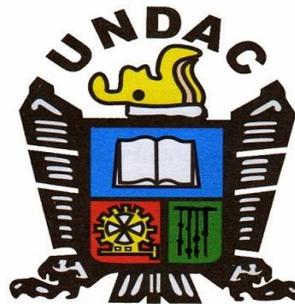


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**Potencial de la energía eólica para la generación de
electricidad y su relación con el cambio climático, en la
Comunidad Campesina de Huaraucaca, Distrito de
Tinyahuarco, Provincia de Pasco - 2017**

Para optar el título profesional de: Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. Esther Yolanda MENDOZA ARTICA

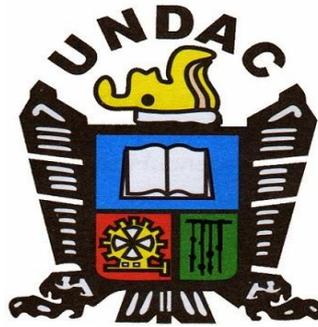
Asesor: Mg. David CUYUBAMBA ZEVALLOS

Cerro de Pasco – Perú 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**Potencial de la energía eólica para la generación de
electricidad y su relación con el cambio climático, en la
Comunidad Campesina de Huaraucaca, Distrito de
Tinyahuarco, Provincia de Pasco - 2017**

Sustentado y aprobado ante los miembros del jurado:

Mg. Rosario Marcela, VASQUEZ GARCIA
PRESIDENTE

Mg. Romel Luis, LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Mg. Lucio, ROJAS VOTOR
MIEMBRO

DICATORIA

A Dios, sin él nada sería una realidad.

A mis padres, quienes nunca dejaron de apoyarme, aunque las
circunstancias ameriten fracaso y descontrol.

A mis hermanos y hermanas, por sus constantes palabras de ánimo y fe.

A mis docentes y asesor, por darme las mejores enseñanzas, con
paciencia y esperanza.

A ti Sophia, porque llenas mi vida de luz, amor genuino e incondicional.

RESUMEN

La vida ha significado desde sus inicios, un constante cambio y búsqueda de mejores condiciones, para tal caso, disfrutar del servicio de luz, agua, alcantarillado, televisión por cable, etc., constituyen un desafío, no solo en la creciente tecnología, sino en aprovecharla sosteniblemente.

El recurso aire, al igual que el sol, el suelo, el mar, etc., se han convertido a través del tiempo, en recursos naturales potenciales de ser aprovechados y explotados. En la actualidad no solo se habla de la explotación de los metales preciosos en grandes minas, ahora, se habla de explotar nuestros recursos inagotables, como una fuente de energía pura, limpia y sostenible.

Las energías convencionales las constituyen, los obtenidos de derivados del petróleo y son fuentes altamente contaminantes y aportadores de los GEI (Gases de Efecto Invernadero). Por otro lado, las energías limpias, no convencionales o verdes, son amigables con el medio ambiente. E así, que la energía eólica, es una de las más usadas en todo el mundo principalmente en Europa, en Sudamérica presenta gran avance a la fecha, en países como Brasil, Chile y Argentina, en nuestro país, también se ha venido incursionando este tipo de energía para la producción de energía eléctrica, a la fecha se tienen 4 parques eólicos en todo el

territorio, y se viene trabajando en estudios especializados, liderados por el MINEM (Ministerio de Energía y Minas), que permitan definir otras zonas aptas para nuevas construcciones e inversiones privadas. Estos estudios especializados tienen un producto final que es el Atlas Eólico del Perú. Este material permite identificar cada región del país y su potencial eólico.

En el Atlas Eólico del Perú, se muestra a la zona de la comunidad campesina de Huaraucaca, con una velocidad media entre 5 a 6 m/s. Sin embargo, esta información es referencial, considerando que los datos tomados para el cálculo no son propios del lugar, sino, de una estación ubicada en la provincia de Jauja, departamento de Junín, la cual se encuentra a 40 km aproximadamente del área a evaluar. Por lo cual, es necesaria la investigación, con datos más representativos, In situ. Los datos meteorológicos para el cálculo del potencial eólico en la comunidad campesina de Huaraucaca, han sido proporcionados por la Empresa minera El Brocal S.A., la cual tiene instalado una estación meteorológica en el entorno de la comunidad campesina de Huaraucaca.

La investigación es de tipo descriptiva, diseño No experimental, se ha desarrollado en la comunidad campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia Pasco, la misma que tiene por objetivo principal: Determinar el potencial de energía eólica, para la generación de

electricidad y su relación con el cambio climático en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco. Para el fin, se utilizaron datos meteorológicos del lugar y datos del consumo de electricidad de la población de la comunidad campesina de Huaraucaca del año 2017. Esta información permitió con la ayuda de algunos cálculos matemáticos y aplicaciones en línea, alcanzar el objetivo propuesto.

Se tuvo que para el año 2017, la velocidad del viento en promedio fue de 8.149 m/s y la dirección predominante del viento fue de Sur a norte. Con esta velocidad promedio, se procedió a la selección de un tipo de aerogenerador que se adapte mejor a las condiciones geográficas y climáticas del lugar, por lo que se eligió al modelo alemán BLACK 300, con el cual se estimó el potencial eólico del lugar en 347.57 W/m², con una Densidad de Energía Anual de viento de 3044.7 KWh/m²/año y Por otro lado, con los datos proporcionados por Electrocentro S.A. se determinó que el consumo de electricidad, en la comunidad campesina de Huaraucaca es de 343408.10 KW/h/año 2017, ésta información sirvió para calcular el total de toneladas de emisión de CO₂, con ayuda de una aplicación en línea CERO CO₂, que nace de la iniciativa de la ONG CODES el año 2015, se obtuvo que en el año 2017 se emitieron a la atmósfera 127.0610 Tn/CO₂/año.

El potencial eólico obtenido de la zona de estudio, fue significativo, ya que instalando el Aerogenerador BLACK 300 por cada dos hogares, con un consumo moderado de electricidad, se estaría mitigando la emisión de 127.0610 Tn/ CO₂/año a la atmósfera, por lo que, es factible y sostenible.

El reto está dado a posteriores investigaciones, para el talento investigativo y para los inversionistas privados o estatales. Si bien a la fecha, se van desarrollando nuevas tecnologías que permitan el mejor aprovechamiento de las energías no convencionales, las tecnologías presentes ofrecen una oportunidad, para mejorar y elegir un mejor camino, que no solo busque la extracción de todo lo que nos rodea, sino también el aporte para su conservación en el tiempo.

Palabras Claves: Energía eólica, cambio climático, electricidad, potencial eólico

SUMMARY

Life has meant since its inception, a constant change and search for better conditions, for such a case, enjoy the service of light, water, sewerage, cable TV, etc., are a challenge, not only in the growing technology, but in taking advantage of it sustainably.

The air resource, like the sun, the soil, the sea, etc., has been converted over time into potential natural resources to be exploited and exploited. Nowadays, we do not only talk about the exploitation of precious metals in large mines, now we talk about exploiting our inexhaustible resources as a source of pure, clean and sustainable energy.

The conventional energies constitute them, those obtained from petroleum derivatives and are highly polluting sources and contributors of GHGs (Greenhouse Effect Gases). On the other hand, clean energies, unconventional or green, are friendly to the environment. And so, that wind energy is one of the most used in the world mainly in Europe, in South America it has made great progress to date, in countries like Brazil, Chile and Argentina, in our country, this has also been venturing type of energy for the production of electric power, to date there are 4 wind farms throughout the

Territory, and we have been working on specialized studies, led by the MINEM (Ministry of Energy and Mines), to define other areas suitable for new construction and private investments. These specialized studies have a final product that is the Wind Atlas of Peru. This material allows to identify each region of the country and its wind potential.

In the Wind Atlas of Peru, the zone of the rural community of Huaraucaca is shown, with an average speed between 5 and 6 m / s. However, this information is referential, considering that the data taken for the calculation are not specific to the site, but from a station located in the province of Jauja, department of Junín, which is approximately 40 km from the area to be evaluated. . Therefore, research is necessary, with more representative data, In situ. The meteorological data for the calculation of the wind potential in the rural community of Huaraucaca, have been provided by the mining company El Brocal S.A., which has installed a meteorological station in the environment of the peasant community of Huaraucaca.

The research is descriptive, non-experimental design, has been developed in the peasant community of Huaraucaca, district of Tinyahuarco, Pasco province, which has as main objective: Determine the potential of wind energy, for the generation of

Electricity and its relation to climate change in the Peasant Community of Huaraucaca, district of Tinyahuarco, province of Pasco. For the purpose, meteorological data of the place and data of the consumption of electricity of the population of the rural community of Huaraucaca of the year 2017 were used. This information allowed, with the help of some mathematical calculations and online applications, to reach the proposed objective.

It was had that for the year 2017, the speed of the wind in average was of 8.149 m / s and the predominant direction of the wind was of South to north. With this average speed, we proceeded to the selection of a type of wind turbine that best adapts to the geographical and climatic conditions of the place, for which the German model BLACK 300 was chosen, with which the wind potential of the place was estimated. 347.57 W / m², with an Annual Energy Density of 3044.7 KWh / m² / year and, on the other hand, with the data provided by Electrocentro SA it was determined that the consumption of electricity, in the rural community of Huaraucaca is 343408.10 KW / h / year 2017, this information was used to calculate the total tons of CO₂ emissions, with the help of an online application ZERO CO₂, which is born of the initiative of the NGO CODES in 2015, it was obtained that in the year 2017, 127.0610 Tn / CO₂ / year were emitted into the atmosphere.

The wind potential obtained from the study area was significant, since installing the BLACK 300 Wind Turbine for every two homes, with a

moderate consumption of electricity, would be mitigating the emission of 127.0610 Tn / CO₂ / year to the atmosphere, so which is feasible and sustainable.

The challenge is given to further research, for investigative talent and for private or state investors. Although to date, new technologies are being developed that allow the best use of non-conventional energies, present technologies offer an opportunity to improve and choose a better path, which not only seeks to extract everything that surrounds us, but also the contribution for its conservation over time.

Keywords: Wind energy, climate change, electricity, wind potential

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Determinación del Problema.....	4
1.2. Formulación del Problema.	6
1.2.1. Problema General:.....	6
1.2.2. Problemas Específicos:	6
1.3. Objetivos.	7
1.3.1. Objetivo General.	7
1.3.2. Objetivos Específicos.	7
1.4. Justificación del Problema.	7
1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.	9
1.6. Limitaciones.....	10
CAPITULO II	12
MARCO TEORICO.	12
2.1. Antecedentes.....	12
2.2. Bases Teórico - Científicos.....	22
2.3. Definición de Términos	61
2.4. Hipótesis.	65
2.4.1. Hipótesis General:	65
2.4.2. Hipótesis Específicas:.....	65
2.5. Identificación de las Variables.....	66
2.5.1. Variable Independiente:	66
2.5.2. Variable Dependiente:	66
2.5.3. Variable Interviniente:.....	66
CAPITULO III.....	67
METODOLOGIA	67
3.1. Tipo de Investigación.....	67
3.2. Diseño de la Investigación.....	67
3.3. Población y Muestra	68
3.4. Métodos de la Investigación	68
3.5. Técnicas e Instrumentos de la Recolección de Datos.....	73

3.6.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	74
3.7.	Tratamiento Estadístico de Datos	75
CAPITULO IV		77
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		77
4.1.	Tratamiento Estadístico e Interpretación de Cuadros.....	77
4.2.	Presentación de Resultados, Tablas, Gráficos, Figuras, etc.....	103
4.3.	Prueba de Hipótesis.	126
4.4.	Discusión de Resultados.	126
CONCLUSIONES.....		129
RECOMENDACIONES.....		131
BIBLIOGRAFÍA.....		132
ANEXOS.....		135

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos técnicos del aerogenerador BLACK 300.....	71
Tabla 2 Análisis estadístico 1 de enero 2017.....	77
Tabla 3 Análisis estadístico 2 de enero 2017.....	78
Tabla 4 Análisis estadístico 1 febrero 2017.....	79
Tabla 5 Análisis estadístico 2 febrero 2017.....	80
Tabla 6 Análisis estadístico 1 marzo 2017.....	81
Tabla 7 Análisis estadístico 2 marzo 2017.....	82
Tabla 8 Análisis estadístico 1 abril 2017.....	83
Tabla 9 Análisis estadístico 2 marzo 2017.....	83
Tabla 10 Análisis estadístico 1 mayo 2017.....	85
Tabla 11 Análisis estadístico 2 mayo 2017.....	86
Tabla 12 Análisis estadístico 1 junio 2017.....	87
Tabla 13 Análisis estadístico 2 junio 2017.....	87
Tabla 14 Análisis estadístico 1 julio 2017.....	89
Tabla 15 Análisis estadístico 2 julio 2017.....	90
Tabla 16 Análisis estadístico 1 agosto 2017.....	91
Tabla 17 Análisis estadístico 2 agosto 2017.....	92
Tabla 18 Análisis estadístico 1 setiembre 2017.....	93
Tabla 19 Análisis estadístico 2 setiembre 2017.....	94
Tabla 20 Análisis estadístico 1 octubre 2017.....	95
Tabla 21 Análisis estadístico 2 octubre 2017.....	96
Tabla 22 Análisis estadístico 1 noviembre 2017.....	97
Tabla 23 Análisis estadístico 2 noviembre 2017.....	98
Tabla 24 Análisis estadístico 1 diciembre 2017.....	99
Tabla 25 Análisis estadístico 2 noviembre 2017.....	100
Tabla 26 Análisis estadístico 1 año 2017.....	101
Tabla 27 Análisis estadístico 2 año 2017.....	102
Tabla 28 Interés eólico enero 2017.....	104
Tabla 29 Interés eólico febrero 2017.....	105
Tabla 30 Interés eólico marzo 2017.....	107
Tabla 31 Interés eólico 2017.....	108
Tabla 32 Interés eólico mayo 2017.....	110
Tabla 33 Interés eólico junio 2017.....	111
Tabla 34 Interés eólico julio 2017.....	113
Tabla 35 Interés eólico agosto 2017.....	114
Tabla 36 Interés eólico setiembre 2017.....	116
Tabla 37 Interés eólico octubre 2017.....	117
Tabla 38 Interés eólico noviembre 2017.....	119
Tabla 39 Interés eólico diciembre 2017.....	120
Tabla 40 Interés eólico año 2017.....	122
Tabla 41 Consumo de electricidad año 2017 CC Huaraucaca.....	124
Tabla 42 Relación de demanda consumo-emisión CO ₂	124
Tabla 43 Producción de energía No convencional/aerogenerador.....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capas de la atmósfera	24
Figura 2 Espiral de Ekman en la columna de agua.	28
Figura 3 Circulación local del aire.	30
Figura 4 Potencia eólica disponible.	32
Figura 5 Anemómetros de cazoletas.	38
Figura 6 Anemómetro de hélice plano.	39
Figura 7 Anemómetro de hélice ortogonal.	41
Figura 8 Rosa de vientos.	45
Figura 9 Distribución de velocidades.	46
Figura 10 Distribución de weibull.	47
Figura 11 Cambio climático.	56
Figura 12 Cálculo de emisión de CO ₂	73
Figura 13 Probabilidad continua - distribución Weibull.	76
Figura 14 Histograma de frecuencias enero 2017.	78
Figura 15 Histograma de frecuencia acumulada enero 2017.	79
Figura 16 Histograma de frecuencias febrero 2017.	80
Figura 17 Histograma de frecuencia acumulada febrero 2017.	81
Figura 18 Histograma de frecuencias marzo 2017.	82
Figura 19 Histograma de frecuencia acumulada marzo 2017.	83
Figura 20 Histograma de frecuencias abril 2017.	84
Figura 21 Histograma de frecuencia acumulada abril 2017.	85
Figura 22 Histograma de frecuencias mayo 2017.	86
Figura 23 Histograma de frecuencia acumulada mayo 2017.	87
Figura 24 Histograma de frecuencias junio 2017.	88
Figura 25 Histograma de frecuencia acumulada junio 2017.	89
Figura 26 Histograma de frecuencias julio 2017.	90
Figura 27 Histograma de frecuencia acumulada julio 2017.	91
Figura 28 Histograma de frecuencias agosto 2017.	92
Figura 29 Histograma de frecuencia acumulada agosto 2017.	93
Figura 30 Histograma de frecuencias setiembre 2017.	94
Figura 31 Histograma de frecuencia acumulada setiembre 2017.	95
Figura 32 Histograma de frecuencias octubre 2017.	96
Figura 33 Histograma de frecuencia acumulada octubre 2017.	97
Figura 34 Histograma de frecuencias noviembre 2017.	98
Figura 35 Histograma de frecuencias acumuladas noviembre 2017.	99
Figura 36 Histograma de frecuencias diciembre 2017.	100
Figura 37 Histograma de frecuencia acumulada diciembre 2017.	101
Figura 38 Histograma de frecuencias año 2017.	102
Figura 39 Histograma de frecuencia acumulada año 2017.	103
Figura 40 Distribución Weibull enero 2017.	104
Figura 41 Rosa de vientos enero 2017.	105
Figura 42 Distribución Weibull febrero 2017.	106
Figura 43 Rosa de vientos febrero 2017.	106

Figura 44 Distribución Weibull marzo 2017.	107
Figura 45 Rosa de vientos marzo 2017.	108
Figura 46 Distribución Weibull abril 2017.	109
Figura 47 Rosa de vientos abril 2017.	109
Figura 48 Distribución Weibull mayo 2017.	110
Figura 49 Rosa de vientos mayo 2017.	111
Figura 50 Distribución Weibull junio 2017.	112
Figura 51 Rosa de vientos junio 2017.	112
Figura 52 Distribución Weibull julio 2017.	113
Figura 53 Rosa de vientos julio 2017.	114
Figura 54 Distribución Weibull agosto 2017.	115
Figura 55 Rosa de vientos agosto 2017.	115
Figura 56 Distribución weibull setiembre 2017.	116
Figura 57 Rosa de vientos setiembre 2017.	117
Figura 58 Distribución Weibull octubre 2017.	118
Figura 59 Rosa de vientos octubre 2017.	118
Figura 60 Distribución Weibull noviembre 2017.	119
Figura 61 Rosa de vientos noviembre 2017.	120
Figura 62 Distribución Weibull diciembre 2017.	121
Figura 63 Rosa de vientos diciembre 2017.	121
Figura 64 Distribución Weibull año 2017.	122
Figura 65 Rosa de vientos año 2017.	123

INTRODUCCIÓN

El hombre como un ser dominante de su entorno, desde su aparición en la tierra, ha intentado cambiarla, adecuarla a sus necesidades y más agudas conveniencias.

