energía eléctrica que es conducida por el interior de la torre hasta su base, luego sigue por la subestación para que eleve su

tensión y continúa hasta la red eléctrica para su posterior distribución. (Pallo Pallo, 2022)

2.1.3. Distribución de Weibull para determinar el potencial eólico.

Un análisis estadístico adecuado de los datos eólicos es una fase importante para la evaluación del recurso eólico. La selección de la función de distribución de la velocidad del viento influye en el cálculo de la energía eólica disponible o en el rendimiento de la turbina en lugares elegidos, y aporta un impacto significativo en rentabilidad de la inversión. (De Ávila S Andrés, 2022)

La velocidad del viento cambia continuamente, por lo que es necesario describirlo de forma estadística. Es conveniente establecer un modelo de las frecuencias de las velocidades del viento que vengán descrito por una función matemática continua en vez de por una tabla de valores discretos.

Hay varias funciones que se pueden utilizar para describir la frecuencia de la distribución de velocidades del viento. La más utilizada son las funciones de Weibull y Rayleigh.

Para el análisis estadístico del viento con la finalidad de evaluar la energía extraíble del mismo mediante maquinas eólicas es habitual trabajar con funciones de densidad de probabilidad continua $f(v)$, que se ajusten a los datos experimentales y medibles. La función de densidad de probabilidad representa una aproximación muy útil para calcular probabilidades partiendo de un histograma, según la función de Weibull.

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

Para ello tenemos que establecer los parámetros de la ecuación de distribución de Weibull, como c en m/s que determina la velocidad promedio del viento en el lugar de

estudio y el parámetro de forma k que indica el grado de dispersión de los registros (Describe de qué manera se distribuyen los datos), con esto se puede establecer la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad (v) determinada del viento.

La ecuación (1) es conocida como distribución de la velocidad del viento de Weibull, entonces para determinar estos parámetros, se utiliza el ajuste de los mínimos cuadrados, con la ecuación (2) que corresponde a la ecuación de probabilidad de Weibull (Función de distribución acumulada de Weibull).

$$F(v) = 1 - e^{-(\frac{v}{c})^k} \dots\dots\dots (2)$$

Normalmente las medidas tomadas por el anemómetro, son independientes de la altura, ya que existe un factor de correlación para establecer su altura óptima. Lo importante es que las mediciones sean de cortos intervalos a lo largo de un año para grandes proyectos de energía eólica. (Osorio- laurencio, 2020)

2.1.4. Ecuaciones de la distribución de Weibull

Distribución de probabilidad de Weibull se expresa como:

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

Donde, c (m/s) es la escala que determina el promedio del viento en el lugar de estudio y k es el parámetro de forma, se trata de un parámetro adimensional de la distribución de Weibull. El área bajo la curva de la función de densidad de probabilidad se llama función de distribución acumulada. Entonces, la función de distribución acumulada de Weibull se puede lograr tomando una integral de $f(v)$, denotada por $F(v)$ y dada como:

$$F(v) = 1 - e^{-(\frac{v}{c})^k}$$

Extrapolar el viento, h representa la altura donde se desea conocer la velocidad v , v_0 velocidad conocida a la altura de referencia h_0 , α coeficiente de rugosidad de la superficie, varia con la altura, hora del día, estación del año, naturaleza del viento. La rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee la superficie. La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. El coeficiente de rugosidad α varía con la altura, hora del día, estación del año, naturaleza del terreno, velocidad del viento y temperatura.

Tomando como altura de referencia igual a 10 metros, el coeficiente α toma diferentes valores con el tipo de terreno.

El distrito de Cusco, presenta un coeficiente de rugosidad que varía entre como valor mínimo y máximo en el rango de 0.10 a 0.18 por ser un espacio con edificaciones de diferente escala.

Tomando como referencia la altura de 10 m. En el trabajo se utilizo $\alpha = 0,13$ terrenos poco accidentados. (Mendoza Uribe, 2018)

$$v = v_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \dots\dots\dots (3)$$

Velocidad media $\langle v \rangle$

$$\langle v \rangle = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N v_i \dots\dots\dots (4)$$

Desviación estándar σ de la función de distribución, está representado:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N (v_i - \langle v \rangle)^2} \dots\dots\dots (5)$$

N =número de datos

v =velocidad del viento(m/s)

k = factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función

$f(v)$ =función de Weibull

2.1.5. Métodos para estimar los parámetros de Weibull c y k .

Se tiene el método gráfico y método empírico de Justus:

- El método gráfico: El método gráfico utiliza la función de distribución acumulativa. La ecuación (6) después de algunas operaciones matemáticas se puede escribir como (Yancachajlla Tito, 2018)

$$\ln\{-\ln[1 - F(v)]\} = k \cdot \ln(v) - k \cdot \ln(c) \dots \dots \dots (6)$$

$$y = a \cdot x + b \dots \dots \dots (7)$$

La ecuación (7), a es la pendiente y b es el intercepto.

$$a = k \quad y \quad c = e^{\left(\frac{-b}{k}\right)} \dots \dots \dots (8)$$

- El método empírico de Justus:

Los parámetros k y c se pueden calcular mediante las fórmulas (9) y (10)

El factor de forma (k) es adimensional y se determina con la siguiente relación:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086}, \quad 1 \leq k \leq 10 \dots \dots \dots (9)$$

c = factor de escala (m/s)

$$c = \frac{v}{\gamma\left(1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right)} \dots \dots \dots (10)$$

γ = Función gamma (Justus CG, 1976)

2.1.6. Estimación de indicadores de viento

La densidad de energía Eólica (P_w/A) que describe la cantidad de energía producida por diferentes velocidades del viento en un sitio determinado. A área de captación (o área barrida por las palas) perpendicular a la dirección del viento. (Yancachajlla Tito, 2018)

La densidad de potencia se utiliza para clasificar las zonas de acuerdo a su potencia y se obtiene dividiendo la potencia del viento por el área.

$$\text{Densidad de potencia} = \frac{P_w}{A}$$

$$\frac{P_w}{A} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \dots \dots \dots (11)$$

ρ =densidad del aire

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{T+273}\right) e^{-\left(\frac{h}{8435}\right)} \dots \dots \dots (12)$$

h= la altura del lugar de estudio

$$\gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt = \text{Función gamma} \dots \dots \dots (13)$$

T=temperatura del lugar

2.1.7. Evolución histórica de las energías renovables

Las energías renovables han constituido una parte de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la luz del sol, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron. (Estrada Olivera, 2013)

En los años 1970, las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. (Estrada Olivera, 2013)

2.1.8. Potencia eólica obtenida del viento

La energía máxima teórica que puede ser extraída de una masa de aire en movimiento está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \dots\dots\dots(14)$$

Donde E_c = energía cinética (Joule)

m = masa del aire en movimiento (kg)

$$m = \rho V \dots\dots\dots(15)$$

Siendo ρ = densidad del aire (kg/m^3)

$$V = \text{volumen} = AL \dots\dots\dots(16)$$

A = área de captación (m^2)

L = longitud de captación (m)

$$P_w = \frac{d(\frac{1}{2}mv^2)}{dt} \dots\dots\dots(17)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} v^2 \dots\dots\dots(18)$$

P_w = Potencia (Watt)

$$\frac{dm}{dt} = \rho Av \dots\dots\dots(19)$$

$\frac{dm}{dt}$ = flujo de aire

$$v = \frac{dL}{dt} = \text{velocidad del viento (m/s)}$$

Sustituyendo la ecuación (19) en la ecuación (18) se obtiene

$$P_w = \frac{\rho Av^3}{2} \dots\dots\dots(19)$$

Y finalmente tenemos la ecuación (20)

$$\frac{P_w}{A} = \frac{\rho v^3}{2} \dots\dots\dots(20)$$

A esta expresión se le denomina densidad de potencia en (W/m^2) . (Amilcar, 2007)

2.2.Marco conceptual (palabras clave)

2.2.1. Potencial Eléctrico

El potencial eléctrico o también trabajo eléctrico en un punto, es el trabajo a realizar por unidad de carga para mover dicha carga dentro de un campo electrostático desde el punto de referencia hasta el punto considerado, ignorando el componente irrotacional del campo eléctrico. Dicho de otra forma, es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga positiva unitaria q desde el punto de referencia hasta el punto considerado, en contra de la fuerza y a velocidad constante. Matemáticamente se expresa como. (Yuong Hugh, 2013)

$$V = \frac{W}{q} \text{ (Voltio)} \dots\dots\dots(21)$$

2.2.2. El viento

El viento es el flujo del aire a gran escala en la atmósfera terrestre. En la atmósfera, movimiento en masa del aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica. Los vientos de larga duración tienen diversos nombres según su fuerza media como, por ejemplo, brisa, temporal, tormenta, huracán o tifón. (Gunter Dietmar, 2003)

2.2.3. Energía Eólica

La energía Eólica es la que es producida por el viento y hace referencia a aquellas tecnologías que aprovechan la energía cinética del viento convirtiendo en energía mecánica por el movimiento de las masas de aire y a partir de ella transformarse en

energía para electricidad u otras formas, actualmente se usa para producir electricidad a través de parques eólicos mediante aerogeneradores, este tipo de energía es una fuente cada vez más económica y barata en muchos lugares, además de llegar a zonas que muchas veces son inaccesibles y no cuentan con una red eléctrica. (Vilchez Raul, 2019)

2.2.4. Velocidad del viento

El viento produce energía porque está siempre en movimiento. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra. El contenido energético del viento depende de su velocidad.

Cerca del suelo la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. (Dimensionamiento e implementación de un sistema Híbrido eólico., 2020)

2.3. Antecedentes Empíricos de la Investigación

2.3.1. Antecedentes Internacionales

Título: ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO: RETOS Y OPORTUNIDADES

Responsable(s): Silva Rodríguez de San Miguel, Jorge A.

Lugar y año: México - 2019

- **Objetivo:** El objetivo de esta investigación es examinar el estado de las fuentes de energías renovables en México, así como su futuro, para analizar los retos y oportunidades que permitan mejorar su gestión para la revisión de la literatura se siguió el método PRISMA.
- **Conclusión:** La investigación analizó el estado de las fuentes de energías renovables en México, así como su futuro para analizar los retos y oportunidades que permitan mejorar su gestión. De esta forma, se sugiere que las áreas de oportunidad encontradas en la literatura sean consideradas por tomadores de decisiones y académicas para asentar las bases de la adopción de las energías

renovables.

- **Comentario:** México con sus investigaciones aprovecha las fuentes de energía renovables así se proyecta al futuro, ha logrado avances en proyector de energía renovable, teniendo deficiencias políticas, burocráticas.

Título: ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA, EL CASO DE LA ENERGIA EOLICA Y SUS AVANCES EN MATERIA REGULATORIA

Responsable: Lic. Cecilia Fernández.

Lugar y año: Argentina - 2010

- **Objetivo:** Este trabajo es estudiar cuál es la participación de la energía eólica a escala nacional y analizar los instrumentos de política energética utilizados hasta el momento para promover este tipo de tecnología. El estudio es llevado a cabo mediante un análisis de los avances en términos regulatorios, principal barrera a la entrada de la generación eólica.

- **Conclusión:**

Las conclusiones destacan que aun ese alto potencial eólico nacional no ha podido ser aprovechado y el Estado presente un rol fundamental para determinar políticas energéticas que den solución a estos aspectos.

- **Comentario:** En Argentina se realiza un análisis de la participación eólica para su uso energético y segundo lugar se estudia los potenciales que se tienen de las fuentes renovables.

Título: COSTE DEL KWH EÓLICO GENERADO EN CUBA, A PARTIR DE DATOS DEL VIENTO DE UNA REGIÓN DE BUENOS POTENCIALES EÓLICOS

Responsable (s): Deivis Ávila- Prats, Ramón Alesanco-García, Feliciano García

Lugar y año: Cuba - 2010

- **Objetivo:** Se procesan los datos de viento de seis estaciones meteorológicas, seleccionando para el estudio la mayor potencia media del viento.
- **Conclusiones:**
 - La estación meteorológica situada en la región de Santa Cruz del Norte, La Habana, se selecciona como la de mayor potencial media de viento por metro cuadrado de seis estaciones analizadas, con un valor de $261W/m^2$ a 50 metros de altura sobre el nivel del suelo. La misma posee buenas condiciones meteorológicas de la infraestructura.
 - La mayor producción de energía eléctrica obtenida a partir de los aerogeneradores analizados está a cargo de la máquina de 2000kW de potencia nominal, con 6265811kWh/año, una altura de buje de 78 metros y 3133 horas equivalentes anuales.
 - Los costes de producción del kWh eólica generado a partir de los potenciales eólicos existentes en la región seleccionada y una inversión de 1400\$/kW eólico instalado se encuentran entre los 4,6 y los 6,0 centavos dólar; perteneciendo el menor de los costes a la máquina de 2000kW de potencia nominal.
- **Comentario:** Con esta investigación en Cuba se puede tener los costos KWH de la energía eólica obtenida. Se puede considerar como una guía

Título: ENERGÍAS RENOVABLES COMO ESTRATEGIA PARA LA DIVERSIFICACIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA DE COLOMBIA.

Responsable: Oscar López Hurtado.

Lugar y año: Colombia - 2020

- **Objetivos:** Analizar el potencial e impacto ambiental de las energías renovables y su contribución en la diversificación energética de Colombia.
- **Conclusión:** Colombia a pesar de contar con una gran disponibilidad de radiación solar, no es utilizada de la mejor manera. Actualmente existen diferentes dificultades asociadas al aprovechamiento, como lo son las políticas de desarrollo en las diferentes regiones, las cuales muestran estas energías como costosas y tecnológicamente imposibles, en las cuales la carencia de incentivos y de planificación son motivo de análisis y estudio.
- **Comentario:** Con esta investigación en Colombia nos muestra la necesidad de estudiar el potencial del impacto ambiental de las energías renovables sus costos y tecnologías posible.

Título: ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO A TRAVÉS DE LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL Y ROSA DE LOS VIENTOS.

Responsable(s): Andrés De Ávila S, Darío Pérez, José Jiménez Cardozo.

Lugar y año: Colombia - 2022

- **Objetivo:** Analizar los datos de velocidad del viento de una estación meteorología en Colombia. Para ellos se analizaron los datos de velocidad del viento para un periodo de 24 horas durante un mes.
- **Conclusión:** La distribución de Weibull es un método muy fiable para estimar el potencial de energía eólica teórica disponible. El conjunto de datos de velocidad del viento utilizados, la función de distribución de Weibull proporciona información significativa para la variación en velocidad del viento y densidad de potencia media del sitio investigado.

- **Comentario:** Con esta investigación se determina la dirección y la manera de instalar aerogeneradores en la dirección más idónea. Muy útil para los vendedores de aerogeneradores.

2.3.2. Antecedentes Nacionales

Título: ESTUDIO DE LA PREFACTIBILIDAD DEL USO DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL SECTOR INDUSTRIAL DE AREQUIPA.

Responsable: Miguel Ángel Hurtado Barreda

Lugar y año: Colombia - 2022

- **Objetivo:** Es determinar la prefactibilidad del uso de energías renovables en el sector industrial en Arequipa.
- **Conclusión:** Las formas de energías renovables utilizadas en el sector arequipeño son la energía Solar pero las que pueden ser utilizadas son la energía Eólica y la Biomasa. Muy importante sobre todo para su utilización en la industria.
- **Comentario:** Esta investigación

Título: EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD DEL APROVECHAMIENTO EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, CUSCO-2019

Responsable: Elizabeth Rocío Achuma Chunga

Lugar y año: Cusco - 2019

- **Objetivo:** Evaluar la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de san Jerónimo- Cusco,2019
- **Conclusión:** La velocidad promedio del viento a una altura de 90 m sobre el nivel del suelo en el distrito de San Jerónimo-Cusco, es de 6.4 m/s que indica

que en el área de estudio es apta para la colocación de aerogeneradores para aprovechamiento de la energía cinética del viento para conversión en energía eléctrica.

- **Comentario:** En esta investigación se hizo el estudio del aprovechamiento de la energía eólica para la colocación y captación del viento para aerogeneradores.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

- Se puede evaluar la potencia eólica de las provincias de Cusco, Calca y Canchis

3.1.2. Identificación de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
POTENCIA EOLICA	Recurso Eólico	Altitud Densidad del aire
	Velocidad del viento	Velocidad máxima

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1.Ámbito de estudio localización política y geográfica

Las provincias de Cusco, Calca, Canchis. El método de estudio aplicado para el presente trabajo es el Método de Modelos Cuantitativos – Cualitativos (Análisis de datos), o más específicamente en forma numérica con la ayuda de herramientas del campo de la estadística, porque en la explicación y desarrollo de la investigación se requiere revisar ordenadamente cada uno de los elementos del problema por separado e identificar la relación existente entre las mismas.

4.2.Tipo y nivel de investigación

4.2.1. Tipo de investigación

Es aplicada de nivel descriptivo-explicativo, enfoque cuantitativo y no experimental.

4.2.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación propuesta se basa en un diseño de investigación evaluativo descriptivo y explicativo por tanto aplicativo que consiste en valorar sistemáticamente el mérito del tiempo, el esfuerzo y los recursos que utilizados para lograr una meta. Es descriptivo porque consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. (G.Arias, 2012).

Se hace un análisis de los datos recopilados de las instituciones dedicadas al estudio de las energías renovables y se interpreta el comportamiento de recurso eólico de dichas zonas.

4.3.Unidad de análisis

La potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca y Canchis 2017-2021

4.4.Población de estudio

Datos de Potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca y Canchis 2017-2021

4.5.Tamaño de muestra

Zonas donde se encuentra la potencia Eólica

- La provincia del Cusco se sitúa a 3399m.s.n.m.
- La provincia del Calca se sitúa a 2925m.s.n.m.
- La provincia de Canchis se sitúa a 3548m.s.n.m.

4.6.Técnicas de observación y muestreo

Las técnicas de análisis son a través del programa Minitab y staf graf

4.7.Técnicas de análisis e interpretación de la información

Se realiza una evaluación cuantitativa y cualitativa en base a los resultados finales obtenidos en la investigación

4.8.Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de la hipótesis planteada

Siendo la altitud de las provincias respectivas Cusco, Calca Canchis de 3399m.s.n.m., 2949 m.s.n.m.,3548m.s.n.m.

El estudio se realizó con datos proporcionales por la base de datos meteorológicos de la DATA POWER NASA (2017 al 2021) y Estación Meteorológica del servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica-Cusco (SENAMHI). Con los datos estadísticos obtenidos y el software Excel 2016, Se han determinado las tendencias mensuales del promedio de la velocidad del viento durante todo el tiempo indicado, la dirección predominante del viento en el que se hace la rosa de viento para la zona y las velocidades extrapoladas a diferentes alturas del suelo. (Quiñonez Choquecota, 2019)

Con los datos de velocidad del viento y altitud obtenidos por la estación Meteorológica de la DATA POWER NASA y SENAMHI, se hizo la caracterización del recurso eólico, que

contempla los cálculos de la velocidad del viento horario mensual y anual. Con los datos de la velocidad del viento, se estimó la potencia explotable de la energía eólica se estimó con la función de densidad de probabilidad de Weibull, siendo esta una variable independiente conjuntamente con la dirección estimada con la rosa de viento.

- Con los datos de la velocidad del viento, se estimó el potencial explotable de la energía.
- El análisis cualitativo se hizo con la distribución de Weibull para el recurso eólico, determinándose las densidades de potencias mensual y anuales a diferentes alturas.
- Una de las formas más comunes para analizar los datos de velocidad de viento y elaborar estudios sobre energías renovables basados en energía eólica, es hacerlo mediante una función de densidad de probabilidad de Weibull, o simplemente distribución de Weibull.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

Se tomó como referencia los datos de las velocidades del viento de Power Nasa de las provincias de: Cusco, Calca, Canchis.

Estos son los puntos exactos de ubicación que utilizan para el análisis y resultados proporcionado por Power Nasa.

Lugar	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m
Ciudad Cusco	-13.51	-71.99	3739.76
Calca	-12.98	-72.084	4304.77
Canchis	-14.06	-71.13	4356.84

Tabla 1 Datos de la velocidad del viento provincia de Cusco años 2017 al 2021

Dates (month/day/year): 01/01/2017 through 12/31/2020

Location: Latitude -13.51 Longitude -71.99

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 3739.76 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

PS (Presión) MERRA-2 Surface Pressure (kPa)

WS10M_MAX MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters Maximum (m/s)

WS10M_MIN MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters Minimum (m/s)

-END HEADER-

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
PS (Presión)	2017	65.1	65.07	65.11	65.17	65.22	65.23	65.3	65.21	65.22	65.12	65.04	65.04
PS(Presión)	2018	65.02	65.04	65.08	65.21	65.23	65.24	65.24	65.24	65.15	65.11	65.05	65.12
PS(Presión)	2019	65.15	65.13	65.19	65.21	65.22	65.29	65.24	65.33	65.26	65.12	65.07	65.06
PS(Presión)	2020	65.14	65.15	65.17	65.26	65.3	65.23	65.2	65.2	65.21	65.17	65.14	65.04
WS10M_MAX	2017	6.62	6.09	6.73	6.07	6.65	6.18	6.52	7.57	9.03	7.41	6.28	6.89
WS10M_MAX	2018	6.38	6.68	6.35	6.23	5.19	7.12	7.8	7.59	6.62	7.75	6.18	6.65
WS10M_MAX	2019	6.72	6.52	6.36	5.98	7.54	6.98	8.86	7.06	9.3	7.57	6.08	5.99
WS10M_MAX	2020	6.3	5.84	6.22	5.52	5.76	7.4	6.36	7.75	7.78	8.2	7.77	6.68
WS10M_MAX	2021	6.52	6.17	6.58	5.98	5.96	7.2	6.39	7.45	7.65	7.69	7.12	6.54
WS10M_MIN	2017	0.12	0.02	0.05	0.07	0.1	0.05	0.19	0.06	0.11	0.05	0.17	0.06
WS10M_MIN	2018	0.1	0.09	0.05	0.04	0.07	0.03	0.09	0.13	0.04	0.09	0.02	0.05
WS10M_MIN	2019	0.08	0.05	0.14	0.06	0.12	0.02	0.15	0.1	0.11	0.1	0.13	0.08
WS10M_MIN	2020	0.09	0.07	0.06	0.08	0.04	0.16	0.1	0.06	0.03	0.04	0.1	0.08

Nota. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Tabla 2 Datos de la velocidad del viento provincia de Calca años 2017 al 2020

Dates (month/day/year): 01/01/2017 through 12/31/2020

Location: Latitude -12.98 Longitude -72.084

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 4304.77meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

PS (Presión) MERRA-2 Surface Pressure (kPa)

WS10M_MAX MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters Maximum (m/s)

WS10M_MIN MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters Minimum (m/s)

-END HEADER-

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
PS(Presión)	2017	60.72	60.7	60.74	60.8	60.85	60.84	60.89	60.81	60.82	60.74	60.68	60.67
PS(Presión)	2018	60.65	60.67	60.7	60.83	60.84	60.83	60.83	60.83	60.75	60.74	60.7	60.76
PS(Presión)	2019	60.77	60.77	60.82	60.84	60.85	60.9	60.84	60.91	60.85	60.74	60.7	60.7
PS(Presión)	2020	60.78	60.8	60.81	60.89	60.93	60.85	60.81	60.79	60.81	60.79	60.75	60.68
WS10M_MAX	2017	8.05	5.8	5.59	6.7	9.42	9.53	6.4	8.58	9.84	7.95	5.77	7.76
WS10M_MAX	2018	5.84	5.03	7.26	5.88	5.55	10.55	9.52	8.84	7.66	6.17	6.93	7.53
WS10M_MAX	2019	7.09	5.86	5.9	8.07	8.06	9.15	12.34	7.3	11.05	7.98	7.08	6.39
WS10M_MAX	2020	6.69	5.15	5.44	5.69	7.44	9.49	9.31	10.14	7.92	6.94	6.54	6.77
WS10M_MIN	2017	0.07	0.05	0.03	0.07	0.16	0.15	0.04	0.09	0.05	0.09	0.07	0.2
WS10M_MIN	2018	0.07	0.07	0.12	0.06	0.03	0.12	0.13	0.1	0.06	0.22	0.14	0.06
WS10M_MIN	2019	0.11	0.21	0.03	0.09	0.07	0.08	0.09	0.21	0.11	0.09	0.02	0.08
WS10M_MIN	2020	0.04	0.2	0.01	0.06	0.01	0.14	0.07	0.01	0.1	0.09	0.09	0.12

Nota. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Tabla 3 Datos de la velocidad del viento de la provincia de Canchis años 2017 al 2020

-BEGIN HEADER-

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual

Dates (month/day/year): 01/01/2017 through 12/31/2020

Location: Latitude -14.06 Longitude -71.13

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 4356.84 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

PS (Presión) MERRA-2 Surface Pressure (kPa)

WS10M_MAX MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters Maximum (m/s)

WS10M_MIN MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters Minimum (m/s)

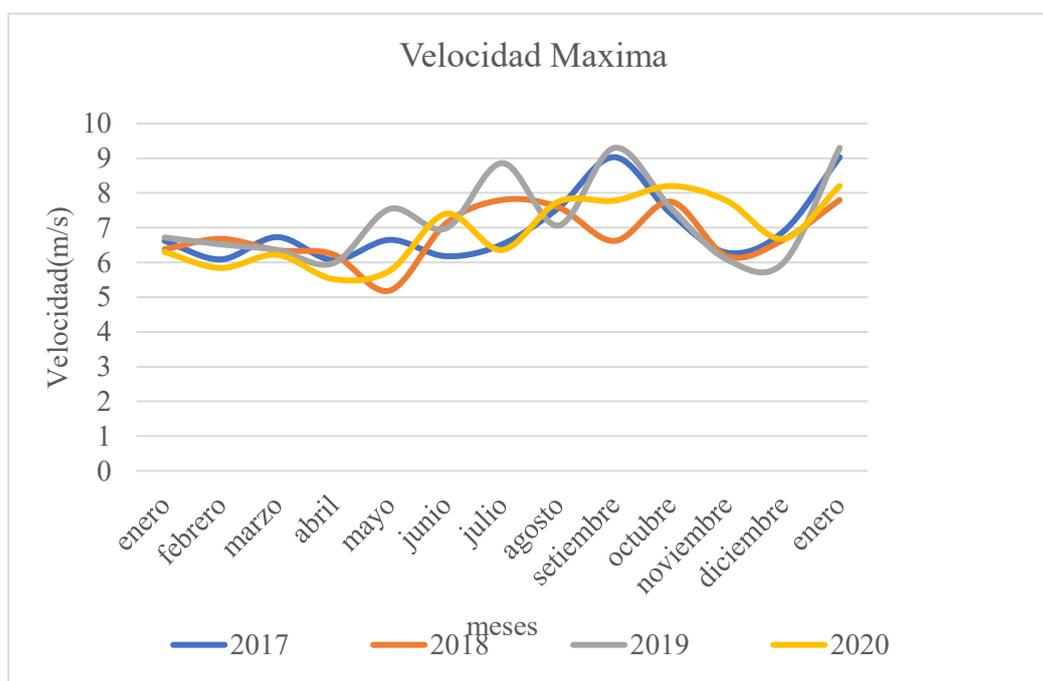
-END HEADER-

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
PS	2017	60.37	60.36	60.39	60.46	60.51	60.5	60.56	60.47	60.48	60.4	60.34	60.33
PS	2018	60.3	60.32	60.36	60.48	60.5	60.5	60.49	60.49	60.42	60.39	60.35	60.41
PS	2019	60.42	60.42	60.47	60.5	60.51	60.56	60.5	60.58	60.52	60.39	60.36	60.36
PS	2020	60.43	60.45	60.46	60.54	60.58	60.51	60.47	60.47	60.47	60.44	60.42	60.33
WS10M_MAX	2017	7.74	6.16	6.23	6.4	8.68	8.27	5.48	8.19	9.89	7.34	6.51	7.42
WS10M_MAX	2018	5.38	5.05	6.49	5.64	5.09	9.69	8.83	7.88	6.35	7.09	5.23	6.58
WS10M_MAX	2019	6.24	5.64	5.77	6.88	7.54	9.64	10.84	6.55	9.66	7.44	6.52	5.61
WS10M_MAX	2020	6.38	7.27	4.81	5.21	6.5	8.95	7.97	9.04	7.82	7.84	7.38	6.61
WS10M_MIN	2017	0.05	0.09	0.12	0.12	0.03	0.19	0.07	0.1	0.06	0.05	0.03	0.13
WS10M_MIN	2018	0.04	0.04	0.05	0.02	0.06	0.12	0.16	0.13	0.05	0.16	0.02	0.04
WS10M_MIN	2019	0.09	0.04	0.03	0.01	0.07	0.09	0.13	0.12	0.1	0.1	0.05	0.05
WS10M_MIN	2020	0.02	0.09	0.04	0.05	0.09	0.19	0.04	0.1	0.2	0.01	0.05	0.06

Nota. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

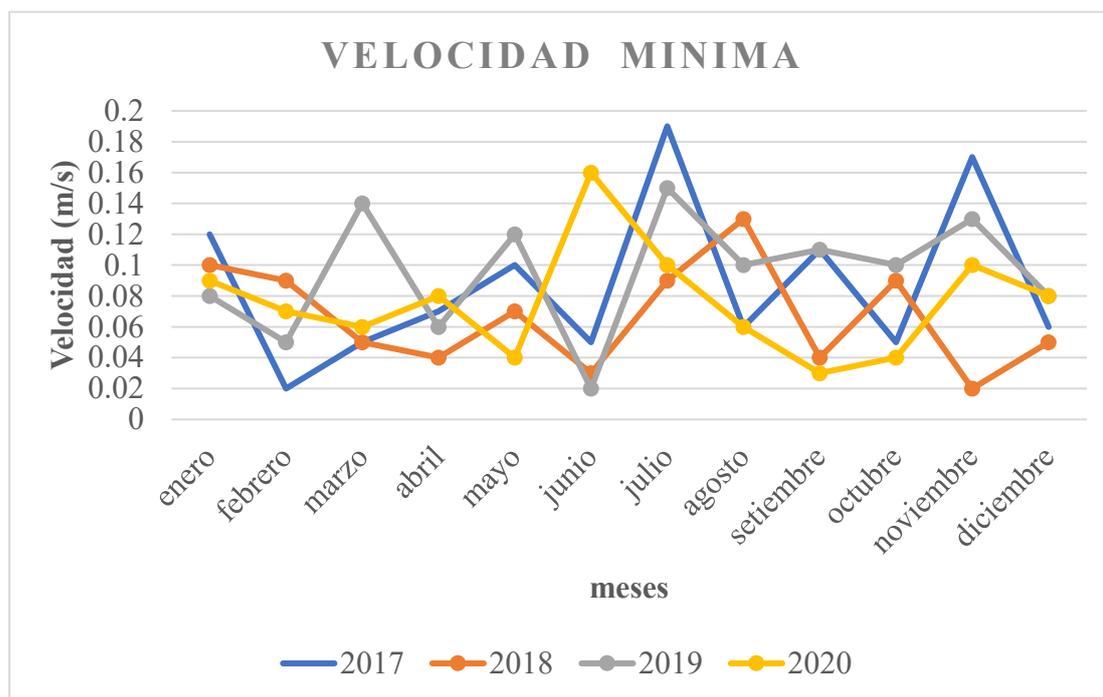
Para la caracterización de las velocidades del viento en la Provincia del Cusco por el periodo de dos años, se analizaron un total de 754, datos registrados del año 2019 y 732 datos del año 2018, datos que corresponden a la medida de la magnitud y dirección de la velocidad realizada por la estación meteorológica de DATA POWER NASA. La información recopilada fue ordenada por meses de modo que se han determinado las velocidades promedio mensuales, velocidades máximas y mínimas y las tendencias mensuales de la velocidad del viento (Figuras 1 y 2)

Figura 1 Tendencia mensual de la velocidad máxima del viento provincia del Cusco



Nota. La figura anterior representa la tendencia mensual de la velocidad máxima del viento de 4 años, donde se observa que la mayor velocidad del viento fue durante el año 2019 de 9,3m/s en el mes de setiembre y mínima velocidad del viento en el año 2018 de 5,19 m/s en el mes de mayo.

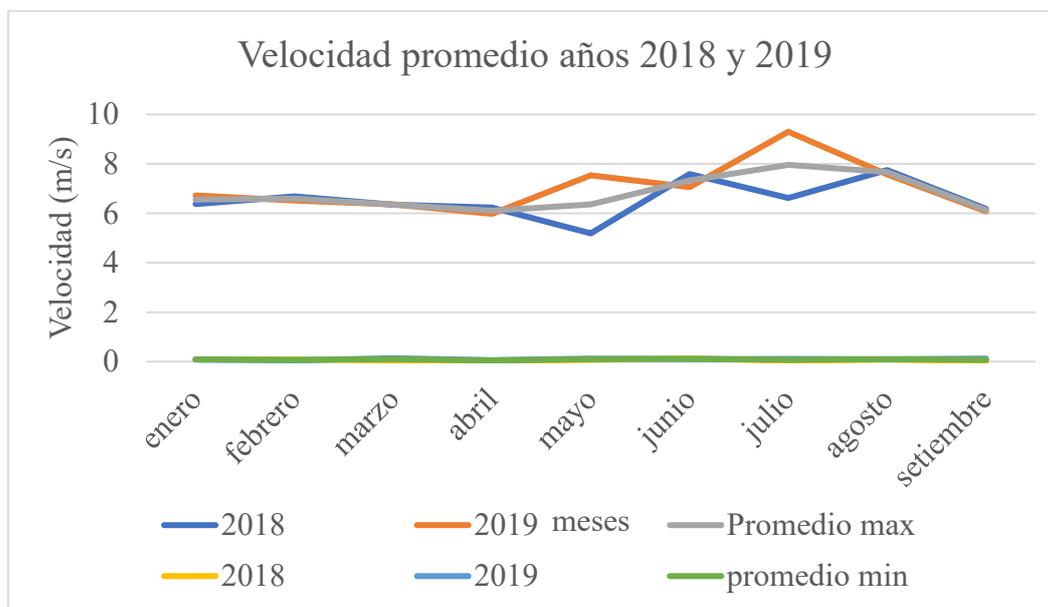
Figura 2 Tendencia mensual de la velocidad mínima del viento de la provincia del Cusco



Nota. La figura anterior representa la tendencia mensual de la velocidad mínima del viento de 4 años, donde se observa que la mayor velocidad del viento fue durante el año 2017 de 0,19m/s en el mes de setiembre y mínima velocidad del viento en el año 2018 de 0,09m/s en el mes de noviembre.

En las anteriores figuras (Figuras 1 y 2). Se identifica claramente las velocidades máximas del viento y las velocidades mínimas. Otra de las características es que el recurso eólico es aleatorio y muy variable. Existen mayor recurso eólico en los meses de primavera e invierno y el recurso es mínimo en los meses de otoño y verano. Por otro lado, se observa que la velocidad mínima promedio mensual del viento es 0,23 m/s y las velocidades máximas promedio alcanzadas fueron de 7,96 m/s en el mes de setiembre del año 2018 (Figura3) y mínima velocidad promedio del viento en el año 2018 de 0,09m/s (Figura3). Se aprecia mayor variabilidad del recurso eólico en los meses de julio y setiembre alcanzando un rango de variación de hasta 8,18 m/s.

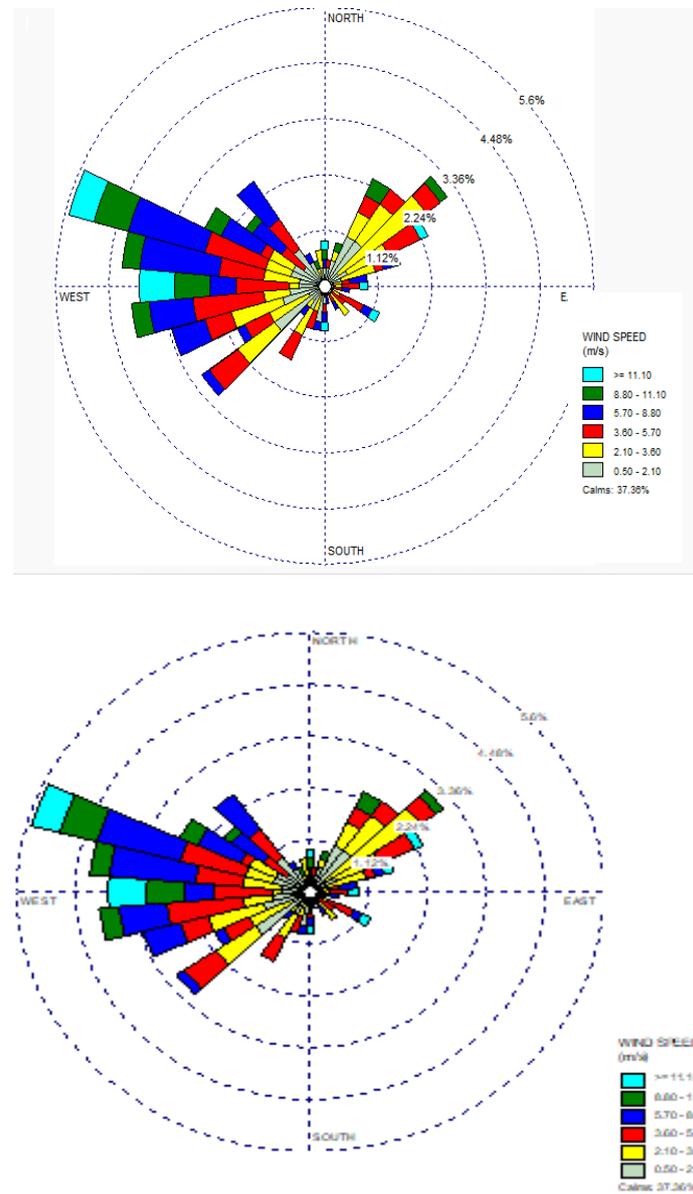
Figura 3 Rango de Variación de la velocidad promedio del viento provincia del Cusco



Nota. La figura anterior representa el rango de la variación de la velocidad del promedio de los años 2018 y 2019, donde se observa que la mayor velocidad promedio del viento fue durante el año 2019 de 7,96 m/s y mínima velocidad promedio del viento en el año 2018 de 0,09m/s.