La energía ha significado en tal sentido, un componente indispensable para la realización de cualquier actividad humana. Tal es así, que desde el siglo XVII se han comenzado a explotar grandes cantidades de combustibles fósiles, los cuales se han incrementado durante la Revolución industrial, en el siglo XVIII. Este uso desmedido ha provocado que se agoten las fuentes que se tenían entonces. Por lo cual, en el siglo XIX, se ha dado oportunidad a otro tipo de energía como la Eólica, utilizándose en sus inicios de forma mecánica en los grandes molinos.

No es ajena la idea y conocimiento que se tiene respecto a los grandes impactos que provocan el uso excesivo de los combustibles fósiles en la energía convencional, sus efectos reflejan un deterioro en el medio ambiente y sus componentes. De manera contraria se encuentran las energías verdes, no convencionales o energías renovables, como la solar, la eólica, la geotérmica, la biomasa, etc. Este tipo de energías prometen

cambio, su uso es de la misma naturaleza y su impacto en ella es insignificante, por lo cual su aprovechamiento es menester desarrollar y potencial.

La energía eólica como tal, transforma la energía del viento (cinética), en energía mecánica o eléctrica. Es una de las fuentes de energía más antiguas, por lo tanto, más usadas. En la actualidad se tienen inmensos parques eólicos con palas que superan los 100 metros de dimensión generando hasta 200 000 Kw de potencia. En el Perú se tienen cuatro parques eólicos, siendo el primero en instalarse en 1984 el de Marcona con 32 Mw de potencia, así mismo se tiene al parque eólico de Pacasmayo con 80 Mw de potencia, parque eólico de Talara con 30 Mw de potencia y el parque eólico de Ica con 97 Mw de potencia.

Lo cual significa que nuestro país se suma al uso de las energías verdes, como una iniciativa de sostenibilidad y cuidado al medio ambiente.

El potencial de la energía eólica, es la cantidad de recurso viento que puede ser aprovechado para transformarlo en energía eléctrica. Para tal caso se necesitan datos meteorológicos como, velocidad y dirección del viento, además de la elección de un tipo de aerogenerador que según sus características se pueda utilizar en el lugar de estudio, con esta información se calcula el potencial eólico del lugar.

Otro tema importante a evaluar es el impacto en el cambio climático, producto del consumo de electricidad, generada con el uso de combustibles fósiles. Para lo cual se calcula la cantidad de GEI (Gases de Efecto Invernadero) o simplemente de CO₂ emitidos a la atmósfera por cierto sector o población. Esto se realiza con la ayuda de aplicativos en internet o cálculos matemáticos propios, en el cual se multiplica la cantidad de Kw consumido x un factor establecido.

En tal sentido el presente trabajo de investigación se desarrolla con información sobre la comunidad campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia Pasco. Identificando y evaluando la relación existente entre el potencial eólico para la generación de energía eléctrica de esta zona y el cambio climático. Siendo en ese sentido una investigación de tipo descriptivo, con un diseño no experimental.

Con la presente, se intenta abrir las puertas a otras investigaciones e inversiones del sector privado, en pro de una mejora integral, sociedad-medio ambiente y economía, como los pilares del desarrollo sostenible.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Determinación del Problema

La comunidad campesina de Huaraucaca, se encuentra en una zona minera, presentando alta contaminación por metales pesados y otros. Así mismo desde el punto de vista energético, presenta dentro de su consumo altos niveles de consumo en KWH/año y costos elevados a comparación de otras comunidades campesinas.

Con el uso de energía convencional para la producción de energía eléctrica, no solo se tienen costos elevados en las tarifas, sino

también altas cantidades de emisión de CO₂, contribuyendo al cambio climático.

Las energías renovables o también llamadas no convencionales o verdes, se encuentran en la naturaleza, en sus diversas formas, Estas son capaces de aprovechar el potencial natural como; viento, radiación solar, etc., y transformarlo a través de ciertos procesos y con el uso de equipos en energía eléctrica o mecánica. Han sido útiles desde muchos años atrás y hoy también son y pueden ser muy útiles en espacios geográficos específicos.

Las energías convencionales son un gran problema, no solo por su insostenibilidad ambiental, sino también porque con el tiempo se hacen más caras de explotar. Las energías no convencionales como la energía eólica, son limpias y sostenibles además de factibles.

Un inconveniente a la hora de querer instalar un componente de una energía renovable, es el poco conocimiento respecto a si resultará o no. Sin embargo, actualmente se tienen diversos softwares, instrumentos o equipos, que nos pueden ayudar a determinar si realmente la energía eólica será factible o tiene un potencial uso, en un determinado aérea geográfica.

Con el uso de energías renovables para la generación de electricidad, podremos contribuir a disminuir y mitigar los impactos del cambio climático y sus consecuencias, además podremos mejorar la calidad nuestro medio ambiente. Un reto que cada día se hace más interesante y factible de aplicar, no solo por el presente, sino por las generaciones futuras.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Problema General:

¿Cuál es el potencial de la energía eólica, para la generación de electricidad y su relación con el cambio climático en la comunidad campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco?

1.2.2. Problemas Específicos:

- a. ¿Cuál es el potencial de energía eólica en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, para la generación de electricidad?
- b. ¿Cuál es la relación entre el cambio climático y la generación de electricidad con el uso de energía convencional en la Comunidad Campesina de Huaraucaca?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Determinar el potencial de energía eólica, para la generación de electricidad y su relación con el cambio climático en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- a. Determinar el potencial de la energía eólica en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, para la generación de electricidad.
- b. Determinar la relación entre el cambio climático y la generación de electricidad con el uso de energía convencional, en la comunidad campesina de Huaraucaca.

1.4. Justificación del Problema.

El alto consumo de electricidad y los costos elevados para su uso, en la comunidad campesina de Huaraucaca, pueden ser revertidos con el uso de la energía eólica, como fuente limpia de producción de energía eléctrica y amigable con el medio ambiente.

El uso de las energías renovables, es una gran alternativa hoy en día, considerando que las fuentes de energía convencionales como: el petróleo y el gas, son agotables e insostenibles ambientalmente. Contribuyendo a la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y por ende al cambio climático.

Las energías renovables, se encuentran en el medio ambiente, disponibles para ser usadas y aprovechadas. La energía Eólica, aprovecha la fuerza del viento (energía cinética) y la transforma en energía eléctrica y mecánica. La generación de electricidad, con el aprovechamiento de la potencia del viento, contribuye a mitigar las emisiones a la atmósfera de los GEI, por ende a minimizar impactos del efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático. Por estas razones se puede decir que la energía eólica, es limpia, verde, amigable con el medio ambiente, sostenible y factible.

La Comunidad Campesina de Huaraucaca, perteneciente a la Meseta del Bombón, presenta extensiones amplias y ligeramente planas con cerros prominentes, se puede percibir el potencial eólico dentro de este espacio geográfico. Según el Atlas Eólico del Perú, diseñado hace poco (año 2016), se indica también que efectivamente en esta zona, se podría aprovechar el recurso eólico.

El diagnóstico del potencial uso de energía eólica en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, del distrito de Tinyahuarco, significa un precedente para nuevos estudios, además de ser empleado por la comunidad campesina de Huaraucaca, como un claro y eficiente indicador del aprovechamiento del recurso viento.

1.5. Importancia y Alcances de la Investigación.

Las energías convencionales o no renovables como: el petróleo y el gas, son altamente contaminantes al medio ambiente y a la persona, además son agotables e insostenibles en el tiempo.

Caso contrario son las energías no convencionales o renovables como: la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, entre otros.

La energía eólica, involucra el aprovechamiento de la fuerza del viento, como recurso sostenible y perdurable. Por ello, conocer el potencial uso de este recurso natural, nos permitirá saber cuánto y cómo podemos usarlo en nuestro beneficio. La Comunidad Campesina de Huaraucaca, se encuentra en una zona privilegiada de vientos moderados y con posibilidades de aprovechar.

La caracterización del recurso eólico nos servirá, para determinar el tipo de aerogenerador a usar para la generación de electricidad y por ende el potencial eólico en el determinado lugar. Con ello podremos relacionar su factibilidad en comparación con la generación de electricidad con energías convencionales y evaluar su contribución a la sostenibilidad del medio ambiente, con la reducción de GEI a la atmósfera y cambio climático.

La presente investigación, se ejecutará en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, perteneciente al distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento Pasco y permitirá conocer el potencial uso de la energía eólica de este determinado área o espacio geográfico, a través de reportes de monitoreo del aire, para evaluar la velocidad del viento.

Este estudio servirá a posteriores estudios, como antecedente o a la misma comunidad campesina o alrededores cercanos, para que puedan implementar esta fuente de energía renovable, económica y sobre todo que les permita contribuir con el cuidado del medio ambiente.

1.6. Limitaciones.

- 1.6.1.** La principal limitación al momento de realizar la investigación ha sido el procesamiento de la basta información proporcionada por la Empresa Minera El Brocal S.A.C.
- 1.6.2.** Escasa bibliografía de proyectos similares en la zona de estudio.
- 1.6.3.** Espera prolongada, para la obtención de los datos de consumo de energía eléctrica, proporcionados por Electrocentro S.A.

CAPITULO II

MARCO TEORICO.

2.1. Antecedentes.

En el presente trabajo de investigación se han utilizado antecedentes de trabajos de tesis y otros similares al que se está estudiando, tales como:

Juan José Naranjo Toapanta, Ecuador (2017), Determinación del Potencial Eólico Disponible en el Sector de Río Blanco Perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua.

En su tesis el autor Tiene como objetivo: Determinar el potencial eólico disponible en el sector de Río Blanco perteneciente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua, para lo cual utilizó el método analítico, con el fin de evaluar las variables que presenta el lugar de estudio tales como: dirección y velocidad del viento, mediante la torre de sustentación ubicada en lugar de estudio de propiedad del proyecto, cuyos aparatos de medición fueron colocados a 10, 20 y 30 metros de altura, de la cual se tomó datos durante un año y fueron procesados y analizados en este proyecto de investigación, obteniendo como resultado un potencial eólico disponible de 151,123 W/m² a 10 metros de altura , mientras que para una altura de 20 metros su potencial es de 147,327 W/m² y para una altura de 30 metros su potencial es de 143,548 W/m², con una dirección del viento predominante desde el Este. Por lo cual concluye en que: Las características de viento varían de acuerdo a la altura que se realice el análisis debido a factores de temperatura, relieve, obstáculos y rugosidad del terreno, estos factores hacen que el flujo de viento vaya en varias direcciones y disminuye su velocidad a menor altura y a mayor altura ocurre lo contrario.

Sr. Enrique Baldovino Fernandini et al., Perú (2007) Propuesta Estratégica para el Desarrollo de la Energía Eólica en el Perú.

En dicho trabajo de investigación se busca desarrollar una propuesta estratégica para ser implementada en el campo de la energía eólica en el Perú. Se desarrolla la propuesta estratégica haciendo uso de las distintas matrices estudiadas como herramientas de análisis para determinar estrategias con sus respectivas etapas de implementación y de acciones de control. Entre los principales resultados destaca la gran oportunidad que tiene el Perú para el aprovechamiento de la energía eólica en la generación de la electricidad, la cual contribuiría en el incremento del coeficiente de electricidad nacional. La promoción de los beneficios y oportunidades de negocio que se generan a partir de la energía eólica son primordiales. Adicionalmente, es necesario establecer políticas de promoción de las energías renovables por parte del Estado Peruano, las que sumadas al buen uso y conocimiento de los avances tecnológicos permitirán la implementación de proyectos eólicos competitivos.

Carlos Danilo González Cantillo, Colombia (2014) Análisis del Potencial Técnico, Económico y Ambiental del Aprovechamiento de Energía Eólica en la Ciénaga de La Virgen.

El autor en su trabajo de investigación, analizó el potencial técnico, económico y ambiental del aprovechamiento de la energía eólica en la ciénaga de la virgen, utilizando la velocidad del viento como variable para desarrollar el proyecto. Realizó mediciones de las variables anteriormente mencionadas a partir del 23 de noviembre hasta 23 de diciembre del 2012, tres veces por día (8:00 a.m., 12:00 m. Y 8:00 p.m.), con el fin de monitorear las velocidades del viento. Luego, con los datos de velocidad del viento y los otros datos meteorológicos, se utilizó un modelo que le permitió estimar la densidad de energía eólica. Con esta información se verificó bajo qué condiciones se lograba la factibilidad del proyecto y en cuanto tiempo se recuperaba el monto de la inversión. El tipo de aerogenerador utilizado en el diseño es vestas v82 para el cual se estimó el menor impacto ambiental en la zona en términos de contaminación auditiva y facilidad de trabajo en cuanto al tipo de zona en la que se realiza el estudio. El trabajo concluye lo siguiente: La velocidad promedio en las lecturas tomada en la mañana da 9,8 km/h, en el medio día 11.38 km/h y en la noche 16.51 km/h. Lo que nos da una velocidad total promedio de: 12.56 km/h, más que suficiente para pasar por la primera prueba para decidir sobre la viabilidad del proyecto, notando también que en las horas vespertinas y nocturnas son en las que más se aprovecharía este recurso, también se concluye en que: El proyecto se hace

llamativo por el impacto ambiental, con un sistema amigable al medio ambiente logramos generar energía renovable, la cual cumple con nuestras necesidades sin tener que emitir sustancias dañinas a la atmosfera, y sin tener que seguir cavando pozos para extraer crudo y se logra tecnificar y colaborar una zona vulnerable de la ciudad de Cartagena de indias.

Carlos Arnés González, México (2014), Estudio del Potencial Eólico para Generación Eléctrica en El Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México.

El principal objetivo que persigue el autor es: Realizar un estudio de la zona del Istmo de Tehuantepec, para la generación eléctrica mediante recurso eólico para la reducción de generadores eléctricos contaminantes como lo son los combustibles fósiles además de conocer el impacto que esto pudiera tener. Para lo cual utiliza parámetros como: A. Las condiciones generales de viento en un emplazamiento: a) Condiciones meteorológicas (Temperatura, presión, humedad relativa, densidad del aire). b) Distribución de frecuencias de dirección. c) Distribución de frecuencias de velocidad. d) Variación temporal de la velocidad. e) Potencial eólico disponible. B. Las características del viento para el funcionamiento

del sistema: a) Perfil vertical de velocidad horizontal. b) Características de turbulencia c) Desviación de la dirección. Y la principal conclusión a la cual arriba el autor es que: Se puede observar en el estudio realizado, que en Oaxaca hay un gran potencial eólico para explotar, el problema se presenta cuando se quieren usar las tierras de alguien para explotarlo, en opinión del autor; es necesario que las grandes corporaciones lleguen a acuerdos adecuados con la gente que vive en estas zonas ya que como es gente de pocos recursos, quizás no tienen ni idea del valor que tienen sus tierras y las corporaciones abusan de ello ofreciendo precios absurdos por ellas, por otro lado, ésta gente, debería ser informada ampliamente de los pros y las contras que el hacer un parque eólico traería, y con esto, quizás se logre más fácilmente algún acuerdo.