El análisis de la dirección del viento se realizó elaborando la rosa del viento con los datos del viento promedio horario, medido por la estación meteorológica en los dos años. Al realizar la rosa del viento (Figura 4) se observa que la dirección del viento resulta mayor al oeste y menor al este.

Figura 4 Rosa del viento de los años 2018 y 2019



Latitud: 13°11'0" S Longitud: 71°58'44"W altitud: 3405msnm.

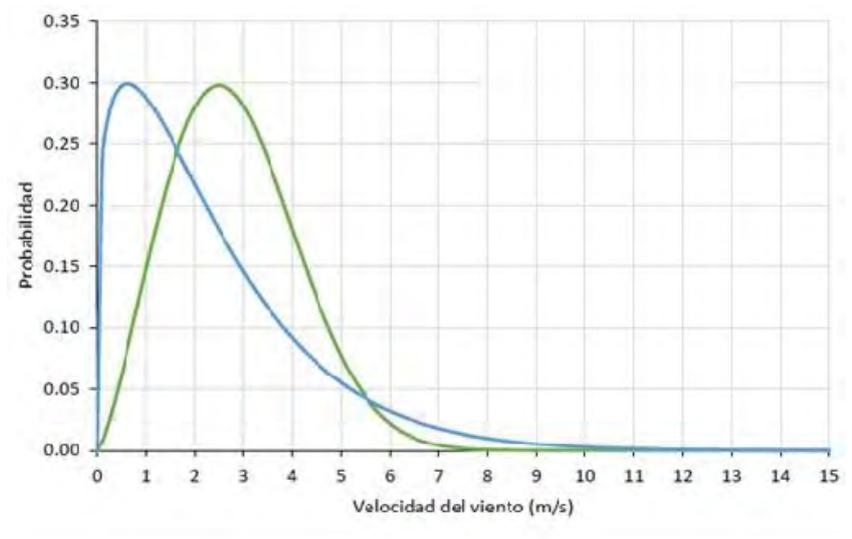
Nota. Las figuras anteriores son las rosas de viento para los años 2018 y 2019, se observan las direcciones del viento, mayor al oeste y menor al este. Para realizar la rosa del viento se utilizó **VISTA WRPLOT VERSION 8.0.2- 20,6MB 21 DE MARZO DE 2018**.

WRPLOT VIEW .-Es un programa de rosa de los vientos totalmente operativo para sus datos meteorológicos. Proporciona datos gráficos visuales de la rosa de los vientos, análisis de frecuencia y gráficos meteorológicos.

Descargue e instale el archivo WRPLOT en la computadora. Ordenar los datos en Excel, abrir WRPLOT, luego abrir tools, enseguida import from Excel, buscar el documento en Excel abrir, poner los datos según las columnas en Data Field name, luego station information, finalmente Wind Rose, ya tenemos la gráfica de la rosa del viento.

Los resultados de la DATA POWER NASA que son valores de las velocidades promedios mensuales del viento a una altura de 10m del suelo, se procede a extrapolar para una altura de 25m sobre el suelo para los dos años con la ecuación (3). Luego al tomar el promedio mensual de los años se procede a comparar con los datos de SENAMHI, que son valores de las velocidades promedios mensuales del viento a una altura de 25 m del suelo. Al comparar ambos resultados de la velocidad promedio, la diferencia media es de 8.93% en los meses de mayo a agosto se registra las mayores diferencias hasta 58% en el mes de junio (Tabla 4). Con los 16720 valores de la velocidad horaria de los años, se obtiene, los valores del factor de forma de la distribución de Weibull que fue 1,1321 y el parámetro de escala $c=5,18\text{m/s}$ para una altura de 25m sobre el suelo en donde la velocidad media anual es de 5,30m/s. Con los parámetros calculados y usando la ecuación (11) logra determinar la función de distribución de probabilidad de Weibull. Las funciones de probabilidad de Weibull para alturas de 10 y 25 metros (Figura 5), tienen formas estrechas. Estas formas de graficas indican que se tendrá una alta variación de velocidades del viento con mayor probabilidad de que se presente bajas velocidades, dicho de otra manera, se tiene una mayor probabilidad de que la velocidad promedio anual del viento a presentarse sean bajas, de forma que para una altura de 25m se tendría una velocidad de 3,76 m/s y para una altura de 10 m de 3,49 m/s.

Figura 5 Las funciones de probabilidad de Weibull para las alturas 10 y 25 metros



Nota. La figura anterior representa las funciones de probabilidad de Weibull para las alturas de 10 y 25 metros.

Para determinar la densidad media de potencia fue necesario calcular la densidad media del aire a una altura de 3399 m.s.n.m. que fue de $\rho = 0,832\text{kg/m}^3$ que corresponde para la ciudad de Cusco a la altura de 25m, luego haciendo uso de la ecuación (11) se determinó los valores mensuales de la densidad de potencia del recurso eólico explotable (Tabla 4). De los resultados es importante destacar que, se tendrá mayor potencial explotable en los meses de junio, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, y los meses de escaso recurso eólico son abril y mayo, y el potencial explotable promedio anual sería de $158,82\text{ W/m}^2$.

Tabla 4 Velocidad media y densidad de potencia a 25 m de altura provincia Cusco

Meses	$v(\text{m/s})$	$\frac{P_w}{A}(\text{W}/\text{m}^2)$	Operación anual %
enero	4.12	24.87	27.7553
febrero	3.94	139.92	24.2971
marzo	4.07	118.02	27.1593
abril	3.76	79.52	20.9389
mayo	3.93	61.68	23.3835
junio	5.42	111.79	62.5873
julio	4.56	74.82	37.3647
agosto	4.73	73.85	41.6649
setiembre	6.05	158.82	87.0447
octubre	5.85	160.21	78.7136
noviembre	5.28	127.10	57.4916
diciembre	5.18	136.61	55.1195

Nota. La tabla anterior representa la velocidad media y densidad de potencia mensual a 25m de altura (Cusco). Donde para una velocidad de 6,05 m/s se obtiene una densidad de potencia de 158,82 W/m².

Por otro lado, un aspecto significativo en el estudio eólico es determinar la variación del viento y la densidad de potencia con la altura desde el suelo, dado que los aerogeneradores se instalan para distintas necesidades de suministro. Al calcular los resultados (Tabla 5) observamos el aumento de la densidad de potencia y la velocidad promedio con altura de 25 m con respecto al de 10 m.

Tabla 5 La variación de la velocidad media y la densidad de potencia provincia de Cusco

Meses	v (m/s)	$\frac{P_w}{A}$ (W/m^2)	v (m/s)	$\frac{P_w}{A}$ (W/m^2)
enero	3.65888889	17.5154042	4.12	24.87
febrero	3.50333333	14.5752158	3.94	139.92
marzo	3.61555556	16.7262908	4.07	118.02
abril	3.33666667	11.6264873	3.76	79.52
mayo	3.49222222	14.276724	3.93	61.68
junio	4.814	54.7251099	5.42	111.79
julio	4.05111111	26.7092442	4.56	74.82
agosto	4.19666667	31.0071973	4.73	73.85
setiembre	5.367	75.7515809	6.05	158.82
octubre	5.19	67.4141388	5.85	160.21
noviembre	4.685	46.8947717	5.28	127.10
diciembre	4.602	43.8292085	5.18	136.61
promedio	4.80864057	35.0876144	5.30	105.60

Nota. La tabla anterior se observa la variación de la velocidad media y densidad de la potencia se muestra los resultados de la velocidad promedio por meses de los años 2017 al 2021 para una altura de 10 m la velocidad promedio es 4,80864057 (m/s), la densidad de potencia promedio de 35,0876144 (W/m^2) y para la altura de 25 m la velocidad promedio es 5,30 (m/s), la densidad de potencia promedio de 105,60 (W/m^2)

5.2.Pruebas de hipótesis

Tenemos:

H_0 : Hipótesis nula H_1 =Hipótesis alternativa

H_0 : La densidad de potencia no está definida por una ecuación

H_1 : La densidad de potencia está definida por una ecuación

La densidad de potencia está definida por la siguiente ecuación, donde se tiene la velocidad del viento, densidad media del aire.

$$\frac{P_w}{A} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \gamma \left(1 + \frac{3}{k}\right)$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086} \quad c = \frac{v}{\gamma \left(1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right)}$$

ρ = densidad media del aire

ajuste lineal de la distribución de Weibull $F(v)$ es densidad de potencia acumulada.

$$\ln\{-\ln[1 - F(v)]\} = k \cdot \ln(v) - k \cdot \ln(c)$$

$$y = a \cdot x + b$$

a es la pendiente y b es el intercepto.

$$a = k \quad y \quad c = e^{\left(\frac{-b}{k}\right)}$$

5.3. Presentación de resultados

Densidad de Potencia $\frac{P_w}{A}$ para los años 2017 al 2021

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086} \quad \frac{P_w}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 \gamma \left(1 + \frac{3}{k}\right)$$

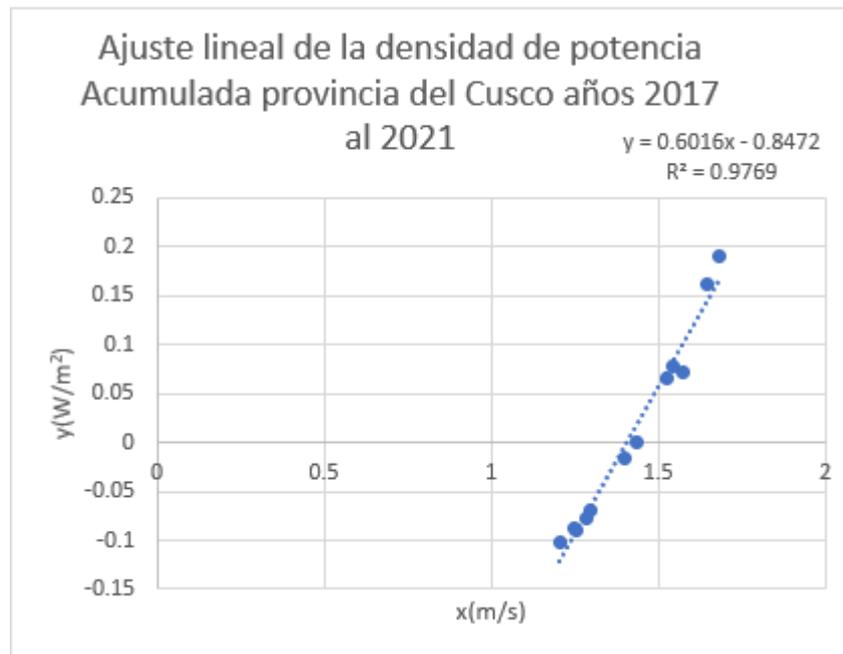
$$c = \frac{v}{\gamma \left(1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right)} \quad \sigma = \text{Desviación estándar}$$

Tabla 6 Los valores de k (factor de la forma) y c (factor de Escala en m/s)

Meses	v (m/s)	ϵ/v	k	c (m/s)	$\frac{P_w}{A}$ (W/m ²)
enero	3.65888889	1.14296521	0.86492042	3.39225745	17.5154042
febrero	3.50333333	1.19371533	0.82506044	3.16242402	14.5752158
marzo	3.61555556	1.15666393	0.85380165	3.33476808	16.7262908
abril	3.33666667	1.25334147	0.78252212	2.89415098	11.6264873
mayo	3.49222222	1.19751334	0.82221904	3.13484939	14.276724
junio	4.814	0.86871265	1.16514642	5.22749484	54.7251099
julio	4.05111111	1.03230511	0.96606073	3.98104472	26.7092442
agosto	4.19666667	0.99650104	1.00381378	4.21436701	31.0071973
setiembre	5.367	0.77920304	1.31119537	5.82483178	75.7515809
octubre	5.19	0.80577702	1.26430148	5.5878553	67.4141388
noviembre	4.685	0.89263238	1.13127845	4.90524552	46.8947717
diciembre	4.602	0.90873158	1.10952966	4.78477854	43.8292085
promedio	4.80864057	1.01900518	1.008308	4.2036723	35.0876144

Nota. La tabla anterior se halla los valores de $k = 1,008308$ (factor de la forma el grado de dispersión de los registros) y $c = 4,2036723$ (factor de escala en m/s), provincia del Cusco altura 10 m años 2017 al 2020

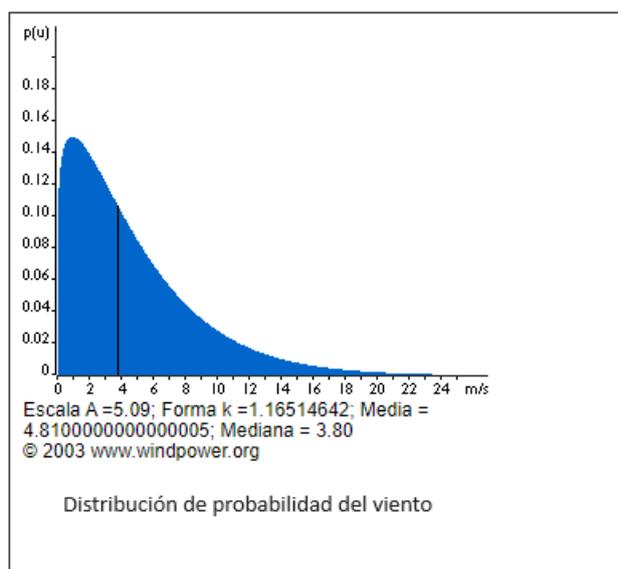
Figura 6 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada de los años 2017 al 2021 provincia del Cusco



Nota. La figura anterior representa la gráfica de la densidad de potencia acumulada $F(v)$, estación de otoño utilizando las ecuaciones (6 y 8), donde la pendiente es el valor de $k=0,6016$ y $c= 4.088$ m/s, se tiene el coeficiente de determinación $R^2= 0,9769$.

Figura 7 Distribución de probabilidad del viento mes de junio provincia del Cusco 2017 al 2021

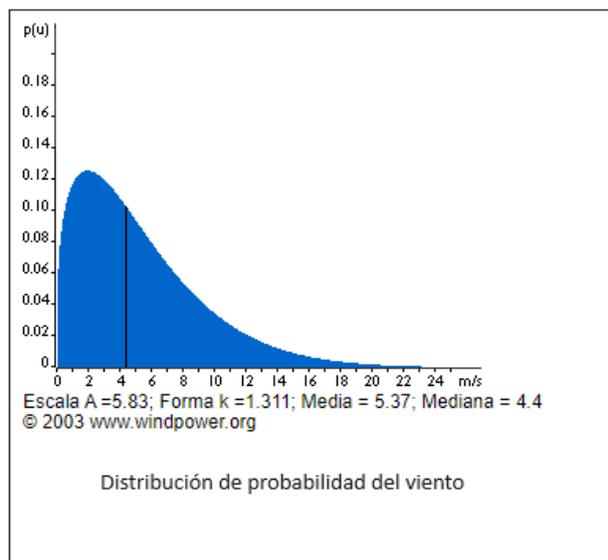
Programa trazador de la distribución de Weibull



Nota. En la figura anterior se tiene la distribución de probabilidad del viento para el mes de junio con la velocidad promedio 4,814 m/s y $k=1,16514642$. La línea negra representa la velocidad media 4,81 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 4,28

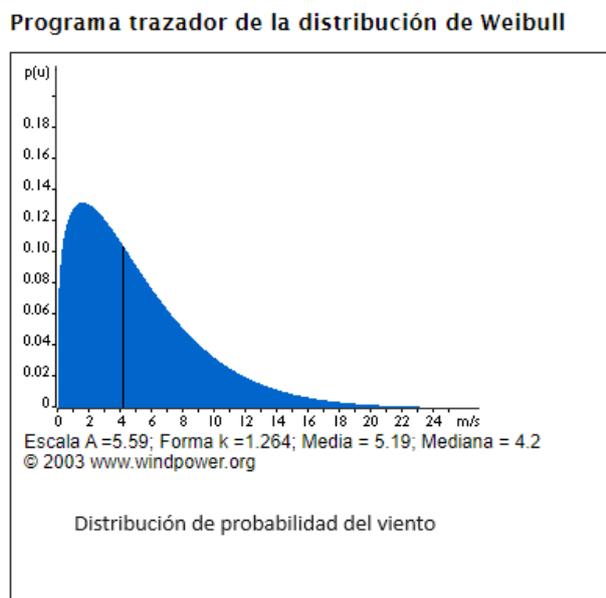
Figura 8 Distribución de probabilidad del mes setiembre provincia del Cusco 2017 al 2021

Programa trazador de la distribución de Weibull



Nota. En la figura anterior se tiene la distribución de probabilidad del viento para el mes de setiembre con la velocidad promedio 5,367 m/s y $k=1,31119537$. La línea negra representa la velocidad media 5,37 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 4,11

Figura 9 Distribución de probabilidad del viento mes de agosto provincia del Cusco 2017 al 2021



Nota. En la figura anterior se tiene la distribución de probabilidad del viento para el mes de agosto con la velocidad promedio 5,19 m/s y $k=1,26430148$. La línea negra representa la velocidad media 5,19 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 4,19

Tabla 7 Variación de la velocidad media y densidad de potencia con la altura

Altura(m)	v (m/s)	k	c (m/s)	Densidad de potencia (W/m^2)	Operación anual %
10	3.65888889	14.15	3.794740604	19.983818	27.7553021
15	3.50333333	13.49	3.633409389	17.493944	24.29714453
20	3.61555556	13.96	3.76738101	19.554684	27.15928353
25	3.33666667	12.8	3.460554519	15.076013	20.93890665
30	3.49222222	13.45	3.587285282	16.836138	23.38352507
35	4.814	19.06	4.945043657	45.062826	62.5872581
40	4.05111111	15.8	4.182007959	26.902549	37.36465098
45	4.19666667	16.42	4.332266612	29.998729	41.66490178
50	5.367	21.45	5.513097072	62.672167	87.04467642
55	5.19	20.68	5.331278891	56.673756	78.71355058
60	4.685	18.5	4.812532101	41.393948	57.49159424
65	4.602	18.15	4.75069681	39.686015	55.11946564

Nota. Esta tabla anterior muestra la variación de la velocidad media, densidad de potencia con la altura y se halla la operación anual %. Provincia del Cusco.

Tabla 8 Velocidad máxima y mínima del viento en m/s provincia del Cusco

PARAMETER	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
WS10M_MAX	2017	6.62	6.09	6.73	6.07	6.65	6.18	6.52	7.57	9.03	7.41	6.28	6.89
WS10M_MAX	2018	6.38	6.68	6.35	6.23	5.19	7.12	7.8	7.59	6.62	7.75	6.18	6.65
WS10M_MAX	2019	6.72	6.52	6.36	5.98	7.54	6.98	8.86	7.06	9.3	7.57	6.08	5.99
WS10M_MAX	2020	6.3	5.84	6.22	5.52	5.76	7.4	6.36	7.75	7.78	8.2	7.77	6.68
WS10M_MAX	2021	6.52	6.17	6.58	5.98	5.96	7.2	6.39	7.45	7.65	7.69	7.12	6.54
WS10M_MIN	2017	0.12	0.02	0.05	0.07	0.1	0.05	0.19	0.06	0.11	0.05	0.17	0.06
WS10M_MIN	2018	0.1	0.09	0.05	0.04	0.07	0.03	0.09	0.13	0.04	0.09	0.02	0.05
WS10M_MIN	2019	0.08	0.05	0.14	0.06	0.12	0.02	0.15	0.1	0.11	0.1	0.13	0.08
WS10M_MIN	2020	0.09	0.07	0.06	0.08	0.04	0.16	0.1	0.06	0.03	0.04	0.1	0.08
Promedio		3.658889	3.50333	3.615556	3.33667	3.49222	4.814	4.05111	4.196667	5.367	5.19	4.685	4.602

Nota. La tabla anterior representa las tendencias mensuales de la velocidad máxima y mínima del viento de 4 años

Tabla 9 Densidad de potencia con respecto a la estación de otoño (marzo, abril, mayo, junio) provincia del Cusco

Meses	$v(m/s)$	$v - \langle v \rangle$	$(v - \langle v \rangle)^2$	ϵ/v	$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1} \cdot 1.086$	$1/k$	$1 + 1/k$	$\gamma(1 + \frac{1}{k})$
Marzo	3.61555556	-0.19905554	0.03962311	0.8045648	1.26637032	0.78965843	1.78965843	0.9288
Abril	3.33666667	3.33666667	11.1333444	0.87181281	1.16064754	0.861588	1.861588	0.9487
Mayo	3.49222222	3.49222222	12.195616	0.83297927	1.21952656	0.81999034	1.81999034	0.9341
Junio	4.814	4.814	23.174596	0.60426854	1.72816116	0.57864974	1.57864974	0.8995

$c(m/s)$	$3/k$	$1 + 3/k$	$\gamma(1 + \frac{3}{k})$	c^3	$\frac{P_w}{A} (W/m^2)$
3.89271701	2.3689753	3.36897529	2.8875	58.9872972	22.7915591
3.51709357	2.584764	3.58476401	3.6368	43.5062616	17.1701464
3.73859568	2.459971	3.45997102	3.1463	52.2547168	20.3054305

5.35186215	1.7359492	2.73594921	1.5824	153.290328	57.3600146
------------	-----------	------------	--------	------------	------------

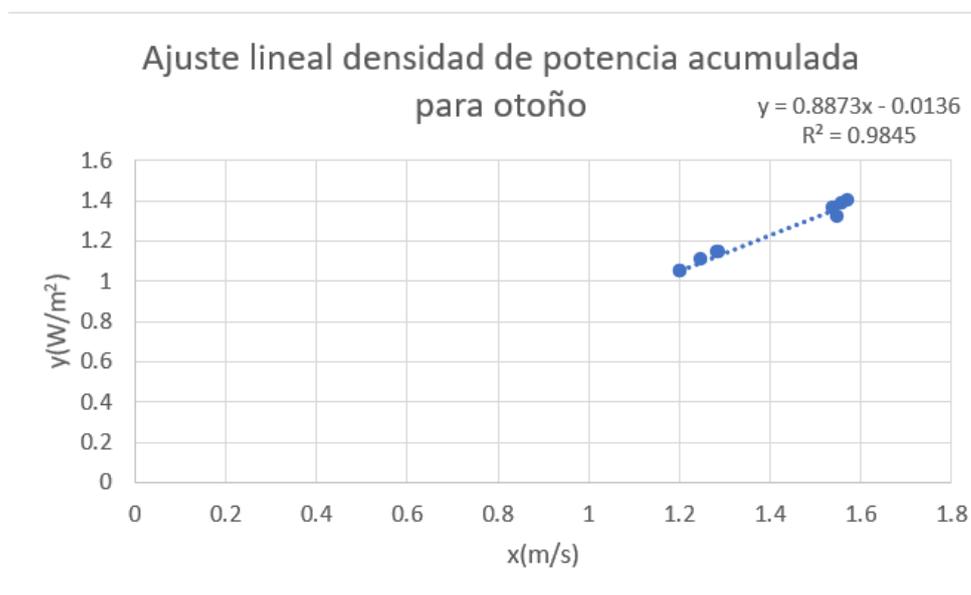
Nota. Esta tabla anterior representa la densidad de potencia con respecto a la estación de otoño las velocidades promedio del viento de los años 2017 al 2020, se tiene para la velocidad 4,814 (m/s) una densidad de potencia de 57,36001468 (W/m^2)

$\sigma = \text{desviacion estandar} = 2,90894873$

$$\rho = \text{densidad del aire} = \rho = 1.225 \left(\frac{288}{T + 273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435} \right)}$$

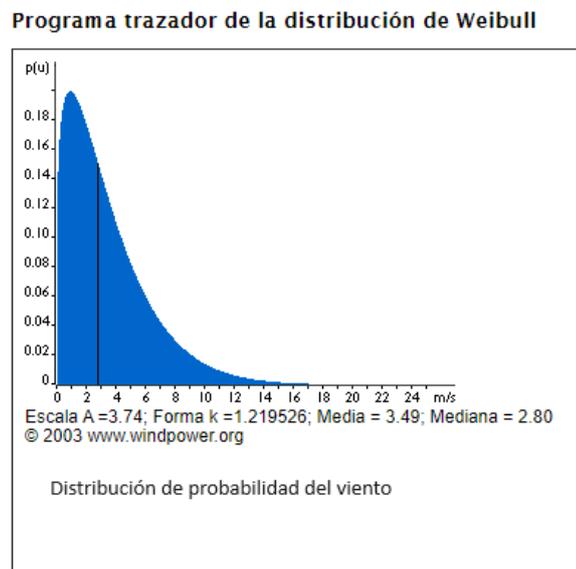
$\langle v \rangle = 3,81461111$ (velocidad promedio)

Figura 10 Ajuste lineal de la densidad de potencia provincia del Cusco estación otoño



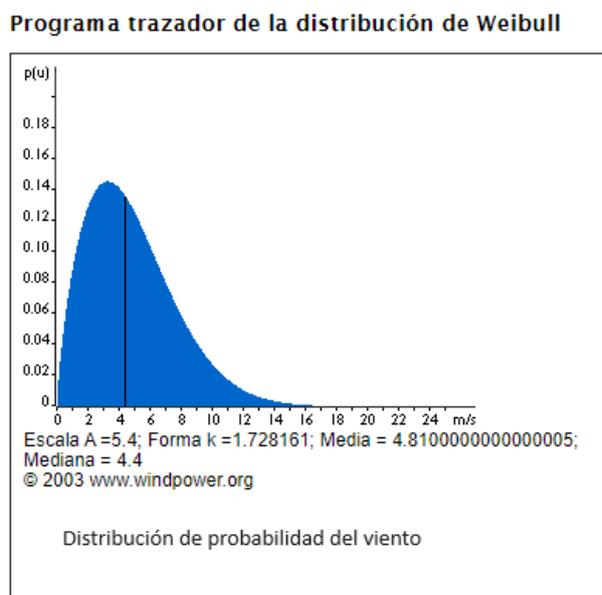
Nota. La figura anterior representa la gráfica de la densidad de potencia acumulada, estación de otoño utilizando las ecuaciones (6 y 8), donde la pendiente es el valor de $k=0,8873$ y $c= 1,015\text{m/s}$, se tiene el coeficiente de determinación $R^2= 0,9545$.

Figura 11 Distribución del viento para la estación de otoño mes mayo (provincia del Cusco)



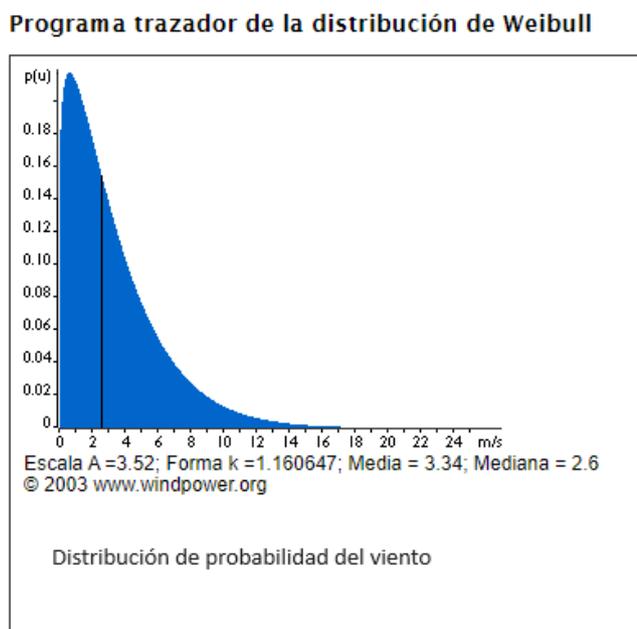
Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de mayo con la velocidad promedio 3,4922222 m/s y $k=1,21952656$. La línea negra representa la velocidad media 3,49 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 3,06

Figura 12 Distribución del viento para la estación otoño mes junio (provincia del Cusco)



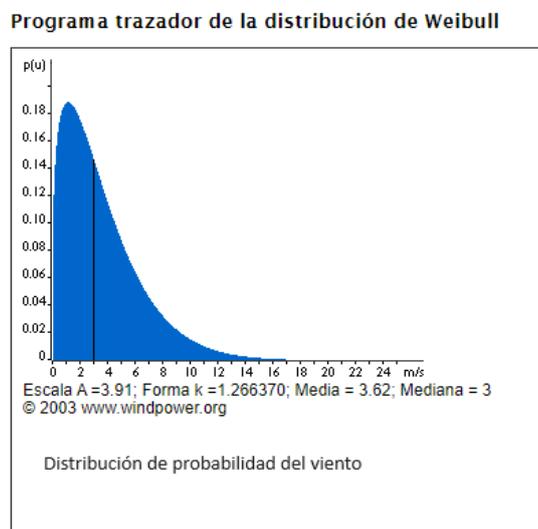
Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de junio con la velocidad promedio 4,814m/s y $k=1,72816116$. La línea negra representa la velocidad media 4,81 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 1,819

Figura 13 Distribución del viento para la estación de otoño mes abril (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de abril con la velocidad promedio 3,33666667m/s y $k=1,16064754$. La línea negra representa la velocidad media 3,34 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 3,28

Figura 14 Distribución del viento para la estación de otoño mes marzo (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de marzo con la velocidad promedio 3,64555556m/s y $k=1,26637032$. La línea negra representa la velocidad media 3,62 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 3,19

Tabla 10 Densidad de potencia de provincia del Cusco estación de invierno (junio, julio, agosto, setiembre)

Meses	v (m/s)	$v - \langle v \rangle$	$(v - \langle v \rangle)^2$	σ/v	$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086}$	$1/k$	$1 + 1/k$	$\gamma(1 + \frac{1}{k})$	c (m/s)
Junio	4.814	0.20680556	0.04276854	0.82354815	1.23470085	0.80991278	1.80991278	0.9314	5.16856345
Julio	4.05111111	4.05111111	16.4115012	0.97863542	1.02373057	0.97681952	1.97681952	0.9877	4.1015603
Agosto	4.19666667	4.19666667	17.6120111	0.94469281	1.06373733	0.94008171	1.94008171	0.9761	4.29942287
Setiembre	5.367	5.367	28.804689	0.73869216	1.38946833	0.71969975	1.71969975	0.9106	5.8939161

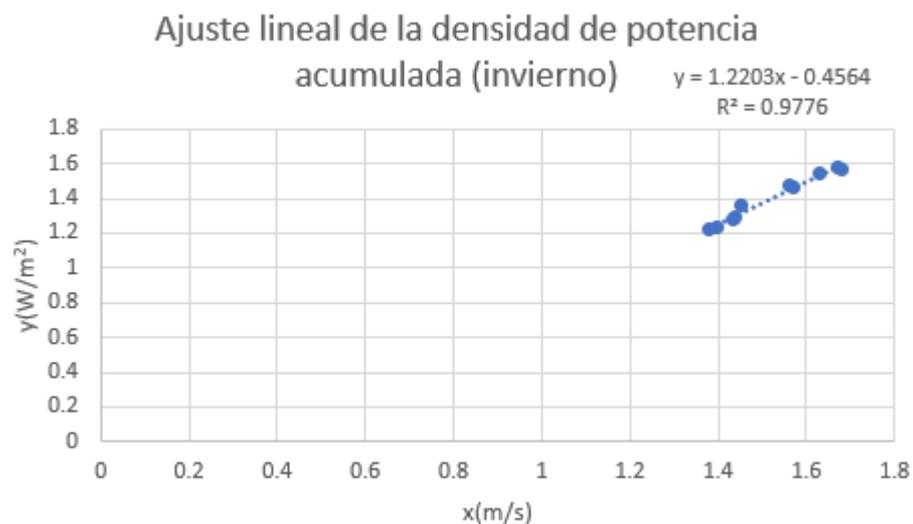
c (m/s)	$3/k$	$1 + 3/k$	$\gamma(1 + \frac{3}{k})$	c^3	$\frac{P_w}{A} (W/m^2)$
-----------	-------	-----------	---------------------------	-------	-------------------------

5.16856345	2.4297383	3.42973834	3.0459	138.073253	70.9193319
4.1015603	2.9304586	3.93045856	5.2993	68.999716	29.3850412
4.29942287	2.8202451	3.82024512	4.6942	79.4749911	35.168854
5.8939161	2.1590992	3.15909924	2.3069	204.744313	118.346067

Nota. La tabla anterior representa el resultado de la densidad de potencia con respecto a la estación de invierno las velocidades promedio del viento de los años 2017 al 2021, con

$\sigma = \text{desviación estándar} = 3,96456082$.

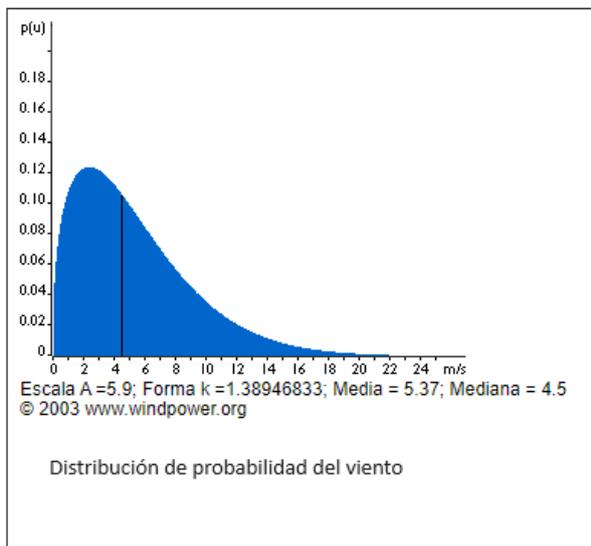
Figura 15 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada para la estación invierno (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la gráfica de la densidad de potencia acumulada, se toma las velocidades promedio de la estación de invierno se utiliza las ecuaciones (6 y 8), donde la pendiente es el valor de $k=1,2203$ y $c=1.45$ m/s, se tiene el coeficiente de determinación $R^2=0,9776$.

Figura 16 Distribución de probabilidad del viento para la estación de invierno mes setiembre (provincia del Cusco)

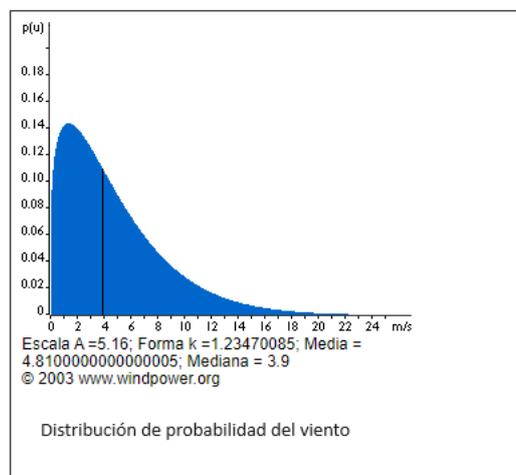
Programa trazador de la distribución de Weibull



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de setiembre con la velocidad promedio 5,367m/s y $k=1,38946833$. La línea negra representa la velocidad media 5,37 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 4,30.