Andrés Mauricio Tafur García et al, Colombia (2013), Modelación y Evaluación del Potencial Eólico como una Fuente de Generación de Energía Eléctrica en la Zona Costera de Cartagena.

La mencionada tesis, estudió el recurso eólico en la zona costera de Cartagena de Indias durante los años 2006 a 2010, a través de la modelación matemática y simulación de la producción de energía

eléctrica generada a partir del viento, utilizando datos de velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad del aire recolectados por la estación meteorología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), ubicada en el Aeropuerto Rafael Núñez. Además, se elaboró la evaluación económica de la implementación de turbinas eólicas para determinar su rentabilidad, con el fin de suplir la gran demanda energética del sector e impulsar el progreso hacia una fuente de energía renovable.

A partir del análisis de los datos se usó el modelo probabilístico de mezcla de dos componentes de Weibull, ya que representó adecuadamente la distribución del recurso eólico en la zona, con errores de ajuste menores al modelo probabilístico de Weibull. Los resultados indican que en la zona costera de Cartagena es posible generar energía entre 11.09 y 2214.09 MWh/año, dependiendo de la capacidad del aerogenerador usado en la simulación (entre 50 y 3000 KW) y su altura de ubicación (entre 10 y 110 metros). El análisis económico indica que el aerogenerador Vestas de 3000 KW, presentó el más bajo costo de generación con 190.43 \$/KWh y una producción anual cerca de 2214.09 MWh, por lo cual se consideró para los indicadores financieros del proyecto. Por otro lado, si la energía se comercializara a 329 \$/kWh (Precio de venta de la energía en Cartagena, por parte de la empresa Electricaribe

E. S. P. para un domicilio de estrato el valor presente neto (VPN) sería de \$-2,030,430,181.09, con una tasa interna de retorno (TIR) de 7.579% y el tiempo de recuperación de la inversión (TRI) de 73 años, lo que indica que el proyecto no es rentable bajo estas condiciones. Si se desea hacer el proyecto atractivo, se debe aumentar el precio de la energía, por ejemplo, para 650 \$/KWh el VPN sería de \$ 4,766,476,326.17, la TIR de 18.11% y el TRI de casi 10 años. La conclusión principal a partir de los anteriores que: La mayor limitación en la instalación de turbinas eólicas para la generación de energía eléctrica en la Zona Costera de Cartagena, lo constituye el precio de comercialización de la energía a partir de esta fuente, ya que sería mayor al que lo comercializa la empresa Electricaribe E. S. P., para que el proyecto sea rentable. A lo anterior se le suma el tiempo de recuperación de la inversión, el cual podría ser considerado muy prolongado a precios específicos bajos de la energía.

Rafael Vidal Herrera, México (2014), Evaluación del Recurso Eólico en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez.

El autor de la tesis tiene el propósito de cuantificar la energía aprovechable contenida en el viento de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez. Para lograr una fácil comprensión ha dividido el

trabajo en cinco partes: Primero se introduce al conocimiento acerca de la energía eólica, su historia, procedencia y la manera de aprovechar esa energía dejando definido nuestro objetivo y justificando las razones por las cuales se hizo este estudio. En el segundo se describe las principales características del fenómeno en estudio, explicando las características generales del viento. En el tercero se muestra la infraestructura necesaria para realizar una medición adecuada al sitio con la finalidad de obtener los datos fuente con los que se realizará el estudio del recurso eólico. En el cuarto se detalla la campaña de medición eólica realizada en un lugar específico de la Universidad Tecnológica y finalmente en el capítulo 5 se realiza la evaluación del recurso eólico. Los resultados de este estudio describen un viento de baja velocidad con promedio de 2.26 m/s y rangos de generación óptima entre 1 y 3 m/s, vientos que en la actualidad no es posible aprovechar con eficiencias por arriba del 31% utilizando rotores multipala ya sea para bombeo de agua o generación eléctrica, si se utilizaran los aerogeneradores de tipo horizontal de tres palas comerciales de pequeña escala se deben observar las velocidades de arranque de los aerogeneradores que sean de máximo a 1 m/s y que la curva de producción de energía eléctrica alcance su mejor producción eléctrica dentro de los 3 m/s. finalmente para estos vientos promedio el aerogenerador tipo Savonius que alcanza una

eficiencia máxima del 16 % dentro del rango de velocidades entre 1 y 3 m/s es el aerogenerador ideal que cumple con las características de este sitio, no olvidando las fuertes ráfagas de viento de hasta 14 m/s por lo que se debe de tener un sistema de frenado y protección del equipo para estas velocidades.

Aranda Cristóbal, Karin et. al, Perú (2016), Estudio De Factibilidad Para el Aprovechamiento de la Energía Eólica en la Comunidad Campesina Villa de Pasco - Distrito Tinyahuarco – 2016.

En el presente estudio, los estudiantes de los semestres VIII y X, de la escuela de Ingeniería Ambiental, facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, como parte de un trabajo de responsabilidad social, calcularon el potencial eólico a partir de datos de una estación meteorológica que ellos manejaban por espacio de una semana. En el estudio se realizó un análisis detallado para determinar su Factibilidad o no de producción de energía eólica; para una posible instalación futura de una Parque Eólico en la Comunidad Campesina Villa de Pasco. A partir de la obtención de estos resultados, se decido realizar la búsqueda de un aerogenerador que funcione en base a los datos obtenidos, en una investigación exhaustiva determinamos que el aerogenerador

marca BLACK 300 es la adecuado y puede funcionar con la velocidad y dirección del viento de la zona de estudio. Determinándose que; Velocidad del viento: 2,02 m/s, el aerogenerador BLACK 300 produciría una potencia de energía de 346.51 kW. Además, según los cálculos efectuados con la misma velocidad del viento se producirían una energía teórica anual aproximada de. 3,243.58 kWh. Por lo tanto, concluye en; El aprovechamiento de la energía eólica, cuyos beneficios creemos probados, en un país que posee los elementos adecuados para que ocurra, usando la tecnología adecuada y efectuando los estudios pertinentes, es de desarrollo FACTIBLE, por la reducción de costos y generación de empleos, minimización de impactos ambientales y la rentabilidad de inversión.

2.2. Bases Teórico - Científicos.

A. Viento y Energía Eólica

La energía eólica representa hoy en día una de las fuentes energéticas más baratas y con una tecnología de aprovechamiento totalmente madura.

Los actuales aerogeneradores son capaces de producir electricidad a precios competitivos respecto a las fuentes tradicionales energéticas, partiendo de una fuente natural, renovable y no contaminante de energía. (Atlas Eólico del Perú, 2016)

a. Origen del viento.

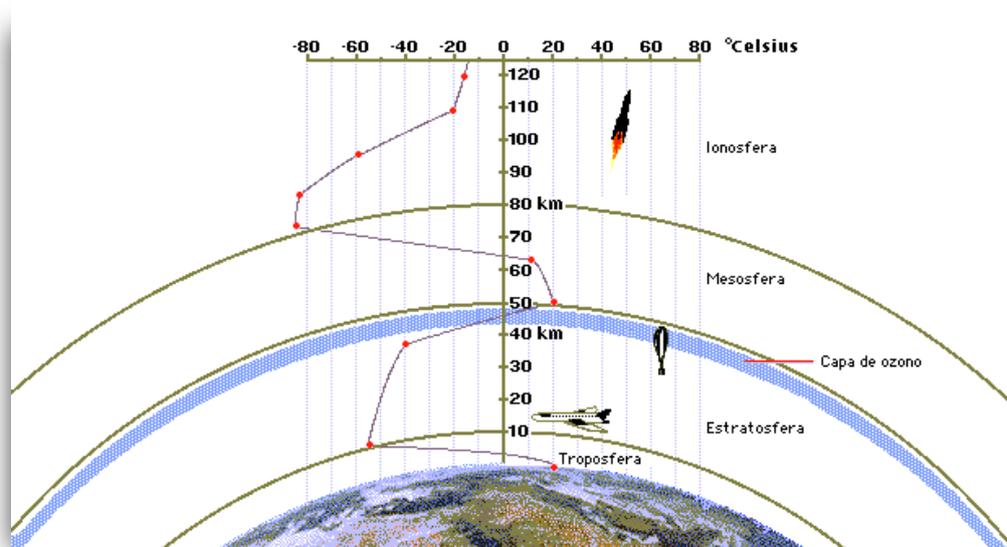
El viento resulta de la expansión y convección del aire provocadas por las diferentes absorciones de la energía solar de la tierra. A escala global, estos efectos térmicos se combinan con efectos dinámicos debidos a la rotación terrestre dando lugar a la circulación general atmosférica. Además de esta situación a gran escala, se dan importantes variaciones locales y temporales causadas por factores geográficos y climatológicos (Joaquín Mur Amada, 2014).

La atmósfera se divide verticalmente en varias capas horizontales, según una división basada principalmente en la temperatura.

El viento en superficie se produce en la capa más baja de la atmósfera, la troposfera, que tiene un espesor de unos 8 km en los polos y unos 16 km en el Ecuador. En concreto, desde el punto de vista de la energía eólica, interesará únicamente el

viento que se produce en unos pocos centenares de metros sobre el suelo, en la parte más baja de la troposfera.

Figura 1 Capas de la atmósfera



Fuente: Monografías.com

La causa del movimiento del aire es el desarrollo de gradientes horizontales de presión dentro de la atmósfera, los cuales, en último término, son consecuencia de la radiación solar recibida por la Tierra: la atmósfera funciona como una gigantesca máquina térmica en la que la diferencia de temperatura existente entre los polos y el ecuador proporciona la energía necesaria para la circulación atmosférica.

Los movimientos verticales en la atmósfera están limitados por el equilibrio existente entre la fuerza gravitatoria y el gradiente vertical de presión (equilibrio hidrostático):

b. Circulación general del viento.

Los desplazamientos de aire tienden a eliminar estos desequilibrios de presión existentes. La velocidad del viento será mayor, por tanto, cuanto mayor sea el gradiente de presión. El aire se moverá de las zonas de altas presiones a las zonas de bajas presiones.

La fuerza de presión por unidad de masa, perpendicular a las isobaras se expresa como:

$$dP/dM = -\rho \cdot dp/dn$$

Donde:

ρ = es la densidad del aire

dp/dn = es el gradiente horizontal de presión.

Por tanto, cuanto más juntas estén las isobaras, mayor será el gradiente de presión y la velocidad del viento. Según esto la dirección del viento debería ser perpendicular a las isobaras. Sin embargo, en la atmósfera libre, lejos de la superficie terrestre, el

viento sopla paralelo a las isobaras, dejando, en el hemisferio norte, la zona de alta presión a la derecha y la baja presión a la izquierda (al contrario del hemisferio sur). Este hecho es debido a la fuerza de Coriolis, que actúa sobre cualquier móvil. El valor por unidad de masa de su componente horizontal es:

$$f = -2\Omega \cdot \text{sen}\varphi \cdot V$$

Donde:

Ω = es la velocidad angular de La Tierra

φ = es la latitud

V = la velocidad del móvil.

La dirección de la fuerza es perpendicular al movimiento y hace que en el hemisferio norte el aire se desplace desviándose constantemente hacia la derecha (al contrario del hemisferio sur).

La desviación es proporcional al seno de la latitud y por tanto será máxima en los polos y mínima en el ecuador.

En la atmósfera libre y en situación de equilibrio, la fuerza del gradiente de presión quedará equilibrada con la de Coriolis:

$$-1/\rho \cdot \partial p / \partial n = -2\Omega \cdot \text{sen}\varphi \cdot V$$

El viento ideal que cumple esta condición se llama viento geostrófico y es una buena aproximación al viento real en niveles altos de la atmósfera. El viento geostrófico es paralelo a las isóbaras, o superficies de igual presión. Dado que en general las isobaras no son rectas, el movimiento del aire, paralelo a ellas, estará sometido a una aceleración dirigida hacia el centro de rotación, cuyo valor es:

$$-V^2/r$$

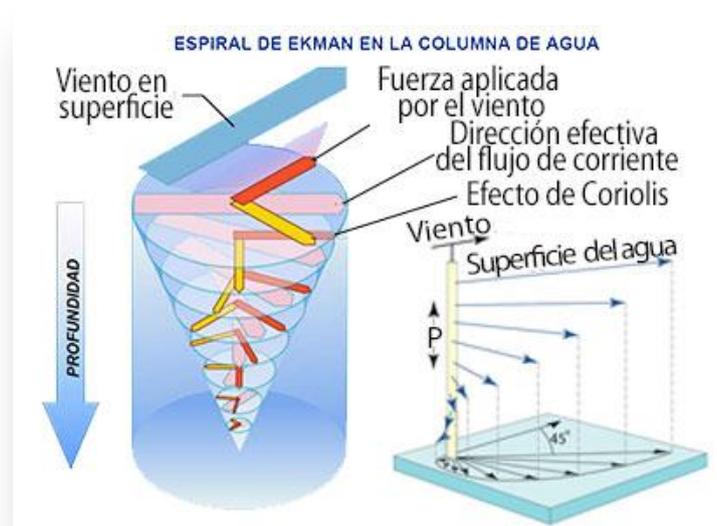
Dónde:

r = es el radio de curvatura del movimiento.

El equilibrio de las fuerzas b́arica, de Coriolis y centrífuga, resulta en una circulación conocida como viento del gradiente. Este viento es también paralelo a las isóbaras. La proximidad de la superficie terrestre, donde el rozamiento con el suelo hace frenarse al viento, la fuerza de Coriolis disminuye proporcionalmente con la velocidad y se establece por tanto un nuevo equilibrio. Ello hace que el viento corte oblicuamente a las isobaras, desde las altas presiones hacia las bajas, dejando siempre, en el hemisferio norte, las altas a la derecha y las bajas a la izquierda (al contrario del hemisferio sur). Verticalmente, el

efecto de la fricción disminuye con la altura, con lo que aumentan la velocidad y la fuerza de Coriolis, desde cero en la superficie hasta la velocidad de viento geostrófico donde el rozamiento sea despreciable. Asimismo, el ángulo con el que el viento cortará las isobaras variará con la altura. La curva de la variación vertical del vector viento se conoce como espiral de Ekman.

Figura 2 Espiral de Ekman en la columna de agua.



Fuente: www.masmar.net

c. Efectos locales.

La circulación general, supone un planeta homogéneo de forma aproximadamente esférica. Realmente, la superficie terrestre presenta una variabilidad considerable, que incluye grandes extensiones de tierra y océanos. Estas superficies diversas

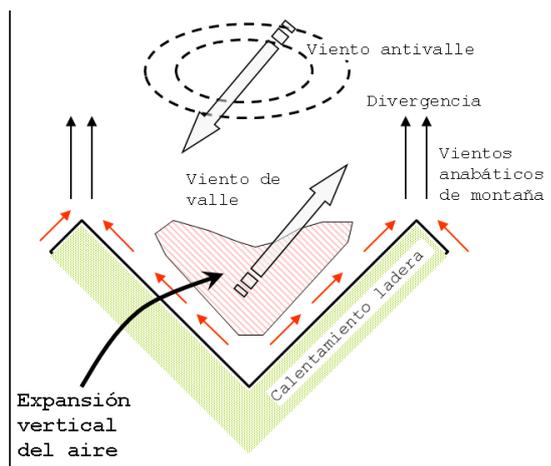
pueden afectar el flujo del aire variando los campos de presión, la absorción de radiación solar o el contenido de vapor de agua.

Los océanos actúan como un gran sumidero de energía, por lo que el movimiento del aire está a menudo acoplado con la circulación oceánica. Esto ocasiona variaciones del campo de presión que afectan a los vientos globales y a varios de los vientos regionales persistentes. Se pueden considerar circulaciones secundarias o vientos regionales a aquellas en que los centros de alta o baja presión se forman por el calentamiento o enfriamiento de la baja atmósfera. Entre ellas se pueden destacar los huracanes, los monzones y los ciclones extra tropicales (o de latitudes medias).