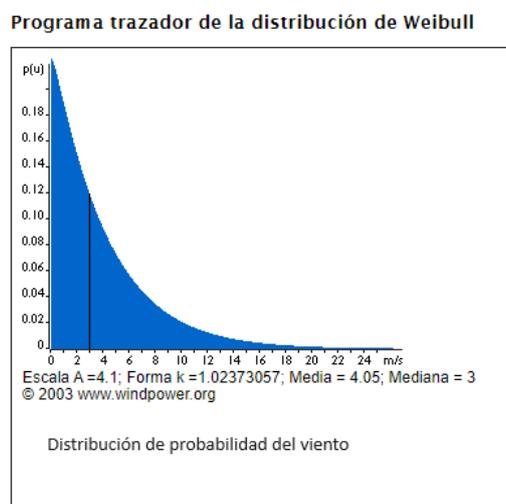
Figura 17 Distribución del viento para la estación de invierno mes de junio (provincia del Cusco)

Programa trazador de la distribución de Weibull



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de junio con la velocidad promedio 4,814m/s y $k=1,23470085$. La línea negra representa la velocidad media 3,9 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 4,53

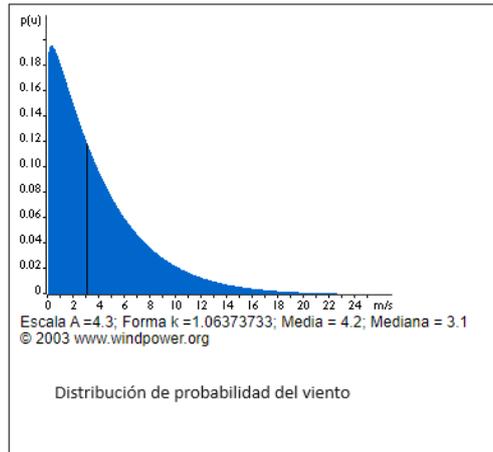
Figura 18 Distribución del viento para la estación de invierno mes julio (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de julio con la velocidad promedio 4,05111111m/s y $k=1,02373057$. La línea negra representa la velocidad media 4,05 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 5,22

Figura 19 Distribución del viento para la estación de invierno mes agosto (provincia del Cusco)

Programa trazador de la distribución de Weibull



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de agosto con la velocidad promedio 4,19666667m/s y $k=1,06373733$. La línea negra representa la velocidad media 4,02 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 5,44

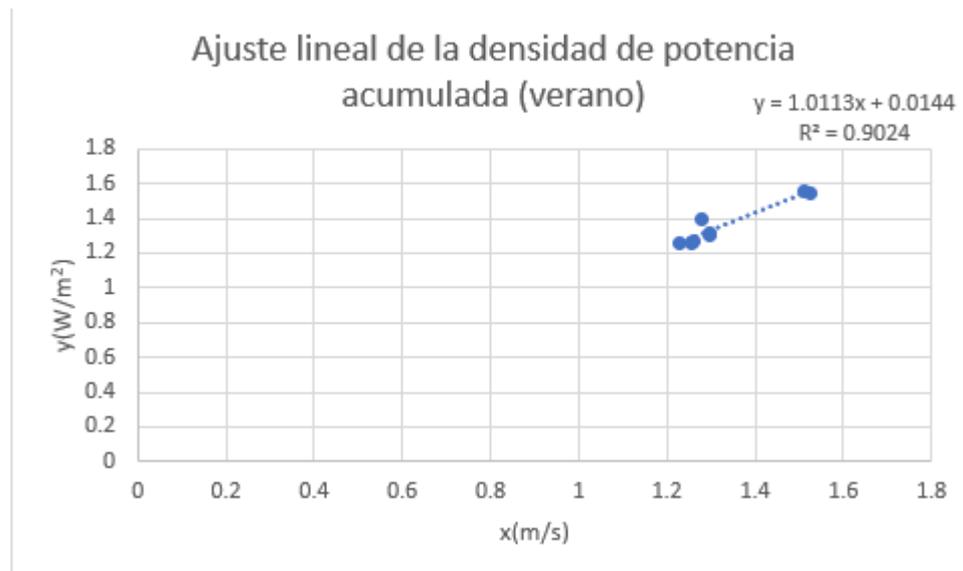
Tabla 11 Densidad de potencia provincia del Cusco, estación de verano (diciembre, enero, febrero, marzo)

Meses	v (m/s)	$v - \langle v \rangle$	$(v - \langle v \rangle)^2$	σ/v	$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086}$	$1/k$	$1 + 1/k$	$\gamma(1 + \frac{1}{k})$	c (m/s)
Diciembre	4.602	0.75705556	0.57313312	0.55350301	1.90095438	0.52605155	1.52605155	0.887	5.18827508
Enero	3.65888889	-0.18605555	0.03461667	0.69617333	1.48186597	0.67482486	1.67482486	0.9033	4.05057997
Febrero	3.50333333	3.50333333	12.2733444	0.72708492	1.41357397	0.70742672	1.70742672	0.9086	3.85574877
Marzo	3.61555556	3.61555556	13.072242	0.70451714	1.46281621	0.68361288	1.68361288	0.905	3.99508901

c (m/s)	$3/k$	$1+3/k$	$\gamma(1+3/k)$	c^3	$\frac{P_w}{A} (W/m^2)$
5.18827508	1.5781547	2.57815465	1.3981	139.659018	110.441935
4.05057997	2.0244746	3.02447458	5.2993	66.4586681	40.968861
3.85574877	2.1222802	3.12228017	2.0374	57.3226404	33.7083935
3.99508901	2.0508386	3.05083864	2.0955	63.7645619	38.8027472

Nota. La tabla anterior representa el resultado de la densidad de potencia con respecto a la estación de verano las velocidades promedio del viento de los años 2017 al 2021.

Figura 20 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada para la estación de verano (provincia del Cusco)

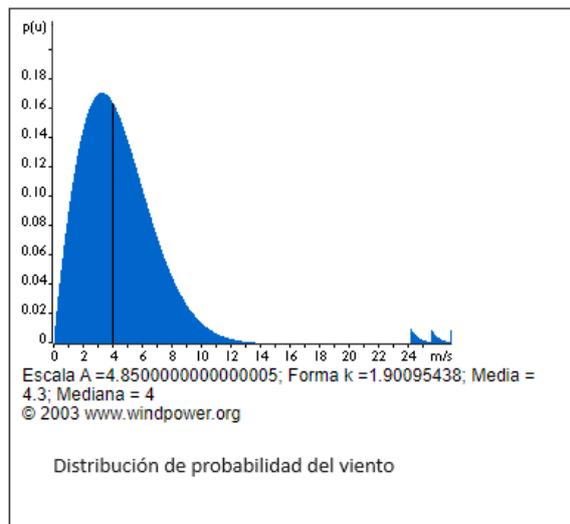


Nota. La figura anterior representa la gráfica de la densidad de potencia acumulada, se toma como datos las velocidades promedio de la estación de verano se utiliza las ecuaciones (6 y 8):

, donde la pendiente es el valor de $k=1,0113$ y $c=0.98$ m/s, se tiene el coeficiente de determinación $R^2= 0,9024$.

Figura 21 Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes diciembre (provincia del Cusco)

Programa trazador de la distribución de Weibull

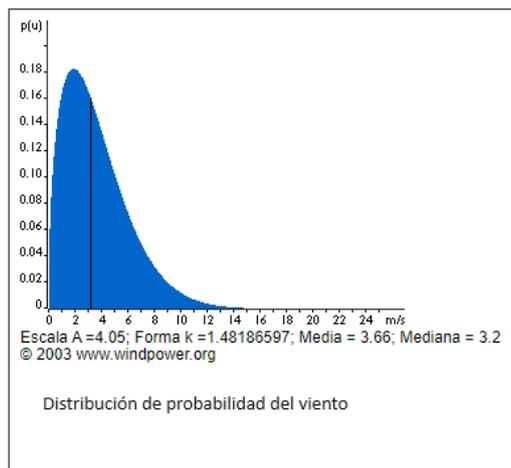


Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de diciembre con la velocidad promedio 4,601 m/s y $k=1,90095438$. La línea negra representa la velocidad media 4,6 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica.

El coeficiente de asimetría de Pearson es 0,005

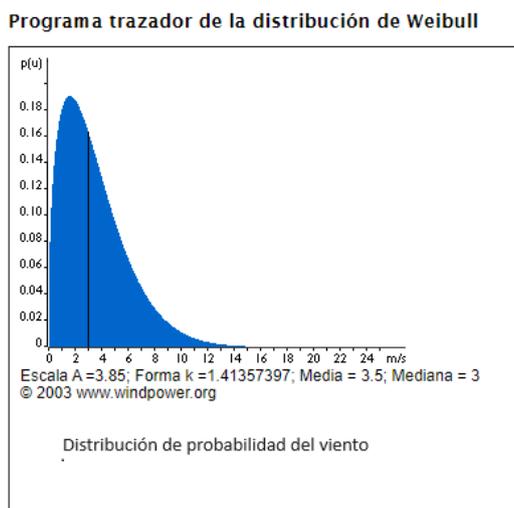
Figura 22 *Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes enero (provincia del Cusco)*

Programa trazador de la distribución de Weibull



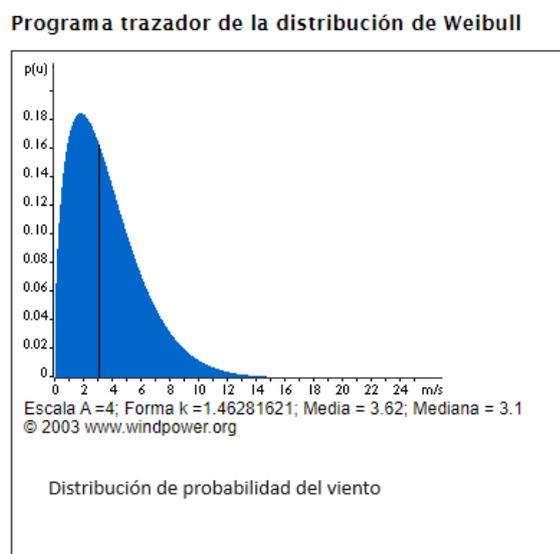
Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de enero con la velocidad promedio $3,64888889\text{m/s}$ y $k=1,48186597$. La línea negra representa la velocidad media $3,66\text{ m/s}$. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es $2,68$

Figura 23 *Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes febrero (provincia del Cusco)*



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de febrero con la velocidad promedio $3,50333333\text{m/s}$ y $k=1,41357397$. La línea negra representa la velocidad media $3,5\text{ m/s}$. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 3 .

Figura 24 Distribución de probabilidad del viento para la estación de verano mes marzo (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de marzo con la velocidad promedio 3,61555556m/s y $k=1,46281621$. La línea negra representa la velocidad media 3,62 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 3,06

Tabla 12 Densidad de potencia provincia del Cusco, estación primavera (setiembre, octubre, noviembre, diciembre).

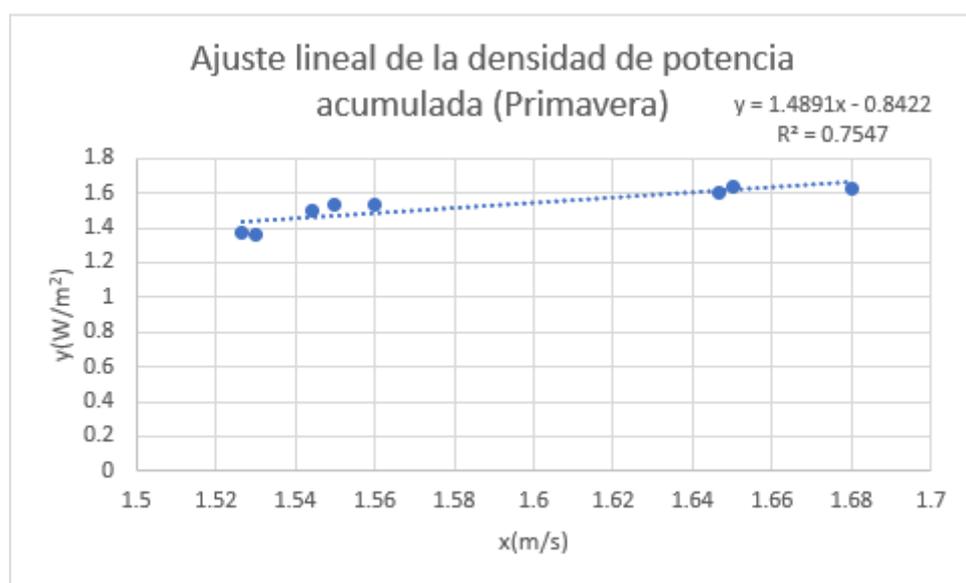
Meses	v (m/s)	$v - \langle v \rangle$	$(v - \langle v \rangle)^2$	σ/v	$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086}$	$1/k$	$1 + 1/k$	$\gamma(1 + \frac{1}{k})$	c (m/s)
setiembre	5.367	0.406	0.164836	0.61334869	1.7003946	0.58809878	1.58809878	0.8914	6.02086605
octubre	5.19	0.229	0.052441	0.63426636	1.6395813	0.60991181	1.60991181	0.8935	5.8086178
noviembre	4.685	4.685	21.949225	0.70263445	1.46707334	0.68162918	1.68162918	0.905	5.17679558
diciembre	4.602	4.602	21.178404	0.71530691	1.43886891	0.69499034	1.69499034	0.9068	5.07498897

c (m/s)	$3/k$	$1 + 3/k$	$\gamma(1 + \frac{3}{k})$	c^3	$\frac{P_w}{A} (W/m^2)$
6.02086605	1.7642964	2.76429635	1.3981	218.26138	154.390277
5.8086178	1.8297354	2.82973543	5.2993	195.983001	133.673306

5.17679558	2.0448875	3.04488754	2.0759	138.734045	84.6697358
5.07498897	2.084971	3.08497103	2.1559	130.708945	78.2383834

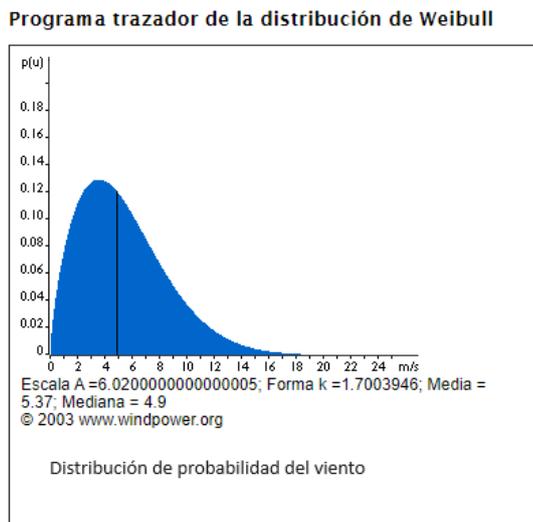
Nota. La tabla anterior representa el resultado de la densidad de potencia (W/m^2) con respecto a la estación de primavera las velocidades promedio del viento de los años 2017 al 2021.

Figura 25 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada de la estación de primavera (provincia del Cusco)



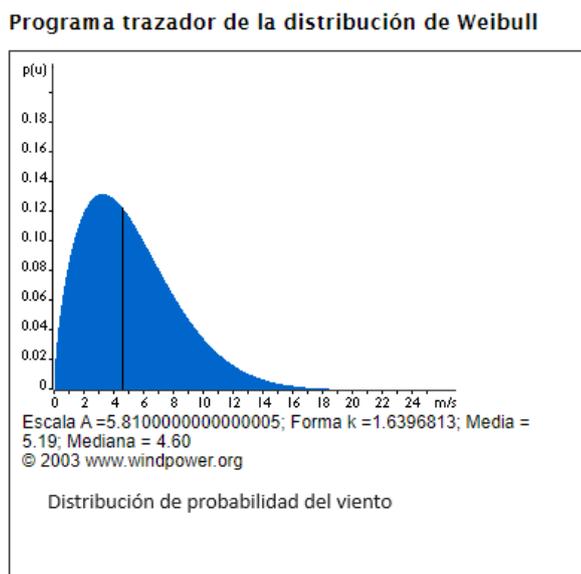
Nota. La figura anterior representa la gráfica de la densidad de potencia acumulada, se toma las velocidades promedio de la estación primavera se utiliza las ecuaciones (6 y 8), donde la pendiente es el valor de $k=1,4891$ y $c=1,76$ m/s. se tiene el coeficiente de determinación $R^2= 0,7547$.

Figura 26 Distribución de Probabilidad del viento para la estación de primavera mes setiembre (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de setiembre con la velocidad promedio 5,367m/s y $k=1,7003946$. La línea negra representa la velocidad media 5,37 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 3,73.

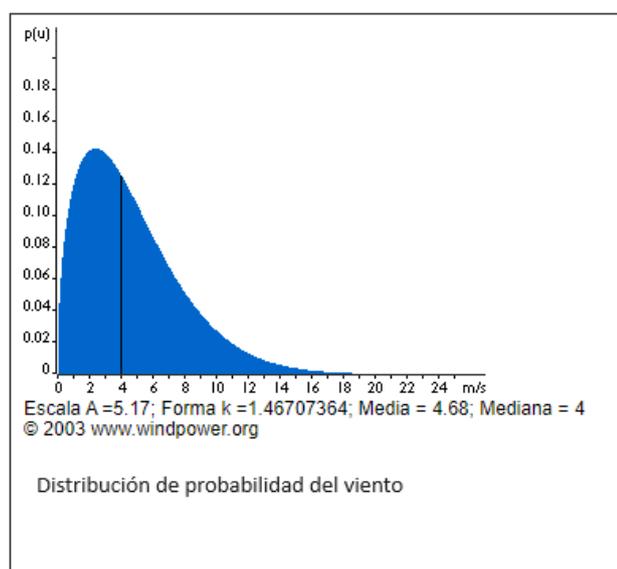
Figura 27 Distribución de probabilidad del viento para la estación de primavera mes octubre (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de octubre con la velocidad promedio 5,19m/s y $k=1,6395813$. La línea negra representa la velocidad media 5,19 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson de 4,72.