A parte de la circulación general, las condiciones geográficas locales son a veces causa de tendencias que se superponen tanto a los mapas de velocidad de viento a gran escala como a los de pequeña escala. Estas condiciones locales producen calentamientos y enfriamientos de la atmósfera que dan lugar a pequeñas diferencias de presión que generan vientos locales o regionales que se manifiestan más claramente cuando los vientos de circulación general son débiles.

Sin embargo, en algunas regiones del mundo, los vientos locales tienen tal importancia que encubren al viento general. Existen efectos locales de origen únicamente térmico, mientras que otros son producidos por factores orográficos. Entre los primeros se pueden citar las brisas entre la llanura y la montaña, entre el mar y tierra, entre la ciudad y el campo, los vientos de ladera y de valle. Además de estos vientos de origen térmico, la propia topografía da lugar a perturbaciones de la circulación general. Los rasgos topográficos de pequeña escala (colinas, acantilados, pequeños valles) originan pequeñas perturbaciones que pueden favorecer la existencia de puntos singulares donde la velocidad del viento se incremente y sean adecuados para el aprovechamiento de la energía eólica (Atlas Eólico del Perú, 2016).

Figura 3 Circulación local del aire.



Fuente: Instituto de Tecnologías Educativas-España

d. Potencia eólica disponible

Una masa de aire en movimiento a una velocidad v tiene una energía cinética

$$E = 1/2 \cdot m \cdot v^2.$$

La energía cinética por unidad de volumen será:

$$e = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2$$

siendo ρ la densidad del aire, que a efectos prácticos puede suponerse prácticamente constante. El flujo de aire a través de una superficie es

$$\Phi = v \cdot A$$

La energía que fluye por unidad de tiempo, o potencia eólica disponible en una sección de área A perpendicular a la corriente de aire con velocidad v será el flujo de energía cinética, es decir,

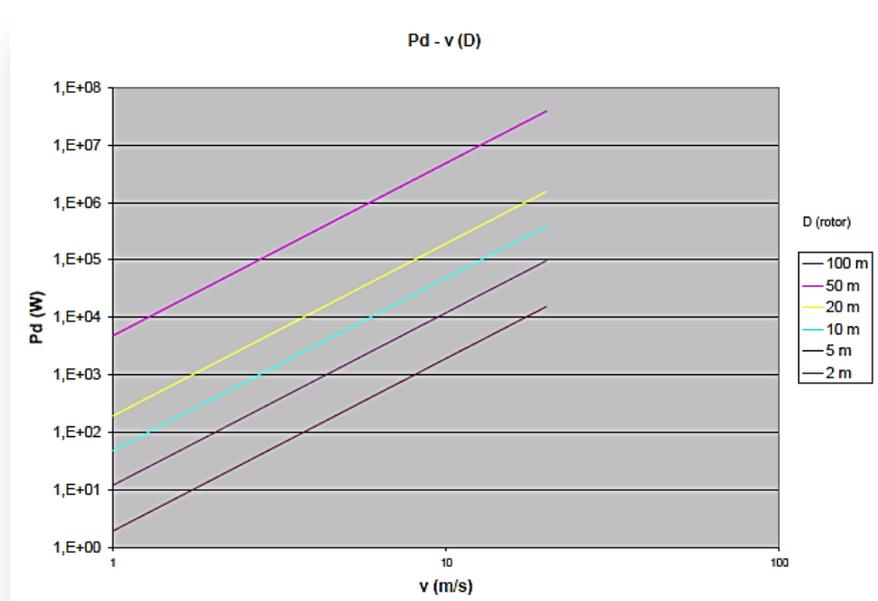
$$P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot v \cdot A = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3.$$

Por tanto, la potencia disponible en las masas de aire en movimiento es directamente proporcional a la densidad, al área

perpendicular enfrentada al rotor y al cubo de la velocidad. En unidades del S.I. dicha potencia vendrá expresada en W.

Representando gráficamente la potencia disponible en función del diámetro de la máquina, con la densidad $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$, tendremos:

Figura 4 Potencia eólica disponible.



Fuente: Joaquín Mur Amada,2014.

De la gráfica se observa que a medida que aumenta el diámetro del rotor enfrentado al aire, y a medida que aumenta la velocidad, la potencia disponible en el viento aumenta.

e. Potencia eólica aprovechable

En el apartado anterior se ha visto cual es la energía contenida en una masa de aire en movimiento. Ahora bien, el cumplimiento de la ecuación de conservación de la masa hace que no toda esa potencia disponible en el aire pueda aprovecharse. Además de las características del viento, la potencia aprovechable depende también de las características de funcionamiento de la máquina. Habrá que considerar, además, las pérdidas mecánicas en la transmisión y la eficiencia eléctrica del generador. Estos factores se tendrán en cuenta aparte. Se define el coeficiente de potencia de un aerogenerador como la fracción de potencia contenida en el viento incidente que es realmente capturada por el aerogenerador. Es una medida de la eficiencia de la máquina.

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$$

Dónde:

P_d : potencia disponible

ρ : densidad del viento

A : área expuesta al viento incidente

V : velocidad del viento incidente.

El valor del coeficiente de potencia nunca puede alcanzar el 100% respecto a la potencia incidente. El valor máximo fue determinado

por Betz, en el año 1927 a partir de la aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento. Un procedimiento más fiable para evaluar el potencial eólico aprovechable es a partir de la curva característica del coeficiente de potencia de una máquina determinada $C_p(v)$ y de la distribución de probabilidades de velocidad de viento en un lugar, $p(v)$.

$$\bar{P}_a = \frac{1}{2} \rho \cdot A \int_0^{\infty} v^3 \cdot p(v) \cdot c_p(v) \cdot dv$$

El factor de capacidad, C_f es la relación entre la potencia eólica media aprovechable por la máquina, y la potencia nominal durante el periodo considerado.

$$C_f = \frac{\int_0^{\infty} C_p(v) v^3 p(v) dv}{C_p(v_n) v_n^3}$$

La energía eólica extraíble también se puede expresar mediante el concepto de horas equivalentes de producción, como el cociente entre la energía total suministrada y la potencia nominal instalada.

B. Obtención y tratamiento de datos de viento

a. Parámetros representativos del potencial eólico

A la hora de evaluar un emplazamiento hay que determinar las características del viento en el mismo, para lo cual habrá que considerar cada uno de los siguientes aspectos.

- ✓ Condiciones generales del viento en un emplazamiento (medias diarias, estacionales, anuales).
- ✓ Datos de 10 minutos a 1 hora de promedio
 - Condiciones meteorológicas (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, densidad del aire).
 - Distribución de frecuencias de dirección.
 - Variación temporal de la velocidad.
 - Potencial eólico disponible.
- ✓ Características del viento para el funcionamiento del sistema.
- ✓ Datos de 10 minutos a 1 hora de promedio.
 - Perfil vertical de velocidad horizontal.
- ✓ Variaciones temporales.
- ✓ Relaciones con la dirección.
 - Variación de la velocidad vertical
- ✓ Relaciones entre el viento vertical y la dirección.
- ✓ Relaciones entre el viento vertical y el horizontal.

- ✓ Datos de 1 minuto a 10 minutos de promedio.
 - Factores de ráfaga.
- ✓ Relaciones entre la velocidad, dirección y factor de ráfagas.
 - Características de la turbulencia
- ✓ Relaciones entre dirección y turbulencia.
- ✓ Relaciones entre velocidad y turbulencia.

b. Toma de medidas

b.1. Instrumentación

Los instrumentos de medida necesarios en energía eólica son:

- ✓ Anemómetros para medir la velocidad del viento.
- ✓ Veletas para medir la dirección.
- ✓ Termómetros para medir la temperatura ambiente del aire.
- ✓ Barómetros para medir la presión atmosférica ambiental.

En general, la señal que proviene de los instrumentos de medida está conectada a un sistema de registro de diversos tipos:

- ✓ Un dispositivo de integración.
- ✓ Un indicador.
- ✓ Un dispositivo de grabación, por ejemplo, el soporte magnético o electrónico.

1. Anemómetros

Son los instrumentos utilizados para determinar la velocidad del viento. Pueden clasificarse según su principio de operación.

✓ **De rotación.** Pueden ser de cazoletas o de hélice.

El anemómetro de cazoletas consiste en tres o cuatro cazoletas montadas simétricamente alrededor de un eje vertical. Debido a que la fuerza que ejerza el aire en el lado cóncavo es mayor que en el lado convexo, la rueda de cazoletas gira. La velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del viento. Dicha rotación puede medirse de varios modos: contando mecánicamente el número de revoluciones, conectando el eje de la rueda de cazoletas a un pequeño generador eléctrico y midiendo el voltaje instantáneo, o a un interruptor optoelectrónico y midiendo su salida.

Los anemómetros de tres cazoletas semicónicas son preferentemente los más usados. La principal ventaja de los anemómetros de cazoletas es que miden las dos componentes horizontales del viento (Figura 5). El anemómetro de hélice se

utiliza cuando se quiere conocer la velocidad del viento en una dirección particular. Normalmente se coloca un conjunto de dos o tres anemómetros de hélice en planos perpendiculares (Figura 6) para obtener las componentes de velocidad sobre los ejes principales (horizontales y verticales). A veces se utiliza un anemómetro de hélice asociado a un sistema de orientación tipo veleta, para medir la componente horizontal de la velocidad de viento.

Figura 5 Anemómetros de cazoletas.



Figura 6 Anemómetro de hélice plano.



Fuente: Wikipedia

- ✓ **De presión.** La medida de la velocidad del viento se registra mediante los efectos de las variaciones de presión que ejerce el aire cuando se mueve. Dichos anemómetros están encaminados más que a medir la velocidad del viento a medir la rafagosidad, mediante galgas extensométricas acopladas a una esfera perforada, midiendo así la magnitud y dirección del viento.

- ✓ **Anemómetros de hilo caliente.** Miden la velocidad a través de los efectos de enfriamiento del viento. La principal ventaja de estos equipos es su pequeña constante de tiempo, aunque, por el contrario, son equipos muy delicados.

- ✓ **Anemómetros basados en el efecto sónico.** El sonido viaja a través del aire en reposo a una velocidad conocida. Sin embargo, cuando el aire está en movimiento esta velocidad aumenta o disminuye correlativamente. Son equipos con una constante de tiempo muy baja y de gran resolución en la medida, aunque son caros y no pueden transportarse.

- ✓ Otras técnicas incorporan el anemómetro láser, ultrasónico y el anemómetro SODAR, de efecto Doppler.

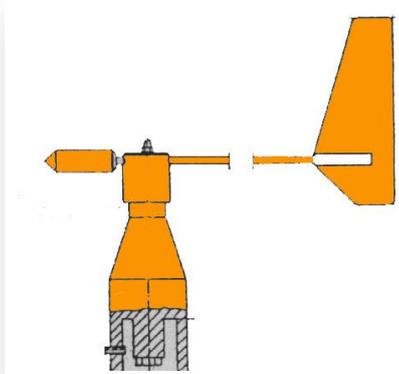
2. Medida de la dirección del viento

El elemento empleado tradicionalmente para medir la dirección del viento es una veleta, que consiste en un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, de tal modo que puede moverse cuando el viento cambia de dirección. Normalmente, el movimiento de la veleta está amortiguado para prevenir cambios demasiado rápidos de la dirección del viento.

Así mismo, puede obtenerse una medida de la dirección del viento resolviendo los registros de salida de dos

anemómetros de hélice dispuestos ortogonalmente (Figura 7).

Figura 7 Anemómetro de hélice ortogonal.



Fuente: Joaquín Mur Amada, 2014.

3. Medida de la temperatura

La medida de la temperatura se utiliza para la determinación de la potencia suministrada, así como para evaluar la climatología local en emplazamientos de parques eólicos. Los termómetros corrientes basados en un elemento de resistencia de platino son los más utilizados.

4. Medida de la presión atmosférica

La presión atmosférica se utiliza para la determinación de la potencia suministrada en una instalación eólica. Generalmente se utiliza un barómetro meteorológico.

b.2. Frecuencia y duración de las medidas

La frecuencia de las medidas depende fundamentalmente del uso destinado para los datos. Por ejemplo, la presión atmosférica, que varía muy lentamente, basta con realizar medidas cada 3 horas. Con las temperaturas, bastan los valores horarios.

En cambio, para una evaluación precisa del potencial eólico, es recomendable tomar muestras de valores de viento con una frecuencia de 5 a 10 segundos, y promedios en intervalos de 10 minutos a 1 hora. Para análisis detallados del funcionamiento de máquinas eólicas o estudios específicos de características de viento, como las ráfagas o turbulencias, se requieren frecuencias de toma de datos iguales o superiores a 1 Hz o intervalos de promedio del orden de 1 minuto. La duración de las medidas también depende directamente del propósito de las mismas. Si queremos instalar aerogeneradores en un determinado emplazamiento, las directrices a seguir serán:

- ✓ Medir durante un periodo de tiempo lo más largo, práctica y económicamente posible.

- ✓ Intentar medir en cada estación del año, dado que los patrones de la velocidad y dirección del viento son relativamente estacionales.
- ✓ Comparar con las medidas de otros lugares vecinos donde estén disponibles datos correspondientes a largos periodos de tiempo.
- ✓ Comparar las medidas con las tendencias regionales a largo plazo, ya que existen evidencias de que ocurren significantes variaciones climatológicas en la velocidad del viento.

b.3. Ubicación de los sensores

Los sensores han de estar ubicados en lugares bien expuestos a todas las direcciones y sin obstáculos en los alrededores. La altura estándar de medición es de 10 metros sobre el suelo, con el fin de poder establecer comparaciones homogéneas. En el caso de evaluación de una determinada máquina, conviene realizar las medidas a la altura del buje, con el fin de reducir las posibles incertidumbres.

b.4. Elección de los instrumentos de medida.

Los factores fundamentales a tener en cuenta en la elección de un instrumento son los siguientes:

- ✓ Coste y fiabilidad
- ✓ Sensibilidad
- ✓ Calibración adecuada, con el fin de garantizar la fiabilidad de los datos
- ✓ Robustez, soportar posibles daños
- ✓ Compatibilidad de las especificaciones de sensibilidad y fiabilidad del sistema completo.
- ✓ Accesibilidad del emplazamiento y disponibilidad y calidad de los datos.

c. Tratamiento de los datos eólicos

Los datos de viento obtenidos se tratan estadísticamente, con el fin de obtener la distribución por rumbos de las direcciones y la distribución por frecuencias de las velocidades.

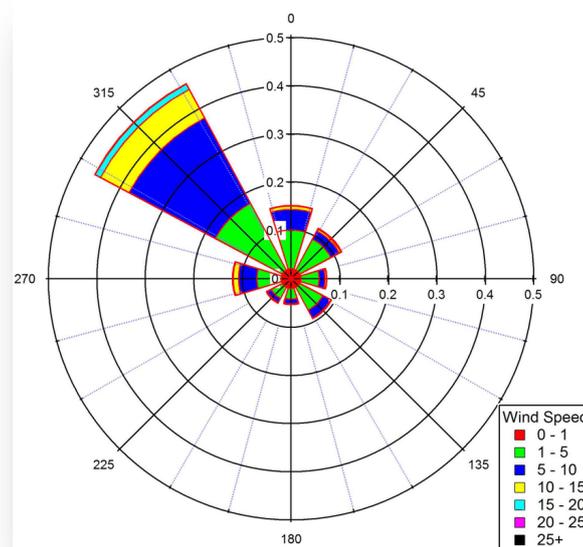
c.1. Distribución de direcciones

La distribución de direcciones de viento es de vital importancia a la hora de ubicar las turbinas eólicas en terrenos no uniformes o formando varios conjuntos de ellas, e incluso para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina.

La representación más habitual es la de la rosa de los vientos, en la que se expresa el porcentaje de tiempo en el que el viento tiene una determinada dirección.

Normalmente, también se refleja la distribución de velocidades de viento para cada intervalo direccional.

Figura 8 Rosa de vientos.