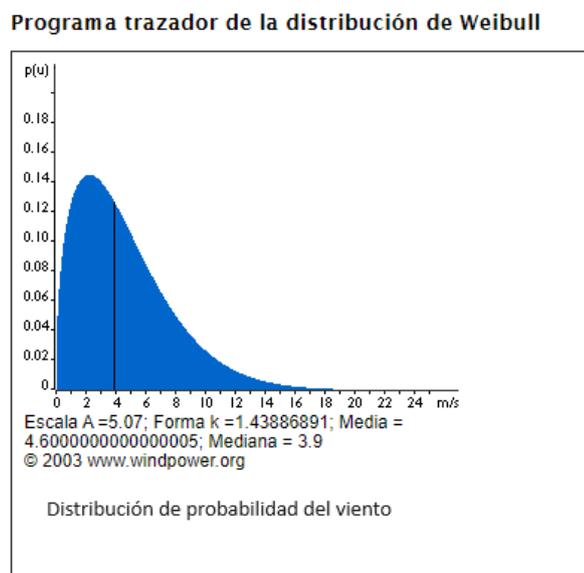
Figura 28 Distribución de probabilidad del viento para la estación de primavera mes noviembre (provincia del Cusco)

Programa trazador de la distribución de Weibull



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de noviembre con la velocidad promedio 4,685m/s y $k=1,46707334$. La línea negra representa la velocidad media 4 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 5,48

Figura 29 Distribución de probabilidad del viento para la estación de primavera mes de diciembre (provincia del Cusco)



Nota. La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de diciembre con la velocidad promedio 4,602m/s y $k=1,43886891$. La línea negra representa la velocidad media 4,6 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 5,616

Tabla 13 Densidad de potencia para el año 2020 (provincia del Cusco)

Meses	v (m/s)	$v - \langle v \rangle$	ϵ/v	$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086}$	$\gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$	c (m/s)
Enero	3.6	0.12916667	0.12276269	9.75604764	0.8512	4.22932331
Febrero	2.955	-0.51583333	0.1495586	7.8732642	0.8885	3.32583005
Marzo	3.14	-0.33083333	0.14074703	8.40998061	0.8912	3.52333932
Abril	2.8	-0.67083333	0.15783774	7.42579607	0.8876	3.15457413
Mayo	2.9	-0.57083333	0.15239506	7.71424845	0.8885	3.26392797
Junio	3.78	0.30916667	0.11691684	10.286923	0.899	4.20467186
Julio	3.23	-0.24083333	0.13682528	8.6720812	0.8922	3.62026451
Agosto	3.905	0.43416667	0.11317431	10.6568743	0.9027	4.32591116
Setiembre	3.905	0.43416667	0.11317431	10.6568743	0.9027	4.32591116
Octubre	4.12	0.64916667	0.10726837	11.2955602	0.9094	4.53045964
Noviembre	3.935	0.46416667	0.11231148	10.7458155	0.9027	4.35914479
Diciembre	3.38	-0.09083333	0.13075316	9.11030534	0.8946	3.7782249
Promedio	3.47083333					3.88679857

$c(\frac{m}{s})$	$3/k$	$1 + 3/k$	$\gamma(1 + \frac{3}{k})$	c^3	$\frac{P_w}{A}(W/m^2)$
4.22932331	0.3075016	1.30750157	1.0222	75.6506489	32.1693188
3.32583005	0.3810364	1.38103637	1.0665	36.7874902	16.321285
3.52333932	0.356719	1.35671902	1.0226	43.7384522	18.6064076
3.15457413	0.4039971	1.40399709	1.1078	31.3922333	14.4669475
3.26392797	0.3888908	1.38889077	1.073	34.7713616	15.5208231
4.20467186	0.2916324	1.29163239	0.9588	74.3355098	29.6495209
3.62026451	0.3459377	1.34593772	1.0176	47.4483277	20.085902
4.32591116	0.2815084	1.28150843	0.9386	80.9529701	31.6087024
4.32591116	0.2815084	1.28150843	0.9386	80.9529701	31.6087024
4.53045964	0.2655911	1.26559108	0.9288	92.9879768	35.9287689
4.35914479	0.2791784	1.27917844	0.9397	82.8330938	32.3807154
3.7782249	0.3292974	1.32929742	0.9878	53.9340979	22.1628584
Promedio					25.042496

Nota. La tabla anterior representa el resultado de la densidad de potencia con respecto a las velocidades promedio en el año 2020, para la velocidad promedio $c=3,9$ m/s se obtuvo una densidad de potencia promedio de $25 (W/m^2)$.

Figura 30 Ajuste lineal de la densidad de potencia acumulada del año 2020 (provincia del cusco)



Nota. La figura anterior representa la gráfica de la densidad de potencia acumulada, provincia del Cusco año 2020, utilizando las ecuaciones (6 y 8), donde la pendiente es el valor de $k=16.696$ y $c=7,17$ m/s., se tiene el coeficiente de determinación $R^2=0,956$

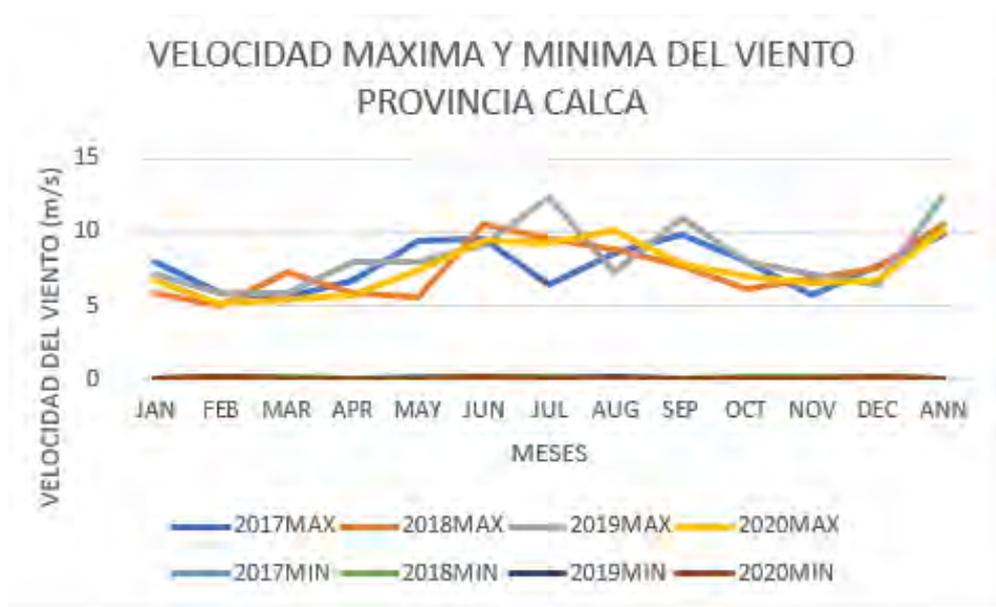
5.4. Presentación de resultados de la provincia de Calca

Tabla 14 Velocidades máximas y mínimas del viento años 2017 al 2020 (provincia de Calca)

Velocidades(m/s)	Año	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
WS10M_MAX	2017	8.05	5.8	5.59	6.7	9.42	9.53	6.4	8.58	9.84	7.95	5.77	7.76	9.84
WS10M_MAX	2018	5.84	5.03	7.26	5.88	5.55	10.55	9.52	8.84	7.66	6.17	6.93	7.53	10.55
WS10M_MAX	2019	7.09	5.86	5.9	8.07	8.06	9.15	12.34	7.3	11.05	7.98	7.08	6.39	12.34
WS10M_MAX	2020	6.69	5.15	5.44	5.69	7.44	9.49	9.31	10.14	7.92	6.94	6.54	6.77	10.14
WS10M_MIN	2017	0.07	0.05	0.03	0.07	0.16	0.15	0.04	0.09	0.05	0.09	0.07	0.2	0.03
WS10M_MIN	2018	0.07	0.07	0.12	0.06	0.03	0.12	0.13	0.1	0.06	0.22	0.14	0.06	0.03
WS10M_MIN	2019	0.11	0.21	0.03	0.09	0.07	0.08	0.09	0.21	0.11	0.09	0.02	0.08	0.02
WS10M_MIN	2020	0.04	0.2	0.01	0.06	0.01	0.14	0.07	0.01	0.1	0.09	0.09	0.12	0.01

Nota. La tabla anterior representa las tendencias mensuales de la velocidad máxima y mínima del viento de 4 años.

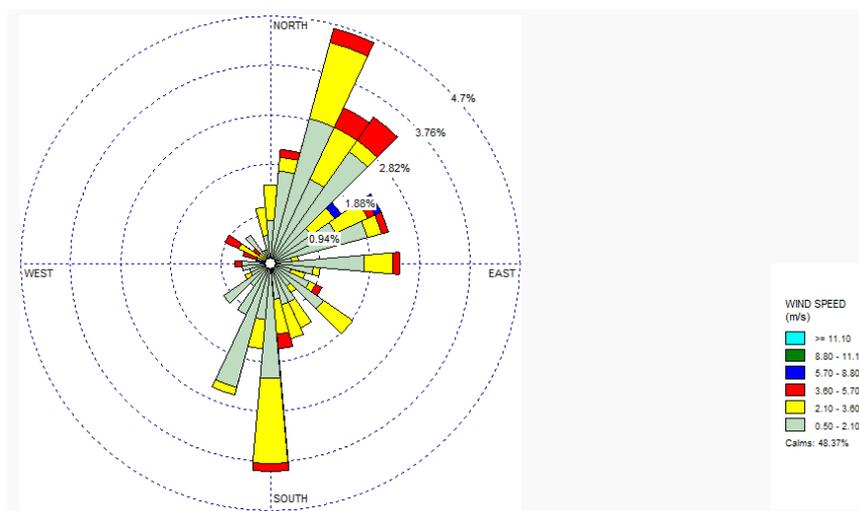
Figura 31 Velocidades máximas y mínimas del viento de la provincia de Calca años 2017 al 2020



Nota. La figura anterior representa las tendencias mensuales de la velocidad mínima del viento de 4 años, donde se observa que la mayor velocidad del viento fue durante el año

2020 de 0,01m/s en el mes de marzo y máximo velocidad del viento en el año 2019 de 12,34 m/s en el mes de julio.

Figura 32 Rosa del viento de la provincia de Calca año 2020



Latitud: 13°19'59.97" S Longitud: 71°57'18.85" W altitud: 2921msnm.

Nota. La figura anterior es la rosa de viento para el año 2020, se

observan las direcciones del viento, menor al oeste, mayor al noreste.

Para realizar la rosa del viento se utilizó **VISTA WRPLOT VERSION 8.0.2- 20,6MB**
21 DE MARZO DE 2018.

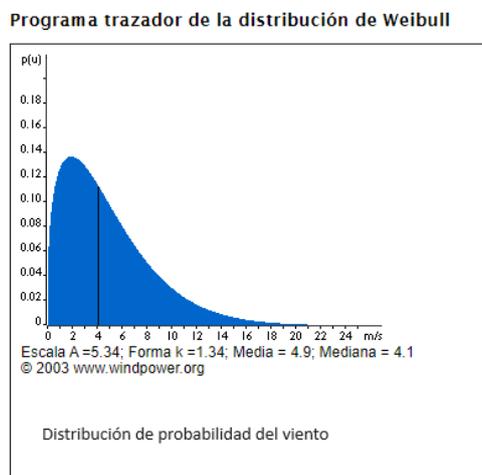
Descargue e instale el archivo WRPLOT en la computadora. Ordenar los datos en Excel, abrir WRPLOT, luego abrir tools, enseguida import from Excel, buscar el documento en Excel abrir, poner los datos según las columnas en Data Field name, luego station information, finalmente Wind Rose, ya tenemos la gráfica de la rosa del viento.

Tabla 15 Densidad de potencia y velocidad máxima para el año 2020 (provincia de Calca)

Meses	$v(m/s)$	$v - \langle v \rangle$	σ/v	k	$1 + 1/k$	$c(m/s)$	$3/k$	$1 + 3/k$	$\frac{P_w}{A} (W/m^2)$
Enero	3.495	-0.32083333	1.07016459	0.92900205	2.07642389	3.37192475	3.22927166	4.22927166	63.501587
Febrero	2.79625	2.79625	1.33758614	0.72914612	2.37146722	2.29501806	4.11440165	5.11440165	60.3438336
Marzo	3.0475	3.0475	1.22730935	0.80056373	2.24911979	2.70504172	3.74735938	4.74735938	67.3045699
Abril	3.3275	3.3275	1.12403463	0.88075122	2.1353944	3.11709602	3.40618319	4.40618319	63.8535082
Mayo	3.8425	3.8425	0.97338328	1.02973081	1.97112759	3.89035132	2.91338278	3.91338278	65.7027184
Junio	4.90125	4.90125	0.7631166	1.34123933	1.74557909	5.33266239	2.23673727	3.23673727	79.5974054
Julio	4.7375	4.7375	0.78949346	1.29264566	1.77360721	5.18439484	2.32082163	3.32082163	79.4073225
Agosto	4.40875	4.40875	0.8483641	1.19552769	1.83645072	5.18439484	2.50935217	3.50935217	79.4073225
Setiembre	4.59875	4.59875	0.81331345	1.25158359	1.79898779	5.00516979	2.39696336	3.39696336	79.4073225
Octubre	3.69125	3.69125	1.01326793	0.98578774	2.01441716	3.67544558	3.04325148	4.04325148	79.4073225
Noviembre	3.33	3.33	1.12319076	0.88146987	2.13446872	3.135298	3.40340617	4.40340617	79.4073225
Diciembre	3.61375	3.61375	1.03499834	0.963331	2.03806479	3.55124804	3.11419438	4.11419438	79.4073225
Promedio	3.81583333					3.870670446			73.0622964

Nota. La tabla anterior representa el resultado de la densidad de potencia (W/m^2) con respecto a las velocidades máximas del año 2020, para la velocidad promedio $c=3,9$ m/s se obtuvo una densidad de potencia promedio de $73 (W/m^2)$.

Figura 33 Distribución de probabilidad del viento año 2020 (provincia de Calca)



Nota: La tabla anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de junio con la velocidad máxima 4,9 m/s y $k=1,34$. La línea negra representa la velocidad media 4 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada, no es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson de 3,47

5.5. Presentación de resultados provincia de Canchis

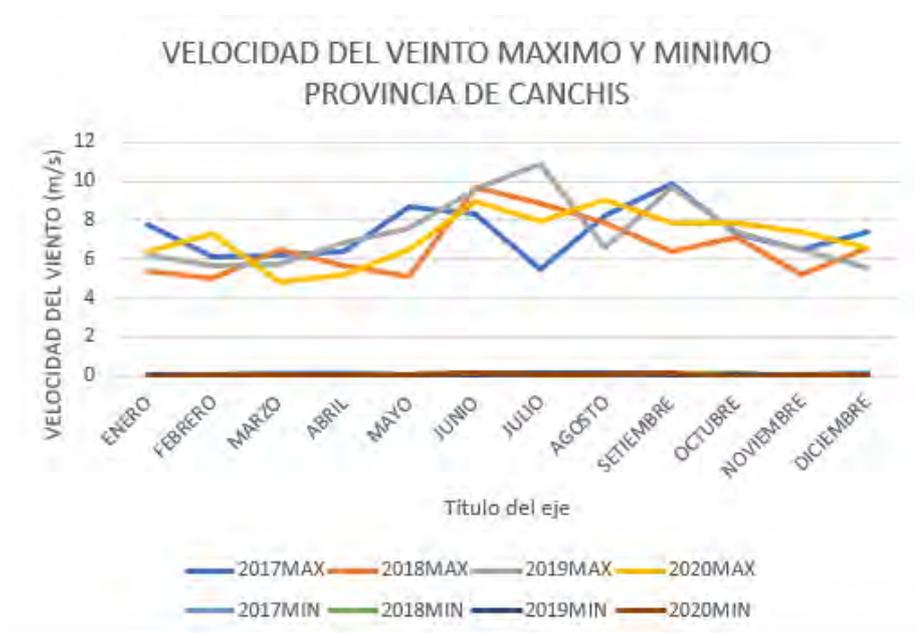
Tabla 16 Velocidad máxima y mínimas del viento años 2017 al 2020 (provincia de Canchis)

	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
WS10M_MAX	2017	7.74	6.16	6.23	6.4	8.68	8.27	5.48	8.19	9.89	7.34	6.51	7.42
WS10M_MAX	2018	5.38	5.05	6.49	5.64	5.09	9.69	8.83	7.88	6.35	7.09	5.23	6.58
WS10M_MAX	2019	6.24	5.64	5.77	6.88	7.54	9.64	10.84	6.55	9.66	7.44	6.52	5.61
WS10M_MAX	2020	6.38	7.27	4.81	5.21	6.5	8.95	7.97	9.04	7.82	7.84	7.38	6.61
WS10M_MIN	2017	0.05	0.09	0.12	0.12	0.03	0.19	0.07	0.1	0.06	0.05	0.03	0.13

WS10M_MIN	2018	0.04	0.04	0.05	0.02	0.06	0.12	0.16	0.13	0.05	0.16	0.02	0.04
WS10M_MIN	2019	0.09	0.04	0.03	0.01	0.07	0.09	0.13	0.12	0.1	0.1	0.05	0.05
WS10M_MIN	2020	0.02	0.09	0.04	0.05	0.09	0.19	0.04	0.1	0.2	0.01	0.05	0.06

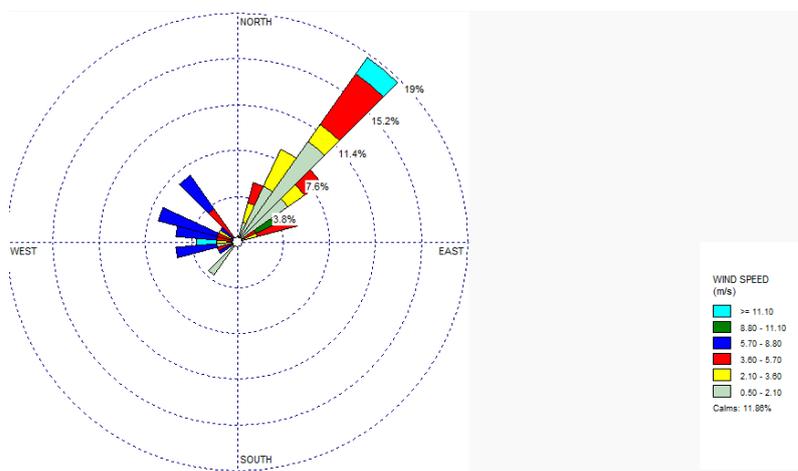
Nota. La tabla anterior representa las tendencias mensuales de la velocidad máxima y mínima del viento de 4 años

Figura 34 Velocidades máximas y mínimas del viento de la provincia de Canchis años 2017 al 2020



Nota. La figura anterior representa la tendencia mensual de la velocidad mínima del viento de 4 años, donde se observa que la mayor velocidad del viento fue durante el año 2019 de 0,09m/s en el mes de enero y máxima velocidad del viento en el año 2019 de 10,84m/s en el mes de setiembre.

Figura 35 Rosa del viento de la provincia de Canchis año 2020



Latitud: 14°14'14.05" S Longitud: 71°14'12.1" W altitud: 3534msnm.

Nota. La figura anterior es la rosa de viento para el año 2020, se

observan las direcciones del viento, menor al oeste y mayor al noreste.

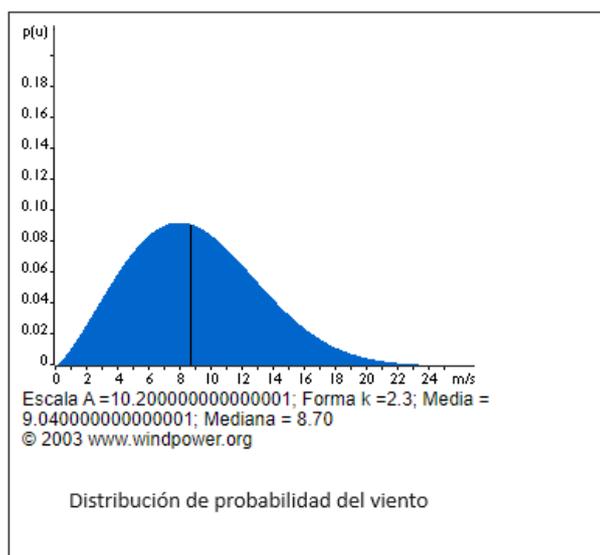
Para realizar la rosa del viento se utilizó **VISTA WRPLOT VERSION 8.0.2- 20,6MB**
21 DE MARZO DE 2018.

Descargue e instale el archivo WRPLOT en la computadora. Ordenar los datos en Excel, abrir WRPLOT, luego abrir tools, enseguida import from Excel, buscar el documento en Excel abrir, poner los datos según las columnas en Data Field name, luego station information, finalmente Wind Rose, ya tenemos la gráfica de la rosa del viento.

Tabla 17 Densidad de potencia y velocidad máxima año 2020 (provincia de Canchis)

Meses	v (m/s)	$v - \langle v \rangle$	σ/v	k	$1+1/k$	c (m/s)	$3/k$	$1+3/k$	$\frac{P_w}{A} (W/m^2)$
enero	6.38	40.7044	1.103	0.8987	2.11274	6.066946	3.3382247	1	92.3679008
febrero	7.27	52.8529	0.968	1.0356	1.96561	7.390465	2.8968397	3.89683966	879.04001
marzo	4.81	23.1361	0.869	1.1641	1.85904	5.070096	2.5771091	3.57710911	194.804541
abril	5.21	27.1441	0.803	1.2696	1.78765	5.625135	2.3629612	3.36296121	211.552232
mayo	6.5	42.25	0.643	1.6144	1.61944	7.265005	1.8583112	2.85831124	279.055258
junio	8.95	80.1025	0.467	2.2849	1.43766	10.10158	1.3129934	2.3129934	503.332967
julio	7.97	63.5209	0.525	2.0145	1.49641	8.993455	1.4892192	2.48921919	399.466062
agosto	9.04	81.7216	0.463	2.3098	1.43293	10.20316	1.2988035	2.29880348	515.533218
setiembre	7.82	61.1524	0.535	1.9733	1.50676	8.487085	1.5202669	2.52026685	342.992263
octubre	7.84	61.4656	0.533	1.9788	1.50535	8.846761	1.5160556	2.51605555	385.622162
noviembre	7.38	54.4644	0.567	1.8531	1.53965	8.314556	1.6189489	2.61894894	347.054479
diciembre	6.61	43.6921	0.633	1.6441	1.60825	7.364903	1.8247509	2.82475085	283.862243
Promedio	7.522	49.55438462	0.676	1.6701	1.59878	7.810762	1.79633786		369.556945

Nota. La tabla anterior representa el resultado de la densidad de potencia con respecto a las velocidades máximas para el 2020, para la velocidad promedio $c=7,8$ m/s se obtuvo una densidad de potencia promedio de 370 (W/m^2).

Figura 36 Distribución de probabilidad del viento año 2020 (provincia de Canchis)**Programa trazador de la distribución de Weibull**

Nota: La figura anterior representa la distribución de probabilidad del viento para el mes de agosto con la velocidad máxima 9,04 m/s y $k=2,3$ La línea negra determina la velocidad media 8,70 m/s. La distribución de la velocidad del viento es sesgada ligeramente, casi es simétrica. El coeficiente de asimetría de Pearson es 0,77.

CONCLUSIONES

- Si es posible efectuar la evaluación de la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca y Canchis. Hallando los valores de k (factor de la forma el grado de dispersión de los registros) y c (factor de escala en m/s) se obtuvo la velocidad promedio 4,80864057 (m/s) por meses de los años 2017 al 2021 para una altura de 10 m, cuya densidad de potencia promedio es 35,0876144 (W/m^2).
- Si es posible efectuar la evaluación de la potencia eólica en Calca cuyos resultados de la velocidad promedio por meses del año 2020 para una altura de 10 m, donde la velocidad promedio $c=3,9$ m/s se tiene una densidad de potencia promedio de 73 (W/m^2).
- Si es posible efectuar la evaluación de la potencia eólica en la provincia de Canchis, cuyos resultados de la velocidad promedio por meses del año 2020 para una altura de 10 m, donde la velocidad promedio $c=7,8$ m/s se obtuvo una densidad de potencia promedio de 370 (W/m^2).

RECOMENDACIONES

- Con la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca, Canchis se recomienda aprovechar en la generación de energía eléctrica para mejorar su calidad de vida.
- Es indispensable la difusión de las bondades de energía eléctrica producida por medios eólicos.
- Es necesario utilizar la Data Power Nasa para obtener datos en forma gratuita, se pueda tener evaluaciones con modelos matemáticos y poder lograr más investigaciones que ayuden a promover las energías renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amilcar, F. T. (2007). *Generación Eoloeléctrica con almanecimiento de Hidrogeno*. Mexico: Centro de investigación en energía.
- Belloso Chacín, R. (2021). El problema. *Urbe*, 8.
- Caraballosa Granado, K. R. (2021). Sistema de gestión de información: soporte al desarrollo de energías renovables en Cuba. *Universidad y Sociedad*, 183-192.
- Castañeda Ramirez, J. C. (2018). *Emplazamiento eólico incorporado a la red eléctrica en el estado de Michoacán*. Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- De Ávila S Andrés, e. a. (2022). Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de weibull y Rosa de los vientos. *Revistascientíficas*, 40-41.
- Estrada Olivera, V. m. (2013). *proyecto de un aprovechamiento de energías renovables en particular la generación undimotriz*. Mexico: Instituto Politécnico nacional.
- G.Arias, F. (2012). *Metodología de la investigación*. Caracas: El Pasillo.
- García Ortega, J. L. (2006). El potencial de las energías renovables en España. *Critica*, 37-39.
- Gómez Orea, D. (2002). Evaluación de impacto ambiental. un instrumento preventivo para la gestión ambiental. *Mundi- Prensa*.
- Gunter Dietmar, R. (2003). Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicas generales. *Omega*, 84-282.
- Huérffano R. Karen, & G. (14 de diciembre de 2020). *Dimensionamiento e implementación de un sistema Híbrido eólico*. Bogota: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/EcuRed>.
- Justus CG, y. A. (1976). Height variation of wind speed and wind distribution statistics. *Geophysical Research*, 261-264.
- Mendoza Uribe, I. (2018). Valoración del viento como fuente de nergía eólica En el estado de Guerrero. *Ingeniería- revista académica*, 30-46.
- Orozco, N. (2021). Barreras de regulación para la inserción de las energías renovables de generación distribuida a pequeña escala. *Científica*, 1623-1631.
- Osorio- laurencio, L. L.-R.-S. (2020). GUi de Matlab para la evaluación del potencial eólico en sistemas operativos basados en GNU. *Linux, Revista Cubana de ciencias informáticas.*, 6-19.
- Pallo Pallo, S. &. (2022). *Implementación de la iluminación con energía eólica para la cancha múltiple del recinto Salento de la parroquia Guasaganda del cantón La Maná*. Ecuador: Tesis:Universidad Técnica de Cotopaxi.

- Pereyra Tamayo, R. (2011). Potencial de las Energías Renovables en el Perú. *Ministerio de energía y Minas*, 18.
- Quiñonez Choquecota, J. &. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista de investigadores Altoandinos*, 57-68.
- Quiñonez, J. C. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Investigaciones Altoandinas*, 21(1), 57-68.
- Rocha, L. (2023). Energía eólica. *La enciclopedia libre*, 15.
- Vilchez Raul, &. N. (28 de 03 de 2019). *Estudio técnico y económico de la utilización de energía eólica y solar, para generar energía eléctrica en el caserío Lima Distrito Santo Tomas-Cutervo-Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Yancachajlla Tito, U. &. (2018). *Estimación del potencial de energía eólica usando la distribución de Weibull para un sitio en la región del sur del Perú*. Juliaca: XXVIII-SPES.
- Yuong Hugh, &. F. (2013). *Fisca Universitaria volume 1*. España: Editorial Fundamentos.

ANEXOS



GOBIERNO REGIONAL CUSCO
GERENCIA REGIONAL DE ENERGIA, MINA E HIDROCARBUROS
Trabajemos con Integridad



GOBIERNO REGIONAL
CUSCO
 Trabajemos
 Integridad

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

CEDULA DE NOTIFICACION N°543 -2022-GREMH/GR.CUSCO.

EXPEDIENTE	REGISTRO GREMH -4599
DESTINATARIO	MAYRA IRINA GARCIA LA TORRE
DOMICILIO	S/N
FECHA DE EMISION	14/11/2022

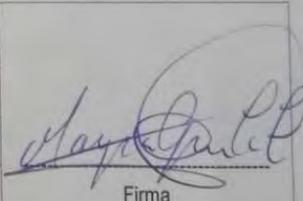
De conformidad con el artículo 18 de la Ley 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, la Gerencia Regional de Energía, Minas e Hidrocarburos del Gobierno Regional del Cusco, cumple con notificar los documentos que a continuación se indican:

01 INFORME N°286-2022-GORE.CUSCO-GREMH-/SGFEMH (04 FOLIOS) RESPUESTA A SOLICITUD DE DATOS ESTADISTICOS Y OTRO DE POTENCIAL ENERGETICO REGION CUSCO



FIRMA Y SELLO

DATOS DE LA PERSONA QUE RECIBE LA NOTIFICACION:

NOMBRE:		 Firma
DNI:		
VINCULO CON EL DESTINATARIO:		
FECHA: 22/11/2022	HORA: 11 am	

OBSERVACIONES:

--


 FIRMA DEL NOTIFICADOR



PERÚ

Presidencia
del Consejo de MinistrosOrganismo Supervisor de la Inversión
en Energía y Minería - Osinergmin

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

"Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú"

Cusco, 04 de noviembre del 2022

Expediente: 202200225161

OFICIO N° 1347-2022-OS/OR CUSCO

Señora

Mayra Irina García Latorre
Urb. Ttio P-1-6
Wanchaq-CuscoAsunto: Requerimiento de Información sobre Proyectos de Energía Solar en la Región
Cusco

Referencia: Carta S/N de fecha 02 de noviembre 2022

De nuestra consideración:

Previo atento saludo, mediante la presente, damos respuesta a su requerimiento de información presentado en fecha 02 de noviembre del 2022 por la ventanilla virtual del Osinergmin. Al respecto hago de su conocimiento que, nuestro Organismo, tiene como una de sus funciones la regulación y la fiscalización de las actividades energéticas en el país, dentro del marco legal establecido, principalmente a las empresas concesionarias de electricidad.

En lo referente a su petición de "Datos de energías renovables respecto al potencial instalado en la Región Cusco, tanto datos estadísticos y mapas de los últimos cinco años atrás"; manifestarle que dicha información no maneja Osinergmin, esta podría encontrarlo directamente en las empresas generadoras que operan Centrales hidráulicas y distribuidoras que operan minicentrales hidráulicas, ubicados en nuestra región, en cuanto a energía Solar, Eólica y otras, el Ministerio de Energía y Minas es el que otorga las concesiones para la implementación de estas fuentes de energía.

Sin otro particular quedamos de usted.

Atentamente,

Firmado Digitalmente por:
MARTINEZ GONZALES
Ignacio FAU 20376082114
hard

Fecha: 04/11/2022 12:14:16 Martínez Gonzales

Jefe de la Oficina Regional
Osinergmin OR Cusco

Para un próximo trámite, señalar el número de expediente: 202200225161

Urb. Constancia A-B (Centro Empresarial Amauta)
Wanchaq - Cusco
Teléfono: 084 252796

Pág. 1

Osinergmin
Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería



GOBIERNO REGIONAL
CUSCO
*Trabajemos
Integridad*

GOBIERNO REGIONAL CUSCO
GERENCIA REGIONAL DE ENERGÍA,
MINAS E HIDROCARBUROS
RUC. N° 20527147612

RECIBO DE CAJA

N° 001317

S/ 46.00

Recibí del Señor(a): MAYRA IRINA GARCÍA LATORRE

La suma de: CUARENTA Y SEIS CON 00/100 Soles

Por concepto de: DIFER. DECRETOS ADMINISTRATIVOS 2
ELECTRICIDAD - ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA

Hora: 09:26

Cusco, 09 de NOVIEMBRE del 2027


TESORERIA

Solicitud: De datos estadísticos y mapas
sobre las energías renovables respecto al
potencial energético instalado en la región
del Cusco



Sr: Gerente Regional de Energías, Minas e Hidrocarburos

Ing. Ivan Prado Barreto

Ciudad: Cusco

Yo, Mayra Irina García La Torre, identificada con DNI 23876059,
domiciliada en la urbanización Ttio P-1-6, distrito de Wanchaq, con el debido respeto me
presento y expongo:

Que teniendo la necesidad para la elaboración de mi tesis maestría de ciencias de la Unsaac.
Pido a Ud. facilitar todos los datos estadísticos y mapas sobre las energías renovables
respecto al potencial energético (energía fotovoltaica, energía eólica, energía geotérmica,
energía de biomasa, energía hidráulica) en la región del Cusco actualizados desde 10 años
atrás. Mi número de cel. Es 984286517 y mi correo es mayraglt@hotmail.com Por lo
expuesto es que recurro a su oficina.

Por tanto pido a usted acceder a mi petición por ser de Justicia.

Atentamente:

Mayra Irina García La Torre

Cusco 09 de Noviembre del 2022



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

INFORME N° 286 -2022-GR CUSCO/GREMH-SGPEMH-EOYO

A : ING. IVÁN PRADO BARRETO
Gerente Regional de Energía, Minas e Hidrocarburos-Cusco

ASUNTO : Respuesta a solicitud de Datos Estadísticos y Otros de Potencial Energético Región Cusco.

REFERENCIA : Expediente GREMH N° 4552 (09/11/22)

FECHA : Cusco, 11 de Noviembre de 2022



Me dirijo a usted, con relación al documento de la referencia, vinculado a la solicitud de Datos Estadísticos y Otros de Potencial Energético Región Cusco.

Al respecto, informo a su Despacho lo siguiente:

1. Se Informa que la Información solicitada es remitida al usuario en formato digital.

Es cuanto informo a usted, para los fines pertinentes.

Atentamente,



Se adjunta: Expediente GREMH N° 4552 (09/11/22) (01 folios).
Información digital (01 CD)

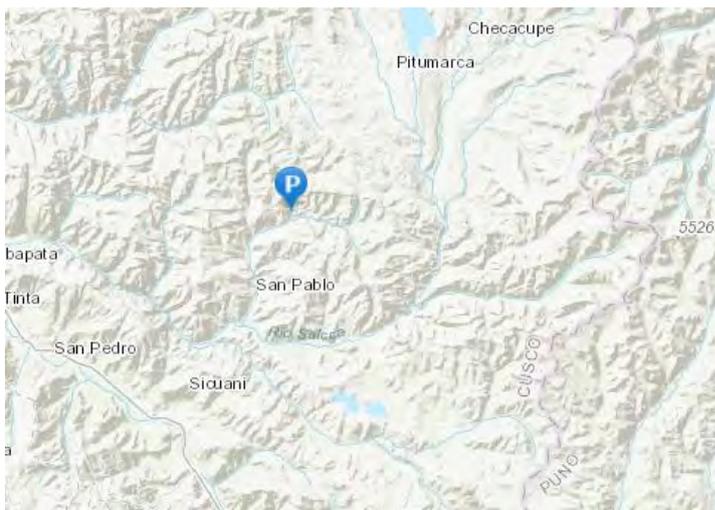
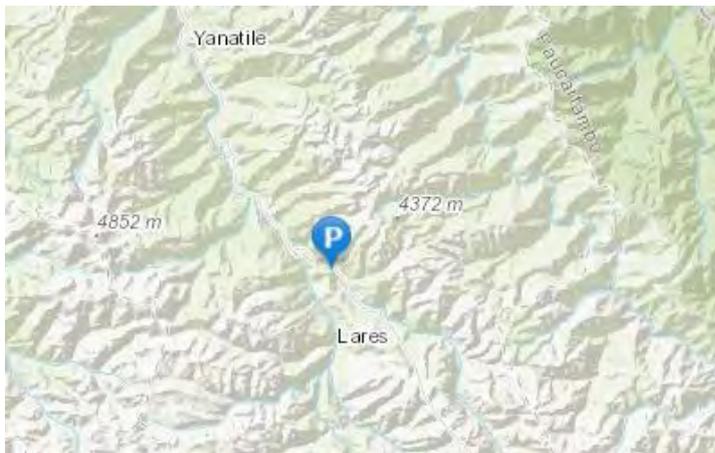
C. c.:
Archivo
GREMH/SGPEMH/eoyo

Trabajemos
con
Integridad

Av. Confraternidad N° 408 - Wanchaq
Central Telefónica (084) 315287
www.regioncusco.gob.pe

MARCO LEGAL PROMOTOR DE RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES

Ley N°28546	Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables No Convencionales	Junio del 2003
DS N°050.2008-EM	Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías renovables	Mayo 2008
DS N°1002	Ley de Promoción Inversión Generación de Electricidad Uso de Energías Renovables	Mayo 2008
DS N°1058	Promueve la inversión en Generación Eléctrica con recursos Hídricos y otros Recursos Renovables	Junio 2008
DS N°021-.2007-EM	REGLAMENTO DE COMERCIALIZACION BIOCOMBUSTIBLES LIQUIDOS	2007
Ley 28054	PROMOCION DEL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES	2003
Ley 28546	La presente Ley tiene por objeto promover el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación en zonas rurales, aisladas y de frontera del país.	2005
Ley 2139	Ley que incentiva la inversión en recursos energéticos renovables, destinados a la generación de energía en el mercado eléctrico peruano.	2021



Lugar	Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m
Ciudad Cusco	-13.51	-71.99	3739.76
Calca	-12.98	-72.084	4304.77