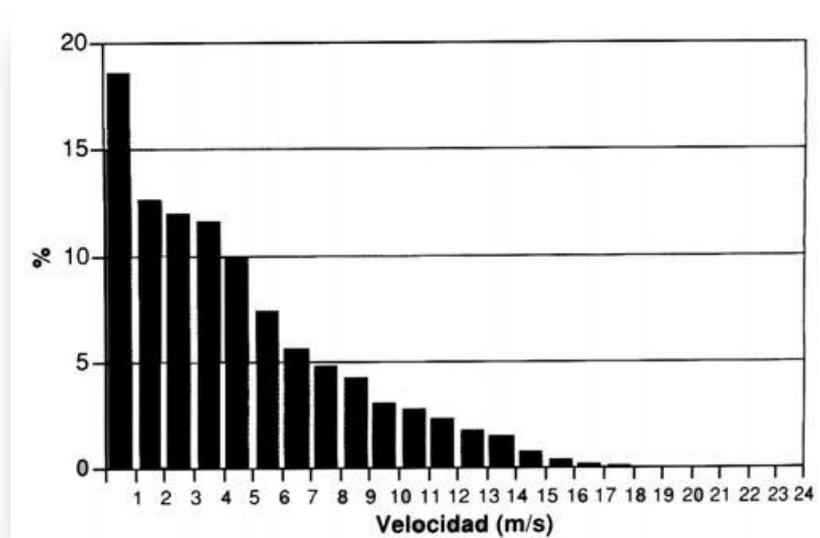


Fuente: www.researchgate.net

c.2. Distribuciones de velocidades.

El conocimiento de la distribución de probabilidades de velocidades de viento $p(v)$ es muy importante a la hora de determinar el potencial eólico disponible, además de para otros parámetros energéticos de interés. Si no se dispone de las series temporales medidas en el emplazamiento, o si se quieren extrapolar datos a otro lugar, este procedimiento ofrece ciertas ventajas (Figura 8).

Figura 9 Distribución de velocidades.



Fuente: Joaquín Mur Amada, 2014.

✓ **Distribución de Weibull**

La expresión analítica más utilizada en los estudios de energía eólica es la distribución de Weibull, cuya forma general es

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

Dónde:

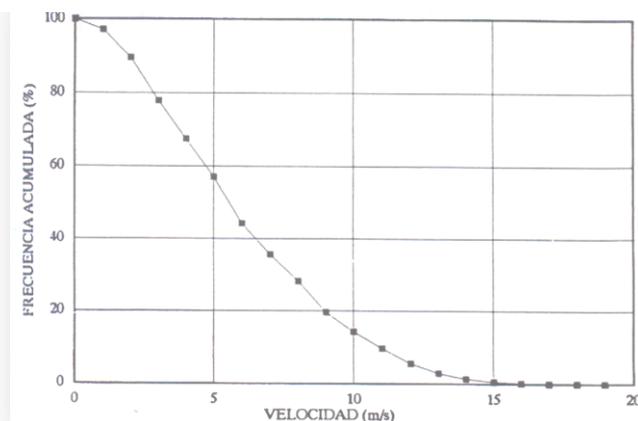
P(v): representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad v

C: es el denominado factor de escala (m/s) cuyo valor es cercano a la velocidad media

K: es el factor adimensional de forma.

La distribución de Rayleigh es un caso particular de la distribución de Weibull, con k=2

Figura 10 Distribución de weibull.



Fuente: Joaquín Mur Amada, 2014.

Aplicaciones:

La distribución de Weibull permite analizar diferentes propiedades del viento en función de los parámetros c y k , entre las que pueden destacarse:

- ✓ Probabilidad de que existan velocidades de viento superiores a una dada, v_x :

$$P(V \geq V_x) = e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k}$$

- ✓ Probabilidad de que existan velocidades de viento entre dos límites de interés:

$$P(V_x < V < V_y) = e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{V_y}{c}\right)^k}$$

- ✓ La velocidad media se obtiene de la distribución de Weibull mediante

$$\bar{v} = c \Gamma(1 + 1/k)$$

- ✓ La desviación estándar de la distribución se obtiene:

$$\sigma^2 = c^2 [\Gamma(1 + 2/k) - \Gamma^2(1 + 1/k)]$$

- ✓ La velocidad media cúbica viene dada por:

$$\bar{V}^3 = c^3 \cdot \Gamma(1+3/k)$$

- ✓ El factor de potencia eólica, FPE, viene dado por:

$$FPE = \frac{\overline{v^3}}{\bar{v}^3} = \frac{\Gamma(1+3/k)}{\Gamma^3(1+1/k)}$$

- ✓ El índice de variabilidad se obtiene mediante:

$$IV = \frac{\sigma}{\bar{v}} = \sqrt{\frac{\Gamma(1+2/k)}{\Gamma(1+1/k)} - 1}$$

C. Cambio Climático

El cambio climático es un cambio en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo (décadas a millones de años). Puede referirse a un cambio en las condiciones promedio del tiempo o en la variación temporal meteorológica de las condiciones promedio a largo plazo (por ejemplo, más o menos fenómenos meteorológicos extremos). Está causado por factores como

procesos bióticos, variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra, tectónica de placas y erupciones volcánicas. También se han identificado ciertas actividades humanas como causa principal del cambio climático reciente, a menudo llamado calentamiento global.

1. Causas del Cambio Climático:

El clima es un promedio a una escala de tiempo dado del tiempo atmosférico. Los distintos tipos climáticos y su localización en la superficie terrestre obedecen a ciertos factores, siendo los principales, la latitud geográfica, la altitud, la distancia al mar, la orientación del relieve terrestre con respecto a la insolación (vertientes de solana y umbría) y a la dirección de los vientos (vertientes de Sotavento y barlovento) y, por último, las corrientes marinas. Estos factores y sus variaciones en el tiempo producen cambios en los principales elementos constituyentes del clima que también son cinco: temperatura atmosférica, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones.

Un cambio en la emisión de radiaciones solares, en la composición de la atmósfera, en la disposición de los

continentes, en las corrientes marinas o en la órbita de la Tierra puede modificar la distribución de energía y el equilibrio térmico, alterando así profundamente el clima cuando se trata de procesos de larga duración.

Estas influencias se pueden clasificar en externas e internas a la Tierra. Las externas también reciben el nombre de forzamientos, dado que normalmente actúan de manera sistemática sobre el clima, aunque también las hay aleatorias como es el caso de los impactos de meteoritos (astroblemas). La influencia humana sobre el clima en muchos casos se considera forzamiento externo ya que su influencia es más sistemática que caótica pero también es cierto que el Homo sapiens pertenece a la propia biosfera terrestre pudiéndose considerar también como forzamientos internos según el criterio que se use. En las causas internas se encuentran una mayoría de factores no sistemáticos o caóticos. Es en este grupo donde se encuentran los factores amplificadores y moderadores que actúan en respuesta a los cambios introduciendo una variable más al problema ya que no solo hay que tener en cuenta los factores que actúan sino también las respuestas que dichas modificaciones pueden conllevar. Por todo eso al clima se le considera un sistema complejo.

Según qué tipo de factores dominen la variación del clima será sistemática o caótica. En esto depende mucho la escala de tiempo en la que se observe la variación ya que pueden quedar patrones regulares de baja frecuencia ocultos en variaciones caóticas de alta frecuencia y viceversa. Puede darse el caso de que algunas variaciones caóticas del clima no lo sean en realidad y que sean catalogadas como tales por un desconocimiento de las verdaderas razones causantes de las mismas.

Las investigaciones hechas por algunos científicos apuntan que la razón principal del aumento de temperatura en el Planeta es debido al proceso de industrialización iniciado hace siglo y medio y, en particular la combustión de cantidades cada vez mayores de petróleo, gasolina y carbón, la tala de árboles y algunos métodos de explotación agrícola. Estas actividades aumentan el volumen de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, principalmente de dióxido de carbono, metano y óxido-nitroso. Lo anterior, ha provocado que los rayos del Sol queden atrapados en la atmósfera del Planeta Tierra, provocando así un aumento de temperatura.

Los Efectos antropogénicos.

Una hipótesis dice que el ser humano podría haberse convertido en uno de los agentes climáticos, incorporándose a la lista hace relativamente poco tiempo. Su influencia comenzaría con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, pero en la actualidad su influencia sería mucho mayor al producir la emisión abundante de gases que, según algunos autores, [cita requerida] producen un efecto invernadero: CO₂ en fábricas y medios de transporte y metano en granjas de ganadería intensiva y arrozales. Actualmente las emisiones se han incrementado hasta tal nivel que parece difícil que se reduzcan a corto y medio plazo, por las implicaciones técnicas y económicas de las actividades involucradas.

Los aerosoles de origen antrópico, especialmente los sulfatos provenientes de los combustibles fósiles ejercen una influencia reductora de la temperatura (Charlson et al., 1992). Este hecho, unido a la variabilidad natural del clima, sería la causa que explica el "valle" que se observa en el gráfico de temperaturas en la zona central del siglo XX.

La alta demanda de energía por parte de los países desarrollados es la principal causa del calentamiento global, debido a que sus emisiones contaminantes son las mayores del planeta. Esta demanda de energía hace que cada vez más se extraigan y consuman los recursos energéticos como el petróleo.

2. El Cambio Climático Actual.

Combustibles fósiles y calentamiento global.

A finales del siglo XVII el hombre empezó a utilizar combustibles fósiles que la Tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO₂ en la atmósfera que últimamente es de 1,4 ppm al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura. Se estima que desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (siempre dentro de la época industrial) esta ha aumentado 0,5 °C y se prevé un aumento de 1 °C en el 2020 y de 2 °C en el 2050.

Además del dióxido de carbono (CO₂), existen otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto.

Los últimos años del siglo XX se caracterizaron por poseer temperaturas medias que son siempre las más altas del siglo. Rachel Kyte, vicepresidente para Desarrollo Sostenible del Banco Mundial anunció en el año 2013, que el costo económico por los desastres naturales aumentó cuatro veces desde 1980.

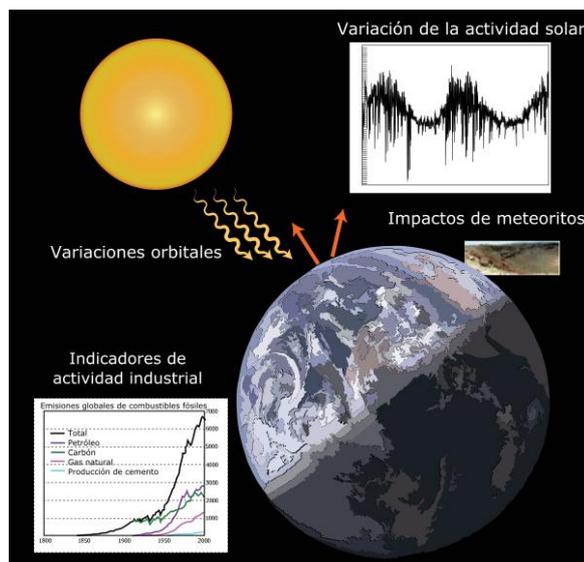
Planteamiento de futuro.

Tal vez el mecanismo de compensación del CO₂ funcione en un plazo de cientos de años, cuando el Sol entre en un nuevo mínimo. En un plazo de miles de años, tal vez se reduzca la temperatura, desencadenándose la próxima glaciación, o puede que simplemente no llegue a producirse ese cambio. En el Cretácico, sin intervención humana, el CO₂ era más elevado que ahora y la Tierra estaba 8 °C más cálida.

Agricultura.

El cambio climático y la agricultura son procesos relacionados entre sí, ya que ambos tienen escala global. Se proyecta que el calentamiento global tendrá impactos significativos que afectarán a la agricultura, la temperatura, dióxido de carbono, deshielos, precipitación y la interacción entre estos elementos. Estas condiciones determinan la capacidad de carga de la biosfera para producir suficiente alimento para todos los humanos y animales domesticados. El efecto global del cambio climático en la agricultura dependerá del balance de esos efectos. El estudio de los efectos del cambio climático global podría ayudar a prevenir y adaptar adecuadamente el sector agrícola para maximizar la producción de la agricultura.

Figura 11 Cambio climático.



Fuente: Wikipedia.com

3. Huella de Carbono.

La huella de carbono se conoce como «la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto». Tal impacto ambiental es medido llevando a cabo un inventario de emisiones de GEI o un análisis de ciclo de vida según la tipología de huella, siguiendo normativas internacionales reconocidas, tales como ISO 14064, PAS 2050 o GHG Protocol entre otras. La huella de carbono se mide en masa de CO₂ equivalente. Una vez conocido el tamaño y la huella, es posible implementar una estrategia de reducción y/o compensación de emisiones, a través de diferentes programas, públicos o privados.

Estándares utilizados en el cálculo de la Huella de Carbono.

Los estándares internacionales se pueden agrupar dependiendo si la certificación corresponde a una organización o a un producto:

- ✓ Huella de carbono de una organización. Se analizan las emisiones de GEI de una organización a lo largo de un año o periodo determinado, generando un inventario de las mismas. Los estándares más utilizados son: GHG Protocol e ISO 14064-1.
- ✓ Huella de carbono de productos o servicios. Se analizan todas las emisiones de GEI realizadas durante el Ciclo de Vida del producto o servicio analizado. Los estándares más utilizados son: PAS 2050:2011, ISO/TS 14067:2013, con el apoyo de ISO 14040 e ISO 14044 para la elaboración del Análisis de Ciclo de Vida.

Organismos acreditados para certificar Huella de Carbono (Latino América)

- ✓ Enviro-Mark Solutions Limited, empresa perteneciente al gobierno de Nueva Zelanda posee las acreditaciones para certificar ISO 14064-1 y PAS2050. Ver www.enviro-mark.com
- ✓ Carbon Trust, perteneciente al gobierno de Reinos Unidos posee la acreditación para certificar PAS2050. Ver www.carbontrust.com

Huella de carbono de organización.

El Inventario de Gases de Efecto Invernadero de una organización, también denominado Huella de Carbono de Organización, es un informe donde se indican las emisiones de GEI realizadas por la organización objeto de estudio durante un periodo determinado, generalmente un año natural. Este inventario se realiza siguiendo estándares internacionales, principalmente GHG Protocol1 o la norma ISO 14064-1.2

Estos dos estándares contabilizan las emisiones de forma similar, diferenciándose principalmente en detalles a la hora de detallar y desglosar el informe final de inventario. Para las organizaciones se diferencian tres tipos de emisiones:

- ✓ Emisiones de Alcance 1 también denominadas Emisiones Directas. Son los gases de efecto invernadero emitidos de forma directa por la organización, por ejemplo, por el uso de combustibles fósiles en maquinaria o vehículos propiedad de la organización, por pérdidas de gases refrigerantes, o por reacciones químicas durante los procesos productivos de la organización.

- ✓ Emisiones de Alcance 2 o Emisiones Indirectas por Energía.
Son los gases de efecto invernadero emitidos por el productor de la energía requerida por la organización. Dependen tanto de la cantidad de energía requerida por la organización como del Mix energético de la red que provee a la organización.
- ✓ Emisiones de Alcance 3 también denominadas Otras Emisiones Indirectas. Son las atribuibles a los productos y servicios adquiridos por la organización, que a su vez habrán generado emisiones previamente para ser producidos. Son las más difíciles de contabilizar debido a la gran cantidad de productos y servicios utilizados por las organizaciones y a la dificultad en conocer las emisiones de estos productos o servicios si no son aportadas por el propio productor.

Dentro del Inventario de Emisiones de una organización también se deben contabilizar las Remociones o absorciones de CO₂. Para poder ser contabilizadas, estas absorciones deben ser debidas directamente a la actividad de la organización, y se contabilizan por separado, no "restan" emisiones. La compensación de emisiones no es una absorción de CO₂, por tanto, no se deben contabilizar dentro

de un inventario, aunque la organización sí puede informar de sus compensaciones si las ha realizado.

Los Inventarios de Emisiones de GEI deben contener como mínimo las emisiones de Alcance 1 y Alcance 2, y pueden ser verificadas por una entidad de verificación acreditada.

Los Inventarios de Emisiones se referirán siempre a un "Año Base", indicando el aumento o reducción de emisiones del año del informe comparado con el Año Base. Si la organización realiza un inventario por primera vez, ese será su año base.

2.3. Definición de Términos

Viento

- (Según Joaquín Mur Amada, 2014). Es un recurso energético y desde el punto de vista de su disponibilidad como suministro, tiene sus características específicas: es una fuente con sustanciales variaciones temporales, a pequeña y gran escala de tiempo, y espaciales, tanto en superficie como en altura,

contando además con una componente aleatoria que afecta en gran parte a su variación total.

- Wikipedia. El viento es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal.
- Günter D. Roth lo define como: “La compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos puntos”.

Energía Eólica

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.

Temperatura

La Temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Toda sustancia en determinado estado de agregación (sólido, líquido o gas), está constituida por moléculas que se encuentran en continuo movimiento.