Canchis	-14.06	-71.13	4356.84
---------	--------	--------	---------

Tabla 3.1 ESTRUCTURA DE RESERVAS PROBADAS DE ENERGIA COMERCIAL

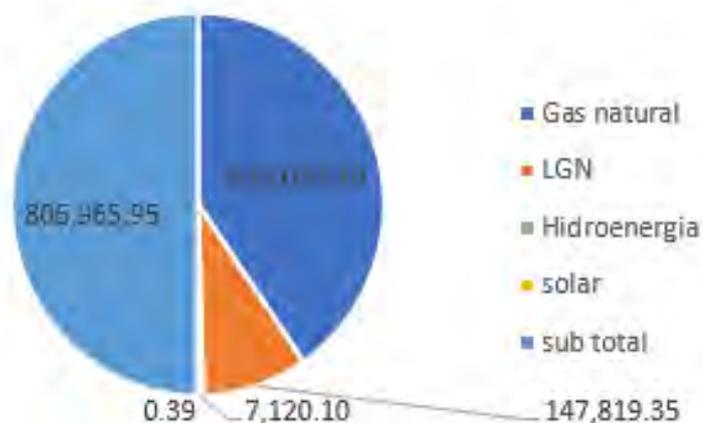
Energetico	2018 (TJ)	Estructura
Gas natural	9,822,917.91	77.52%
Liquidos del Gas natural	2,702,332.35	21.33%
Hidroenergia	146,676.69	1.16%
Total	12,671,926.96	100%

Fuente :DGH-MINEN

tabla 3.2 PRODUCCION DE ENERGIA PRIMARIA (UNIDAD TJ)

Tipos	2019(TJ)	Participacion
Gas natural	652,026.10	80.13%
LGN	147,819.35	18.17%
Hidroenergia	7,120.10	0.87%
solar	0.39	0.00%
sub total	806,965.95	
leña	5,912.00	0.73%
Bosta & Yareta	743	0.09%
Carbon Vegetal	130	0.02%
Subtotal	6,785.00	0.01%
Total	813,750.95	100%

ENERGIA COMERCIAL 2019(TJ)



Tipos	2019(TJ)	Participacion
Gas natural	652,026.10	80.13%
LGN	147,819.35	18.17%
Hidroenergia	7,120.10	0.87%
solar	0.39	0.00%
leña	5,912.00	0.73%
Bosta &Yareta	743	0.09%
Carbon Vegetal	130	0.02%
subtotal	6,785.00	0.01%
Total	813,750.95	100%



Tabla 3.3 :PRODUCCION DE ENERGIA COMERCIAL (UNIDAD:TJ)

RECURSO ENERGETICO	PRODUCCION	RESERVAS
Gas natural	652,026.10	9,822,917.91
Liquidos de gas natural	147,817.35	2,702,332.35
Hidroenergia	7,120.10	146,676.69
Total	806,965.55	12,671,926.96

Tabla 3.4: EXPORTACION DE ENERGIA PRIMARIA (UNIDAD:TJ)

Energetico	2019(TJ)
Gas natural	652,026.10
Liquidos de gas natural	147,819.35
Total	799,845.45

ENERGIA PRIMARIA NO APROVECHADA Y OTROS USOS (UNIDAD:TJ)

Lote	Gas vendido	Reinyeccion	o de reposicion,instrumentos	Gas combustible	Gas quemado	Gas ventado	Total
Lote 56	198,968	22,563	10,977	5,864	44	0	238,417
Lote57	93,436	0	0	442	34	0	93,911
Lote88	359,622	131,515	35,495	10,628	104	0	537,364
Total	652,026	154,078	46,473	16,934	182	0	869,692.03

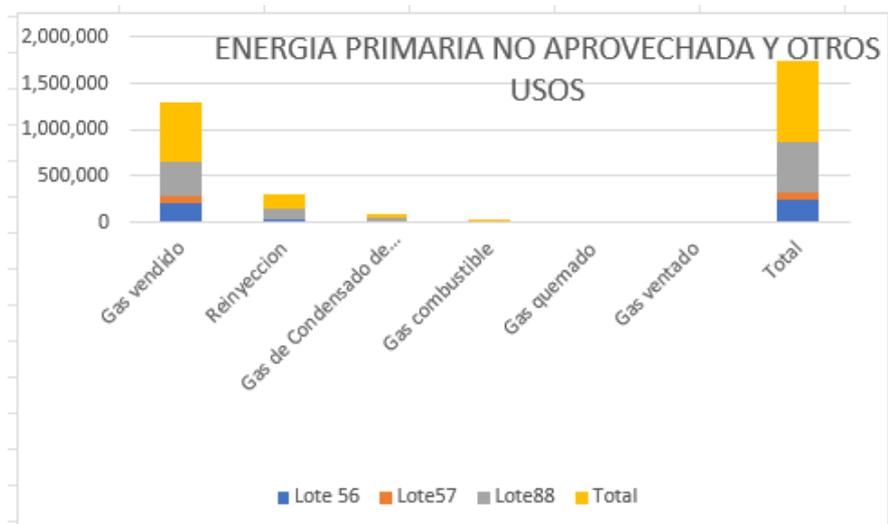


Tabla3.7:DISTRIBUCION DE LA ENERGIA PRIMARIA DESTINADA A LAS CENTRALES ELECTRICAS (UNIDAD:TJ)

Centrales	2019(TJ)
Hidroenergia	7,120.10
Solar	0.39
Total	7,120.49

Tabla 3.8 PRODUCCION DE ENERGIA POR EMPRESAS (UNIDAD:TJ)

Empresas	Centrales	2019(TJ)
EGEMSA	C.H. Machupicchu	4,514.84
Inland Energy S.A.C.	C:H Santa Teresa	2,419.45
Electro Sur Este S.A.A.	C.H Chuyapi y C;h:Hercca	58.96
Electrocentro S.A.	C.H San Francisco	19.39
Central Hidroelectrica de Langui S.A.	C.H Langui	107.46
Total		7,120.10

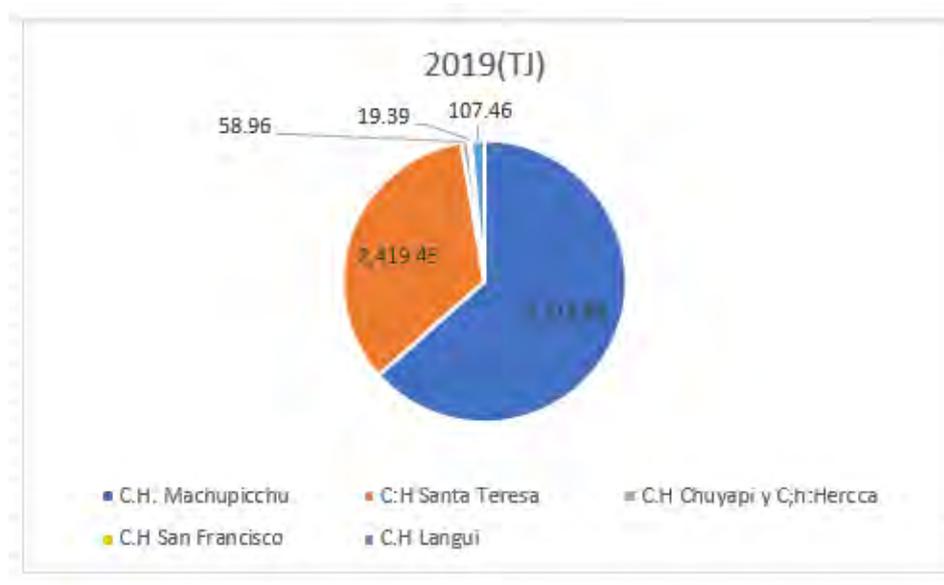
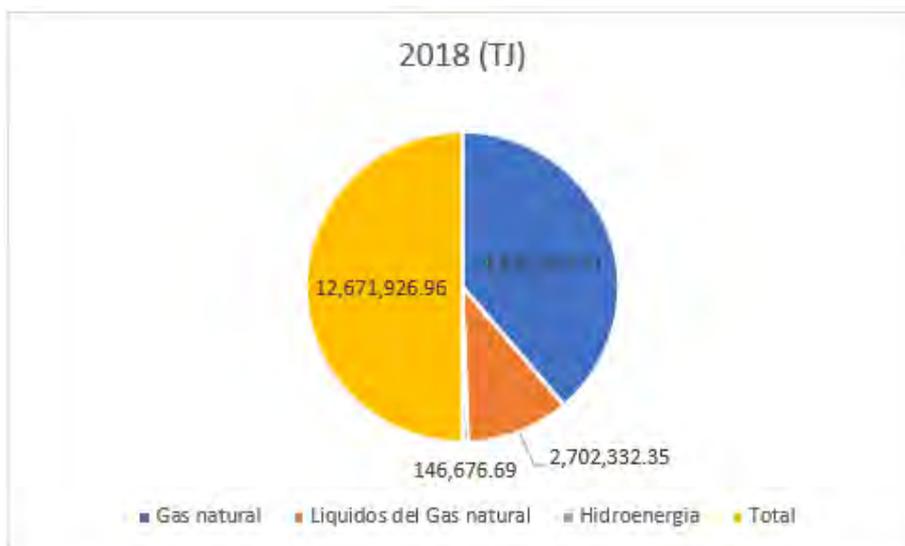
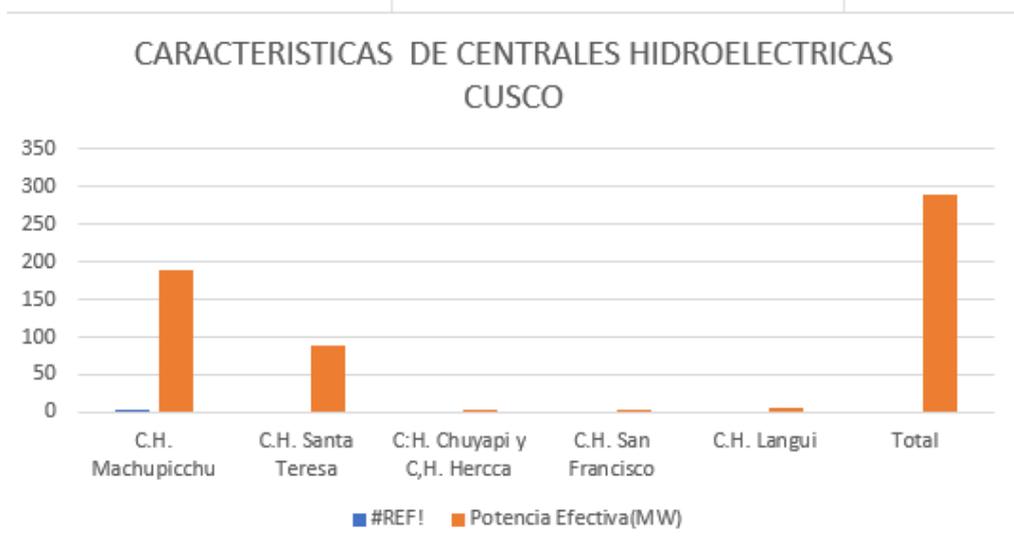
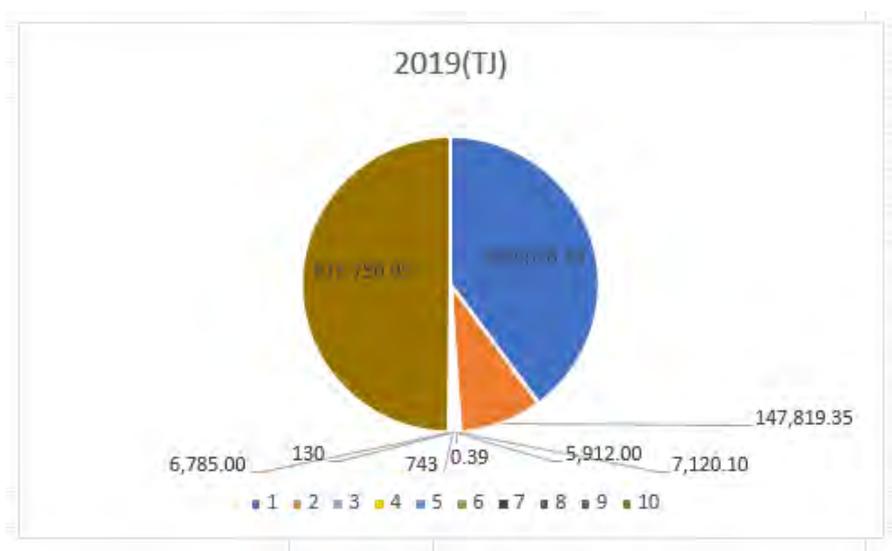


Tabla 3.9: CARACTERISTICAS DE CENTRALES HIDROELECTRICAS CUSCO

Centrales	Potencia Instalada (MW)	Potencia Efectiva (MW)
C.H. Machupicchu	192.45	189.29
C.H. Santa Teresa	100	89.85
C:H. Chuyapi y C,H. Hercca	2.37	1.96
C.H. San Francisco	1.54	1.19
C.H. Langui	6.42	5.95
Total	302.78	288.23

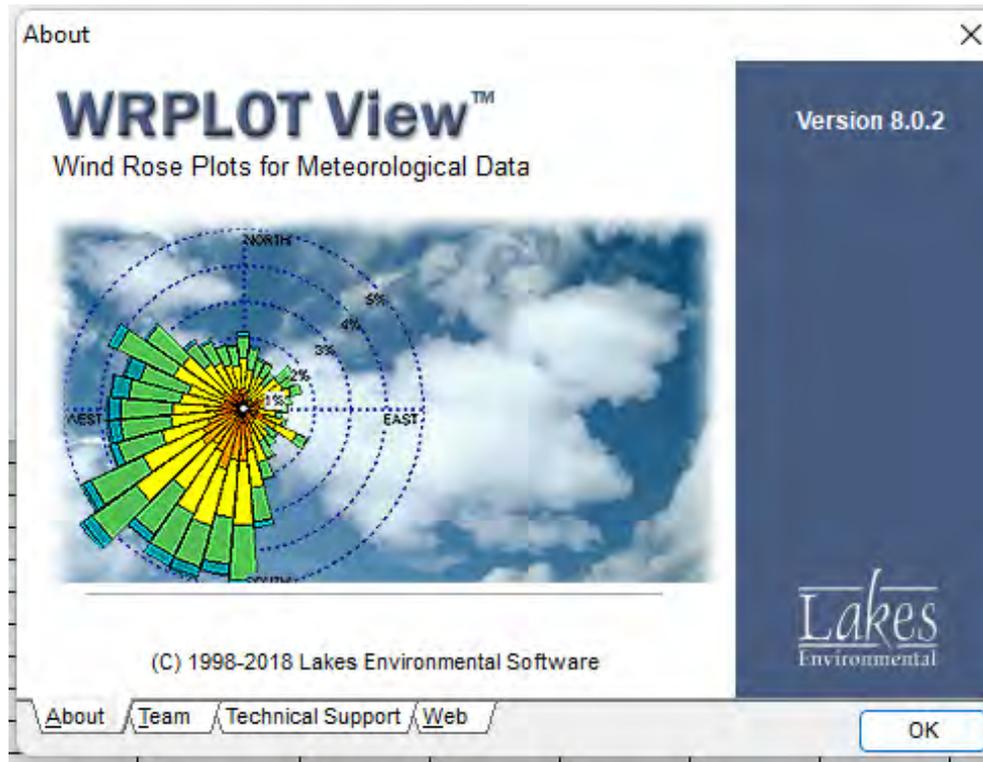


Tipos	2019(TJ)	Participacion
Gas natural	652,026.10	80.13%
LGN	147,819.35	18.17%
Hidroenergia	7,120.10	0.87%
solar	0.39	0.00%
leña	5,912.00	0.73%
Bosta &Yareta	743	0.09%
Carbon Vegetal	130	0.02%
subtotal	6,785.00	0.01%
Total	813,750.95	100%



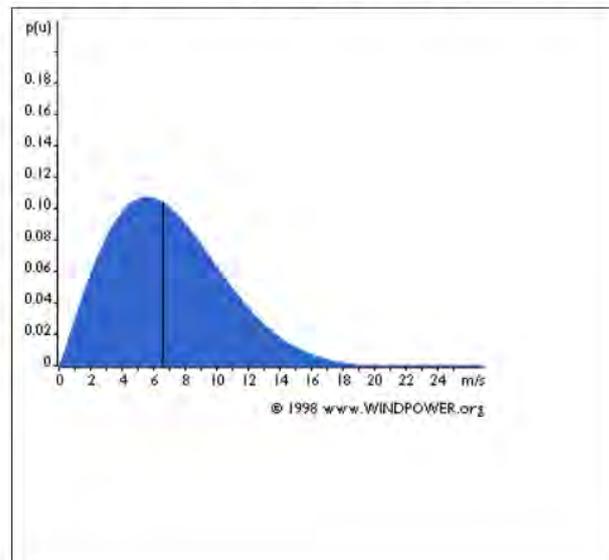
Aparato	Potencia (W)
Televisor	95
Batidora	300
Lavadora	2500
Microondas	600
Video	75
Plancha	1200
Iluminación	Potencia (W)
Cocina	150
Baño1	100
Baño 2	100
Habitación 1	150
Habitación 2	100
Habitación 3	100
Salón	200
Pasillo	100
Recibidor	80

PARA GRAFICAR LA ROSA DEL VIENTO



PARA GRAFICAR LA DISTRIBUCION DE WEIBULL

Programa trazador de la distribución de Weibull



a) Matriz de consistencia

EVALUACION DE LA POTENCIA EOLICA DE LAS PROVINCIAS DE CUSCO, CALCA, CANCHIS 2017-2022

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
¿Es posible efectuar la evaluación de la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca, Canchis?	Evaluar de la potencia eólica en las provincias de Cusco, Calca, Canchis.	Se puede evaluar la potencia eólica en las provincias de Cusco. Calca, Canchis.	VARIABLE	Energía Eólica Potencial energético. Potencia Velocidad del viento	Altitud Densidad del aire Velocidad máxima	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tipo y nivel de investigación básica ➤ Metodología pre experimental con diseño descriptivo ➤ Población: Las provincias de Cusco, Calca, Canchis. ➤ Muestra: Zonas donde se encuentra el potencial energético con energía Eólica.

b) Instrumentos de recolección de información**c) Medios de verificación**

Simulación del viento

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/mapas/cuzco_per%c3%ba_3941584#coords=3/13.52/71.97&map=windAnimation~rainbow~auto~10%20m%20above%20gnd~none

d) Otros

Se utilizó el programa de trazador de la distribución de Weibull, el parámetro de forma k , indica como de puntiaguda es la distribución, Las distribuciones de las velocidades del viento es sesgada, no es simétrica.

Se utilizó el programa WRPLOT VIEW.