Velocidad

Magnitud física en el cual se mide utilizando un patrón que tenga bien determinada esa magnitud agarrando como unidad la cantidad de esa propiedad que posea el objeto patrón de carácter vectorial que esta explicado por un punto del espacio en el cual se mide esa magnitud, donde también se encuentra un módulo, una longitud, su dirección u orientación, su sentido lo distingue por el origen del extremo, que expresa el desplazamiento de un objeto por unidad de tiempo.

Dirección de viento

Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla.

Estación meteorológica

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.

Aerogenerador

Un aerogenerador es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y en energía eléctrica gracias a un alternador.

Potencia

La potencia se define como la rapidez con la cual la energía es empleada o convertida, y puede expresarse como energía por unidad de tiempo, dígase joule por segundo (J/s). La unidad de potencia es el watt (W), que es igual a un joule por segundo; es decir, $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

Cambio climático.

Variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del hombre y se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc.

Huella de carbono.

La huella de carbono se conoce como «la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto».

2.4. Hipótesis.

2.4.1. Hipótesis General:

El potencial de la energía eólica para la generación de electricidad es superior a los 300 W/m² y su relación es directa con el cambio climático, en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco.

2.4.2. Hipótesis Específicas:

- a. El potencial de energía eólica para la generación de electricidad es superior a los 300 W/m², en la Comunidad Campesina de Huaraucaca.
- b. La relación entre la generación de electricidad con el uso de energía convencional y el cambio climático en la Comunidad Campesina de Huaraucaca, es directa.

2.5. Identificación de las Variables.

2.5.1. Variable Independiente:

Potencial de energía eólica

2.5.2. Variable Dependiente:

Generación de electricidad y su relación con el cambio climático.

2.5.3. Variable Interviniente:

Condiciones meteorológicas y geográficas de la Comunidad Campesina de Huaraucaca. Consumo de energía eléctrica de los pobladores de la comunidad campesina de Huaraucaca.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Tipo de Investigación

Es de tipo descriptivo, ya que se utilizó información de campo para procesarla y describir sus resultados, además se usó las variables para determinar su comportamiento en determinados fenómenos.

3.2. Diseño de la Investigación

Diseño No experimental, considerando que no se manipulará deliberadamente las variables, de corte transversal, ya que se usarán datos de diferentes fechas, pero se les procesará en un solo momento. Investigación correlativa, ya que se hará uso de la

teoría y se aplicará en los datos de campo obtenidos, para posteriormente procesarlos.

3.3. Población y Muestra

La población será el área geográfica de la comunidad campesina de Huaraucaca, distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco, específicamente 230696.568 m² (ver mapa en anexo) del área ocupada por la población, de donde se podrán obtener los datos meteorológicos.

3.4. Métodos de la Investigación

a. Clasificación de las velocidades

Una vez realizada la recolección de datos, comienza una fase de clasificación o agrupación de los datos referentes a cada variable objetivo de estudio y su presentación conjunta. Para determinar el Potencial Eólico en una determinada zona, se debe clasificar las velocidades registradas según la frecuencia con la que ocurrieron cada una de ellas, para esto es necesario descartar los momentos de calma (0 m/s), porque no ofrecen valores significativos, al no poseer energía cinética aprovechable y vientos excesivos por

encima de los 20 m/s que podrían representar daños posteriores a los aerogeneradores.

b. Aplicación de la distribución de Weibull

Determinar el potencial eólico, está relacionado con establecer los parámetros de la ecuación de Weibull, correspondientes al parámetro de **escala c** en m/s, que determinan 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, con éstos se puede determinar la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento. Para los cuales se aplican los siguientes cálculos

Cálculo de la distribución de Weibull

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

Calculo del parámetro de forma k:

$$k = \left(\frac{d}{v}\right)^{-1.086}$$

Dónde:

d: Desviación estándar

v: Velocidad media

Cálculo del parámetro de escala c m/s:

$$c = v \left(\frac{1}{r \left(1 + \left(\frac{1}{k} \right) \right)} \right)$$

Dónde:

v: Velocidad media

r: Factor Gamma

k: Parámetro de forma

c. Calculo del Potencial Eólico:

Utilizando los valores de los parámetros de forma k y escala c en m/s, se procede a calcular el Potencial Eólico de la comunidad campesina de Huaracaca, con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencial eólico} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * r^2 * \pi$$

Dónde:

p: Densidad de la zona de estudio

v: Velocidad media (factor de escala c en m/s)

r: Radio del rotor del aerogenerador

La densidad se calculó según la siguiente fórmula:

$$\rho = 1,225 e^{\left[\left(\frac{-Z}{8435} \right) - \left(\frac{T-15}{288} \right) \right]}$$

Dónde:

Z: Altitud en msnm

T: Temperatura promedio

d. Elección del tipo de Aerogenerador

La elección del tipo de Aerogenerador, se hizo en función a las características del mismo y a la velocidad media del lugar, eligiéndose para fines de cálculo al modelo alemán BLACK 300, el cual presenta las siguientes características:

Tabla 1 Datos técnicos del aerogenerador BLACK 300

Datos técnicos

Hélice	3 hojas
Material	Carbon-Nylon
Diametro del Rotor	1.22 m
Generador	Permanente, Direct Drive
Voltaje	12V DC (24V, 48V disponible)
Rendimiento a 9.36 m/s	343 W (max. 450W a 12m/s)
Velocidad mínima para cargar	1.8 m/s
Peso del Generador	15 kg
Medidas y peso del paquete	70 cm X 40 cm X 21cm (18kg)
Garantía	2 años

Fuente: www.DeltaVolt

e. Cálculo de la cantidad de energía/año

Con el dato calculado del Potencial Eólico (W/m²) en la zona de estudio, es posible saber cuánta energía se obtendrá en un año en Kw/H/m². Realizando la siguiente operación:

Dónde:

$$ET = \left(P \cdot \frac{8760}{1000} \right)$$

P: Potencial eólico

f. Procesamiento de los datos de consumo eléctrico

Cálculo de emisión de CO₂

Con los datos proporcionados por la empresa Electrocentro S.A., se procede a calcular a cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera en el periodo 2017.

Para lo cual se utiliza la aplicación en línea CERO CO₂ de La ONG para consumo eléctrico, en el cual se ingresa el consumo en Kw/h y se obtiene la cantidad de emisión de CO₂ al año en TnCO₂/año

Figura 12 Cálculo de emisión de CO₂

Cálculo de Huella de Carbono por consumo eléctrico

1. Consumo eléctrico

Introduzca su consumo de electricidad (en kWh.).

kWh kWh

¿Tienes energía verde contratada? No Sí

2. Resultado

El resultado de su consumo eléctrico es de: 0 Kg de CO₂ eq

Hacer otro cálculo

Fuente: www.ceroco2.org/calculadoras/electrico

3.5. Técnicas e Instrumentos de la Recolección de Datos.

Técnica

Recolección de información

Se recopiló información de textos bibliográficos y otras investigaciones. Se solicitó a la Empresa Minera El Brocal S.A. los

datos meteorológicos correspondientes al año 2017 de su estación de monitoreo ubicado en la comunidad campesina de Huaraucaca.

Además, se solicitó por escrito a la empresa Electro centro S.A. las tarifas de luz y consumo correspondientes al año 2017, de la población correspondiente a la comunidad campesina de Huaraucaca.

Instrumento

Datos meteorológicos: Proporcionados por la empresa minera Brocal S.A., correspondientes a la estación meteorológica ubicada en el entorno de la comunidad campesina de Huaraucaca.

Registro de consumo de electricidad: Proporcionado por Electrocentro S.A., considerando el consumo de electricidad de toda la comunidad campesina de Huaraucaca, del año 2017.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Software Excel: Se utilizó este programa para realizar los cálculos y gráficos estadísticos respectivos.

WRPLOT: Se utilizó este programa, para el diseño de las rosas de vientos de cada mes y el correspondiente al año 2017.

3.7. Tratamiento Estadístico de Datos

Medidas de tendencia central

Media: Calculando las velocidades promedio por mes y año.

Mediana: Hallando el valor de la variable en posición central.

Moda: Hallando el valor de la velocidad que más se repite por mes y año.

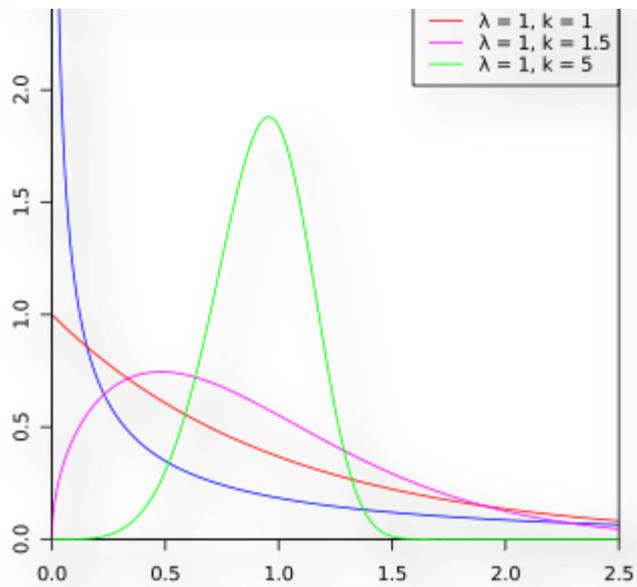
Medidas de dispersión

Desviación Estándar: Con la cual se podrán determinar que tan dispersos están los datos con respecto a media.

Distribución de Weibull

En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua.

Figura 13 Probabilidad continua - distribución Weibull.



Fuente: wikipedia.org/wiki/DistribucióndeWeibull

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tratamiento Estadístico e Interpretación de Cuadros.

Enero 2017

Análisis Estadístico

Tabla 2 Análisis estadístico 1 de enero 2017.

(1.6;3.37)	2.485	276	42	276	0.417549168	0.417549168	685.86	13.8329978	3817.907394
(3.7;5.14)	4.42	96	15	372	0.145234493	0.562783661	424.32	3.183633092	305.6287768
(5.14;6.91)	6.025	66	10	438	0.099848714	0.662632375	397.65	0.032139105	2.121180946
(6.91;8.68)	7.795	61	9	499	0.092284418	0.754916793	475.495	2.530409756	154.3549951
(8.68;10.45)	9.565	39	6	538	0.059001513	0.813918306	373.035	11.29448041	440.4847358
(10.45;12.22)	11.335	33	5	571	0.049924357	0.863842663	374.055	26.32435106	868.7035849
(12.22;13.99)	13.105	29	4	600	0.04387292	0.907715582	380.045	47.62002171	1380.98063
(13.99;15.76)	14.875	28	4	628	0.042360061	0.950075643	416.5	75.18149236	2105.081786
(15.76;17.53)	16.645	19	3	647	0.028744327	0.97881997	316.255	109.008763	2071.166497
(17.53;19.3)	18.415	14	2	661	0.02118003	1	257.81	149.1018337	2087.425671
		661	100		1		4101.025		13233.85525

Fuente: Elaboración propia

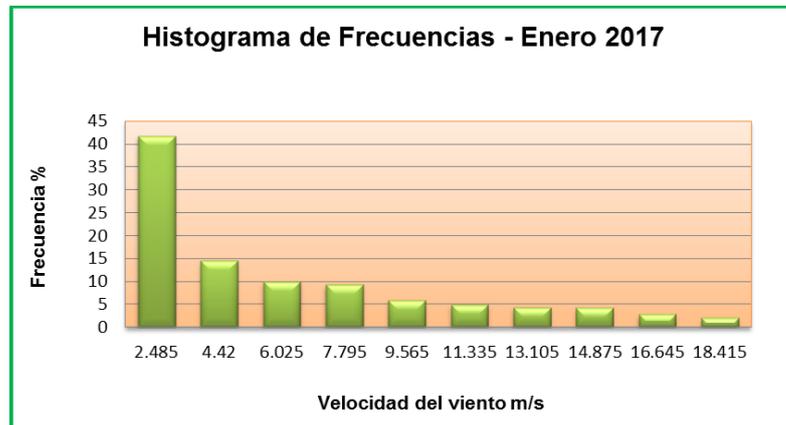
Tabla 3 Análisis estadístico 2 de enero 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
20.020961	4.474	71.11%	6.2042738	3.2	4.8

Fuente: Elaboración propia

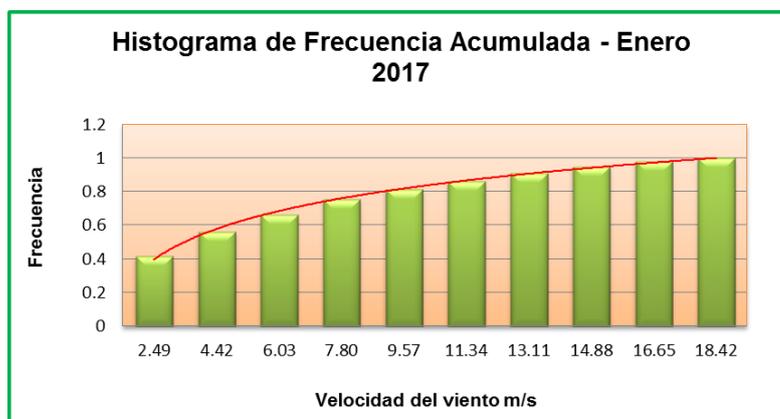
Se puede observar que, en el mes de enero 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 6.2 m/s, con una mediana de 4.8 m/s y una moda de velocidad del viento de 3.2 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 71.11%, indicándonos que los datos son heterogéneos y muy variantes.

Figura 14 Histograma de frecuencias enero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Histograma de frecuencia acumulada enero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Febrero 2017

Análisis Estadístico

Tabla 4 Análisis estadístico 1 febrero 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*)2	(x-x*)2.f
(1.6;3.37)	2.485	248	41	248	0.411276949	0.411276949	616.28	13.59664725	3371.968518
(3.7;5.14)	4.42	88	15	336	0.145936982	0.55721393	388.96	3.070776729	270.2283521
(5.14;6.91)	6.025	70	12	406	0.116086235	0.673300166	421.75	0.021715908	1.520113562
(6.91;8.68)	7.795	52	9	458	0.086235489	0.759535655	405.34	2.632950236	136.9134123
(8.68;10.45)	9.565	40	7	498	0.066334992	0.825870647	382.6	11.50998456	460.3993826
(10.45;12.22)	11.335	28	5	526	0.046434494	0.872305141	317.38	26.65281889	746.278929
(12.22;13.99)	13.105	24	4	550	0.039800995	0.912106136	314.52	48.06145322	1153.474877
(13.99;15.76)	14.875	24	4	574	0.039800995	0.951907131	357	75.73588755	1817.661301
(15.76;17.53)	16.645	9	1	583	0.014925373	0.966832504	149.805	109.6761219	987.0850969
(17.53;19.3)	18.415	20	3	603	0.033167496	1	368.3	149.8821562	2997.643124
		603	100		1		3721.935		11943.17311

Fuente: Elaboración propia

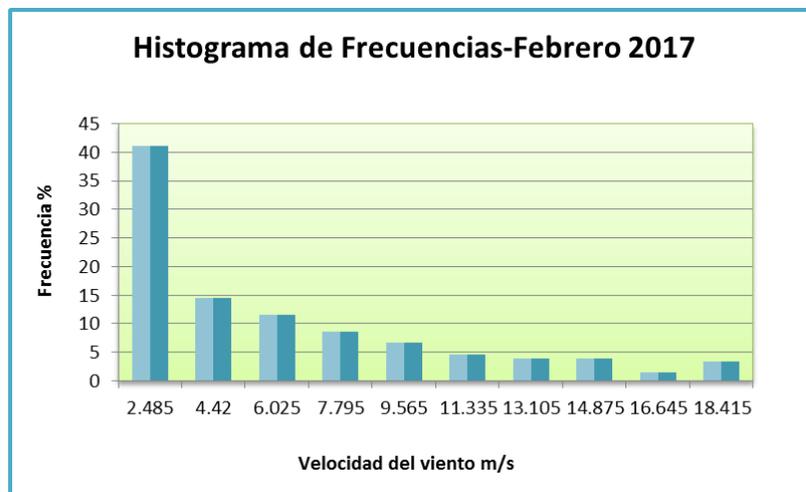
Tabla 5 Análisis estadístico 2 febrero 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv) %	Media	Moda	Mediana
19.80625723	4.45042214	72	6.17237	3.2	4.8

Fuente: Elaboración propia

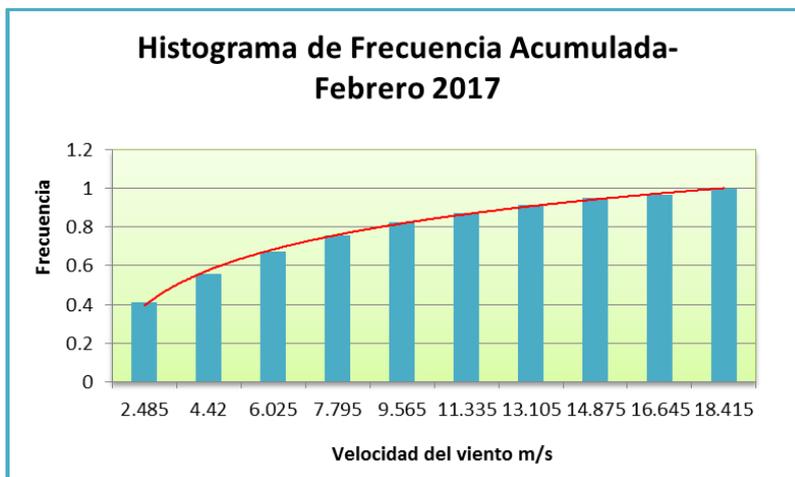
Se puede observar que, en el mes de febrero 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 6.17 m/s, con una mediana de 4.8 m/s y una moda de velocidad del viento de 3.2 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 72%, indicándonos que los datos son heterogéneos y muy variantes.

Figura 16 Histograma de frecuencias febrero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Histograma de frecuencia acumulada febrero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Marzo 2017

Análisis Estadístico

Tabla 6 Análisis estadístico 1 marzo 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.6;3.57)	2.585	153	40	153	0.402631579	0.402631579	395.505	12.17293737	1862.459417
(3.57;5.54)	4.555	62	16	215	0.163157895	0.565789474	282.41	2.307281053	143.0514253
(5.54;7.51)	6.525	44	12	259	0.115789474	0.681578947	287.1	0.203424738	8.950688452
(7.51;9.48)	8.495	39	10	298	0.102631579	0.784210526	331.305	5.861368422	228.5933684
(9.48;11.45)	10.465	45	12	343	0.118421053	0.902631579	470.925	19.28111211	867.6500448
(11.45;13.42)	12.435	14	4	357	0.036842105	0.939473684	174.09	40.46265579	566.4771811
(13.42;15.39)	14.405	11	3	368	0.028947368	0.968421053	158.455	69.40599947	763.4659942
(15.39;17.36)	16.375	6	2	374	0.015789474	0.984210526	98.25	106.1111432	636.666859
(17.36;19.33)	18.345	6	2	380	0.015789474	1	110.07	150.5780868	903.4685211
		380					2308.11		5980.7835

Fuente: Elaboración propia

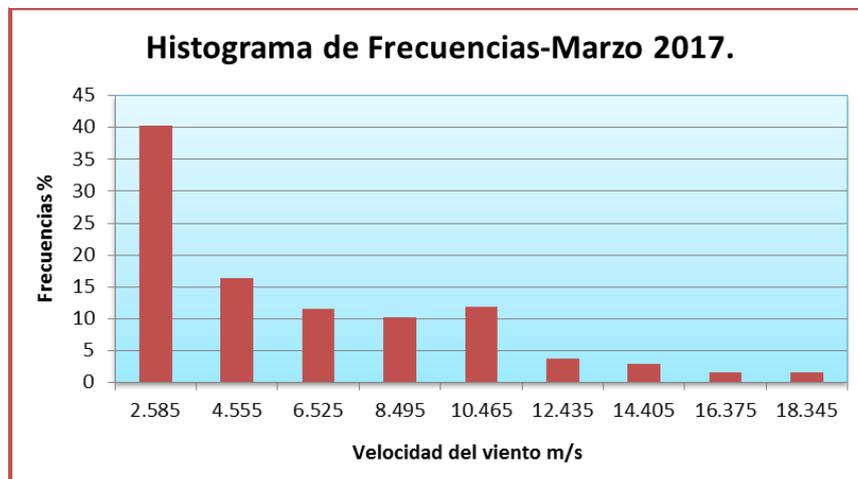
Tabla 7 Análisis estadístico 2 marzo 2017

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
15.73890395	3.967228749	65.31521135	6.0739368	3.2	4.8

Fuente: Elaboración propia

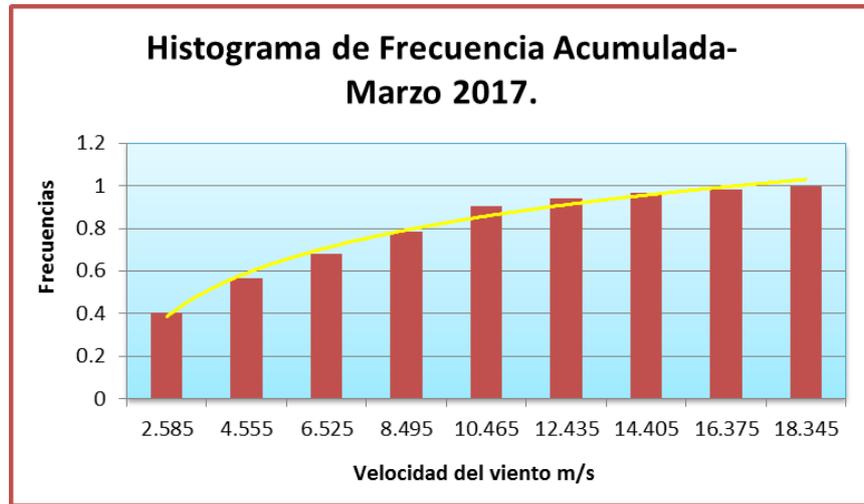
Se puede observar que, en el mes de marzo 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 6.07 m/s, con una mediana de 4.8 m/s y una moda de velocidad del viento de 3.2 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 65%, indicándonos que los datos son heterogéneos y muy variantes.

Figura 18 Histograma de frecuencias marzo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Histograma de frecuencia acumulada marzo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Abril 2017

Análisis Estadístico

Tabla 8 Análisis estadístico 1 abril 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada (F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.6;3.37)	2.485	267	39	267	0.388081395	0.388081395	663.495	14.50065368	3871.674531
(3.7;5.14)	4.42	109	16	376	0.158430233	0.546511628	481.78	3.50802555	382.374785
(5.14;6.91)	6.025	86	13	462	0.125	0.671511628	518.15	0.071809198	6.175591066
(6.91;8.68)	7.795	55	8	517	0.07994186	0.751453488	428.725	2.25608696	124.0847828
(8.68;10.45)	9.565	33	5	550	0.047965116	0.799418605	315.645	10.70616472	353.3034358
(10.45;12.22)	11.335	42	6	592	0.061046512	0.860465116	476.07	25.42204248	1067.725784
(12.22;13.99)	13.105	38	6	630	0.055232558	0.915697674	497.99	46.40372024	1763.341369
(13.99;15.76)	14.875	26	4	656	0.037790698	0.953488372	386.75	73.65119801	1914.931148
(15.76;17.53)	16.645	16	2	672	0.023255814	0.976744186	266.32	107.1644758	1714.631612
(17.53;19.3)	18.415	16	2	688	0.023255814	1	294.64	146.9435535	2351.096856
		688					4329.565		13549.3399

Fuente: Elaboración propia

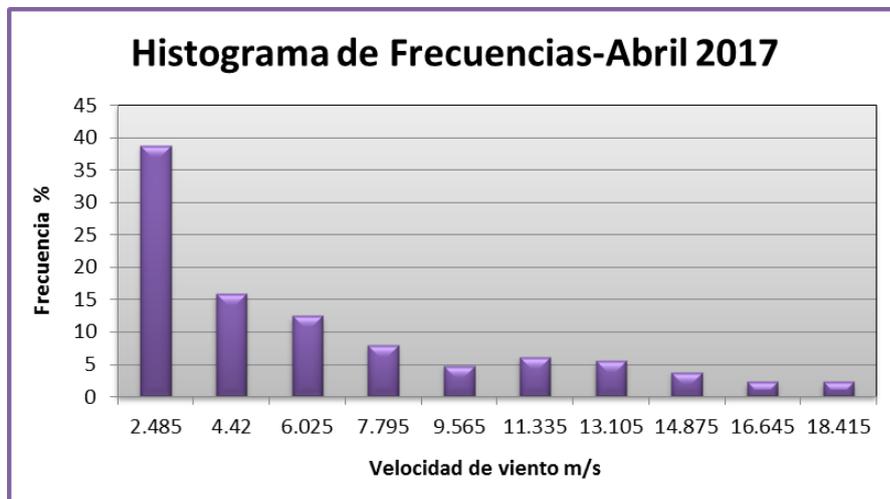
Tabla 9 Análisis estadístico 2 marzo 2017.

Varianza (r ²)	Desviación estandar(r)	Coficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
19.69380799	4.43777061	70.51915796	6.293	3.2	4.8

Fuente: Elaboración propia

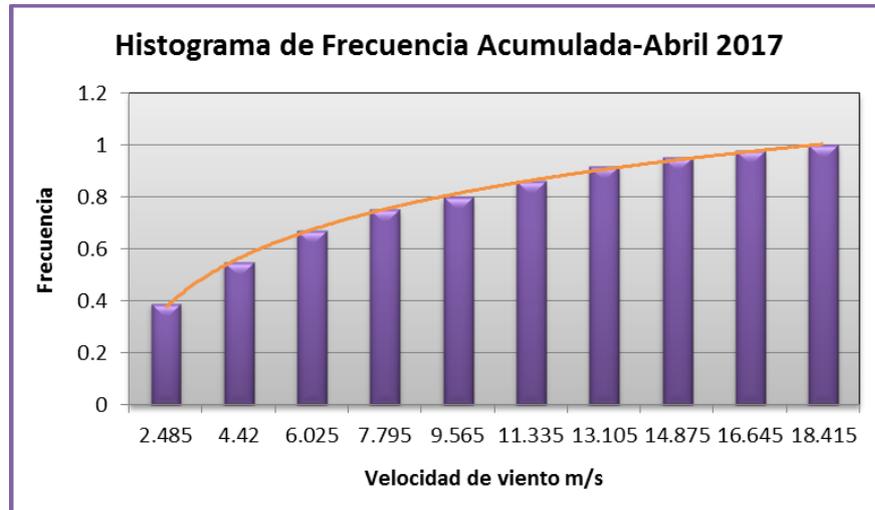
Se puede observar que, en el mes de abril 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 6.2 m/s, con una mediana de 4.8 m/s y una moda de velocidad del viento de 3.2 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 70%, indicándonos que los datos son heterogéneos y muy variantes.

Figura 20 Histograma de frecuencias abril 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Histograma de frecuencia acumulada abril 2017.



Fuente: Elaboración propia

Mayo 2017

Análisis Estadístico

Tabla 10 Análisis estadístico 1 mayo 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(0.4;0.99)	0.695	247	33.7	247	0.337431694	0.337431694	171.665	1.267869847	313.1638522
(0.99;1.58)	1.285	163	22.3	410	0.222677596	0.56010929	209.455	0.287293071	46.82877058
(1.58;2.17)	1.875	85	11.6	495	0.116120219	0.676229508	159.375	0.002916295	0.247885083
(2.17;2.76)	2.465	98	13.4	593	0.133879781	0.81010929	241.57	0.414739519	40.64447288
(2.76;3.35)	3.055	35	4.8	628	0.047814208	0.857923497	106.925	1.522762743	53.29669601
(3.35;3.94)	3.645	32	4.4	660	0.043715847	0.901639344	116.64	3.326985967	106.463551
(3.94;4.53)	4.235	49	6.7	709	0.066939891	0.968579235	207.515	5.827409191	285.5430504
(4.53;5.12)	4.825	14	1.9	723	0.019125683	0.987704918	67.55	9.024032415	126.3364538
(5.12;5.71)	5.415	3	0.4	726	0.004098361	0.991803279	16.245	12.91685564	38.75056692
(5.71;6.3)	6.005	6	0.8	732	0.008196721	1	36.03	17.50587886	105.0352732
		732					1332.97		1116.310572

Fuente: Elaboración propia

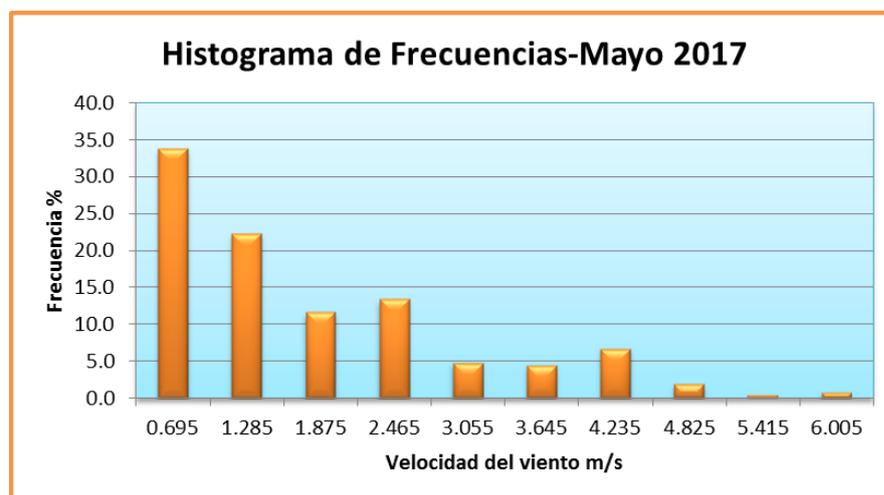
Tabla 11 Análisis estadístico 2 mayo 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
1.525014443	1.234914751	67.81519776	1.821	1.3	1.3

Fuente: Elaboración propia

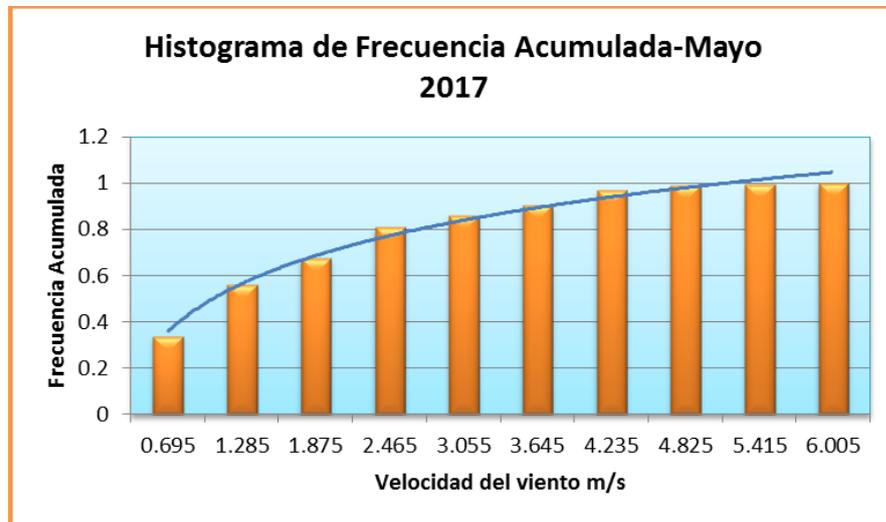
Se puede observar que, en el mes de mayo 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 1.8 m/s, con una mediana de 1.3 m/s y una moda de velocidad del viento de 1.3 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 67%, indicándonos que los datos son heterogéneos y muy variantes.

Figura 22 Histograma de frecuencias mayo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Histograma de frecuencia acumulada mayo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Junio 2017

Análisis Estadístico

Tabla 12 Análisis estadístico 1 junio 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.3;2.8)	2.05	200	8	200	0.079968013	0.079968013	410	48.72051164	9744.102327
(2.8;4.3)	3.55	282	11	482	0.112754898	0.192722911	1001.1	30.03048765	8468.597516
(4.3;5.8)	5.05	298	12	780	0.119152339	0.31187525	1504.9	15.84046365	4720.458169
(5.8;7.3)	6.55	254	10	1034	0.101559376	0.413434626	1663.7	6.150439664	1562.211675
(7.3;8.8)	8.05	261	10	1295	0.104358257	0.517792883	2101.05	0.960415674	250.6684909
(8.8;10.3)	9.55	243	10	1538	0.097161136	0.614954018	2320.65	0.270391683	65.70517906
(10.3;11.8)	11.05	225	9	1763	0.089964014	0.704918033	2486.25	4.080367693	918.0827309
(11.8;13.3)	12.55	191	8	1954	0.076369452	0.781287485	2397.05	12.3903437	2366.555647
(13.3;14.8)	14.05	173	7	2127	0.069172331	0.850459816	2430.65	25.20031971	4359.65531
(14.8;16.3)	15.55	161	6	2288	0.06437425	0.914834066	2503.55	42.51029572	6844.157611
(16.3;17.8)	17.05	124	5	2412	0.049580168	0.964414234	2114.2	64.32027173	7975.713695
(17.8;19.3)	18.55	89	4	2501	0.035585766	1	1650.95	90.63024774	8066.092049
		2501					22584.05		55342.0004

Fuente: Elaboración propia

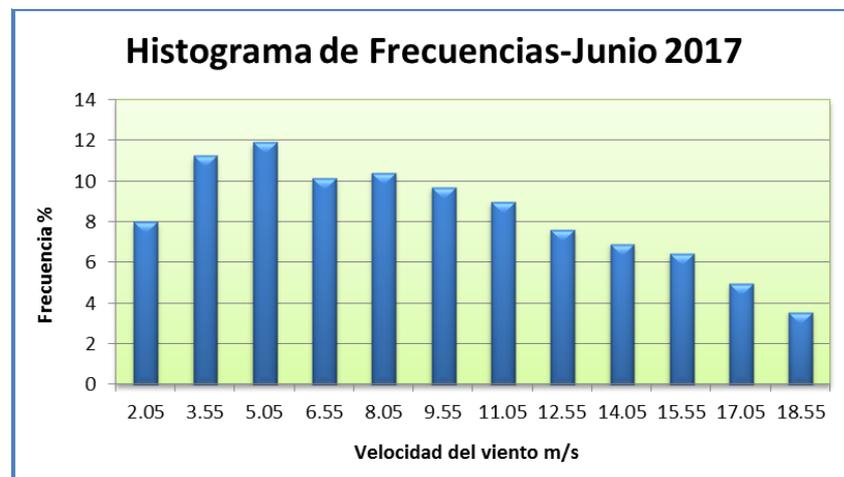
Tabla 13 Análisis estadístico 2 junio 2017.

Fuente: Elaboración propia

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
22.12794898	4.704035393	52.09341521	9.03	4.8	8

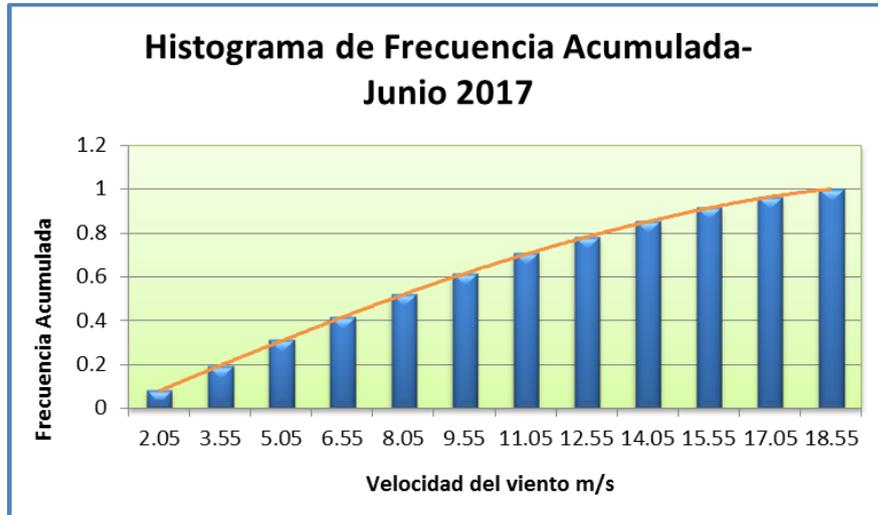
Se puede observar que, en el mes de junio 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 9.03 m/s, con una mediana de 8 m/s y una moda de velocidad del viento de 4.8 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 52%, indicándonos que los datos son heterogéneos y variables

Figura 24 Histograma de frecuencias junio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Histograma de frecuencia acumulada junio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Julio 2017

Análisis Estadístico

Tabla 14 Análisis estadístico 1 julio 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada (F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.6;3.075)	2.3375	189	8	189	0.075751503	0.075751503	441.7875	45.97913449	8690.056419
(3.075;4.55)	3.8125	274	11	463	0.109819639	0.185571142	1044.625	28.15142432	7713.490265
(4.55;6.025)	5.2875	293	12	756	0.11743487	0.303006012	1549.2375	14.67496415	4299.764497
(6.025;7.5)	6.7625	290	12	1046	0.116232465	0.419238477	1961.125	5.549753983	1609.428655
(7.5;8.975)	8.2375	305	12	1351	0.122244489	0.541482966	2512.4375	0.775793813	236.617113
(8.975;10.45)	9.7125	270	11	1621	0.108216433	0.649699399	2622.375	0.353083643	95.33258351
(10.45;11.925)	11.1875	191	8	1812	0.076553106	0.726252505	2136.8125	4.281623472	817.7900832
(11.925;13.4)	12.6625	157	6	1969	0.062925852	0.789178357	1988.0125	12.5614133	1972.141888
(13.4;14.875)	14.1375	160	6	2129	0.064128257	0.853306613	2262	25.19245313	4030.792501
(14.875;16.35)	15.6	132	5	2261	0.052905812	0.906212425	2059.2	42.012544	5545.655808
(16.35;17.825)	17.0875	116	5	2377	0.046492986	0.952705411	1982.15	63.50828279	7366.960804
(17.825;19.3)	18.5625	118	5	2495	0.047294589	1	2190.375	89.19307262	10524.78257
		2495					22750.1375		52902.81319

Fuente: Elaboración propia

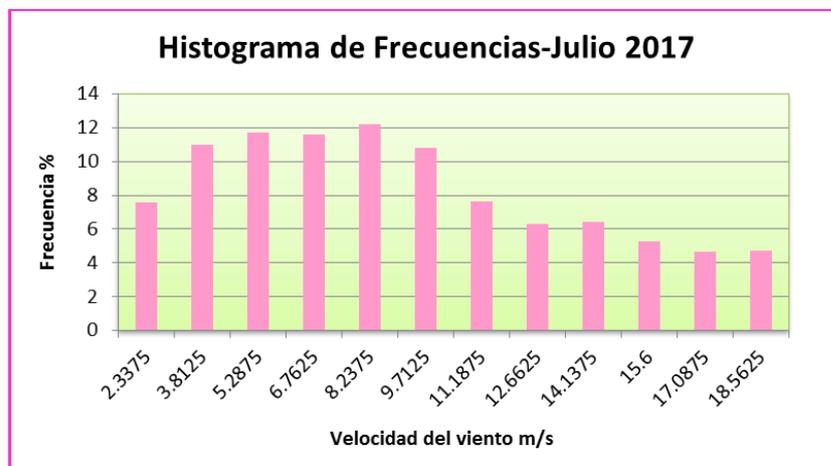
Tabla 15 Análisis estadístico 2 julio 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
21.20353234	4.604729345	50.4998667	9.1183	8	8

Fuente: Elaboración propia

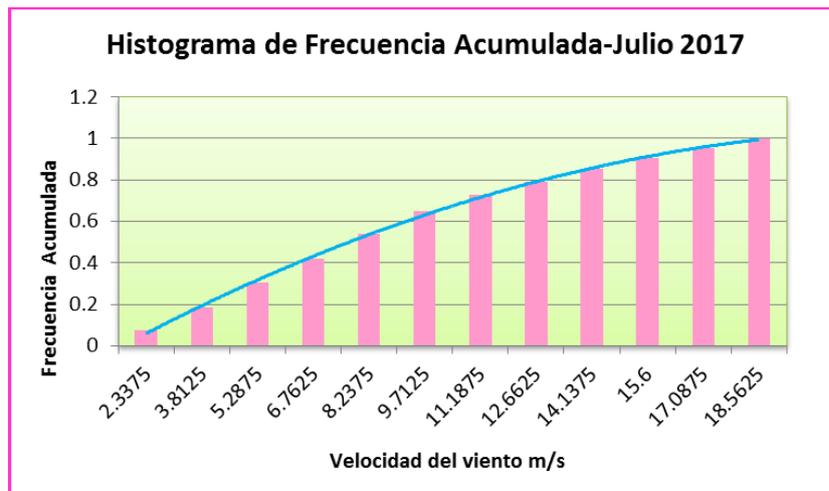
Se puede observar que en el mes de julio 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 9.11 m/s, con una mediana de 8 m/s y una moda de velocidad del viento de 8 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 50%, indicándonos que los datos son heterogéneos y variables.

Figura 26 Histograma de frecuencias julio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Histograma de frecuencia acumulada julio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Agosto 2017

Análisis Estadístico

Tabla 16 Análisis estadístico 1 agosto 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*)2	(x-x*)2.f
(1.6;3.075)	2.3375	160	7	160	0.066362505	0.066362505	374	49.24695076	7879.512122
(3.075;4.55)	3.8125	201	8	361	0.083367897	0.149730402	766.3125	30.72060511	6174.841627
(4.55;6.025)	5.2875	248	10	609	0.102861883	0.252592285	1311.3	16.54550945	4103.286344
(6.025;7.5)	6.7625	292	12	901	0.121111572	0.373703857	1974.65	6.721663797	1962.725829
(7.5;8.975)	8.2375	298	12	1199	0.123600166	0.497304023	2454.775	1.249068142	372.2223062
(8.975;10.45)	9.7125	296	12	1495	0.122770635	0.620074658	2874.9	0.127722486	37.80585593
(10.45;11.925)	11.1875	250	10	1745	0.103691414	0.723766072	2796.875	3.357626831	839.4067077
(11.925;13.4)	12.6625	194	8	1939	0.080464538	0.80423061	2456.525	10.93878118	2122.123548
(13.4;14.875)	14.1375	149	6	2088	0.061800083	0.866030693	2106.4875	22.87118552	3407.806643
(14.875;16.35)	15.6	138	6	2226	0.057237661	0.923268353	2152.8	38.99856154	5381.801493
(16.35;17.825)	17.0875	100	4	2326	0.041476566	0.964744919	1708.75	59.78974421	5978.974421
(17.825;19.3)	18.5625	85	4	2411	0.035255081	1	1577.8125	84.77589855	7205.951377
		2411					22555.1875		45466.45827

Fuente: Elaboración propia

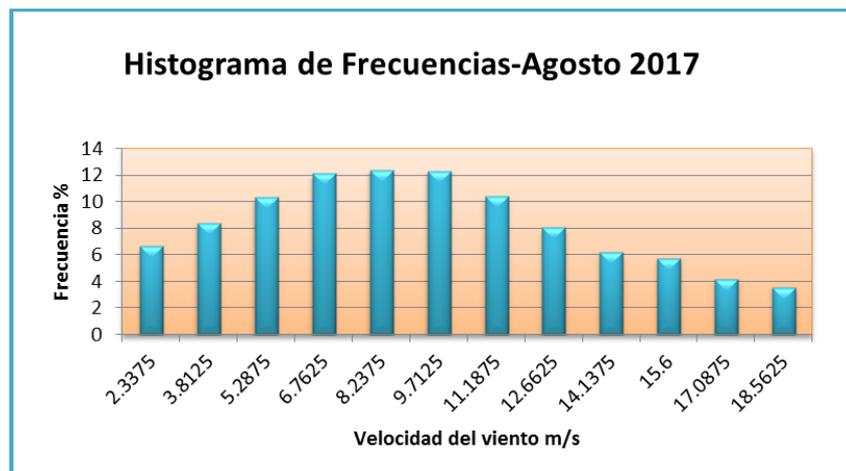
Tabla 17 Análisis estadístico 2 agosto 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
18.85792546	4.342571295	46.41929317	9.3551	8	9.7

Fuente: Elaboración propia

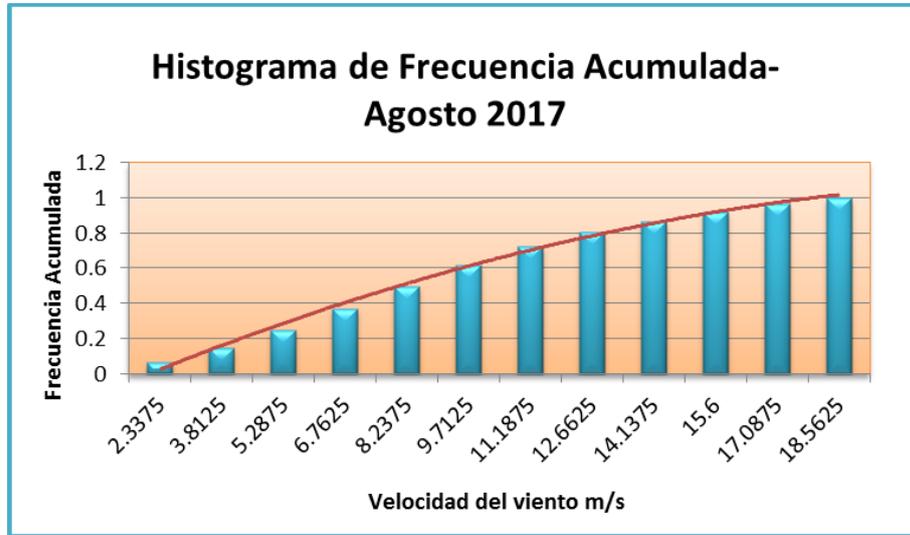
Se puede observar que, en el mes de agosto 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 9.3 m/s, con una mediana de 9.7 m/s y una moda de velocidad del viento de 8 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 46%, indicándonos que los datos son medianamente heterogéneos y variables

Figura 28 Histograma de frecuencias agosto 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Histograma de frecuencia acumulada agosto 2017.



Fuente: Elaboración propia

Setiembre 2017

Análisis Estadístico

Tabla 18 Análisis estadístico 1 setiembre 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.6;3.075)	2.3375	198	9	198	0.088590604	0.088590604	462.825	46.7358052	9253.68943
(3.075;4.55)	3.8125	237	11	435	0.106040268	0.194630872	903.5625	28.74417097	6812.368521
(4.55;6.025)	5.2875	272	12	707	0.121700224	0.316331096	1438.2	15.10378675	4108.229995
(6.025;7.5)	6.7625	242	11	949	0.108277405	0.424608501	1636.525	5.814652518	1407.145909
(7.5;8.975)	8.2375	242	11	1191	0.108277405	0.532885906	1993.475	0.87676829	212.1779262
(8.975;10.45)	9.7125	204	9	1395	0.091275168	0.624161074	1981.35	0.290134062	59.18734861
(10.45;11.925)	11.1875	186	8	1581	0.083221477	0.70738255	2080.875	4.054749834	754.1834691
(11.925;13.4)	12.6625	158	7	1739	0.070693512	0.778076063	2000.675	12.17061561	1922.957266
(13.4;14.875)	14.1375	140	6	1879	0.062639821	0.840715884	1979.25	24.63773138	3449.282393
(14.875;16.35)	15.6	139	6	2018	0.062192394	0.902908277	2168.4	41.29528738	5740.044945
(16.35;17.825)	17.0875	115	5	2133	0.051454139	0.954362416	1965.0625	62.62571292	7201.956986
(17.825;19.3)	18.5625	102	5	2235	0.045637584	1	1893.375	344.5664063	35145.77344
		2235					20503.575		76066.99763

Fuente: Elaboración propia

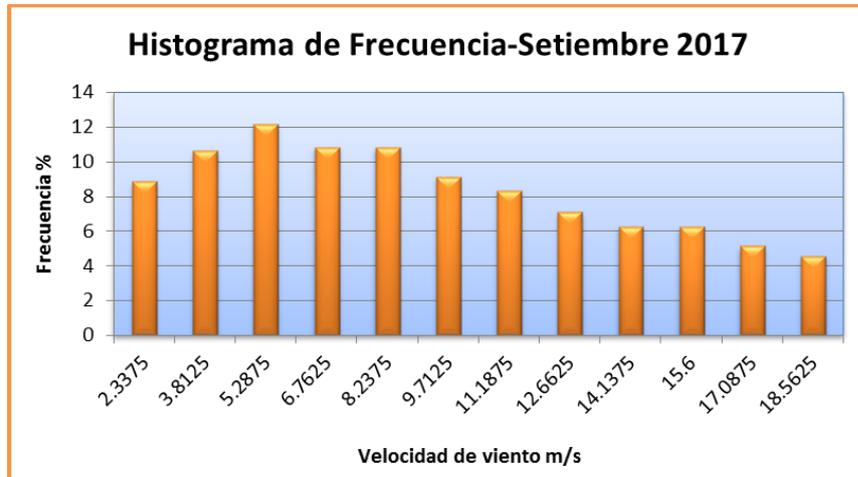
Tabla 19 Análisis estadístico 2 setiembre 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
34.03445084	5.833905282	63.59242287	9.1739	4.8	8

Fuente: Elaboración propia

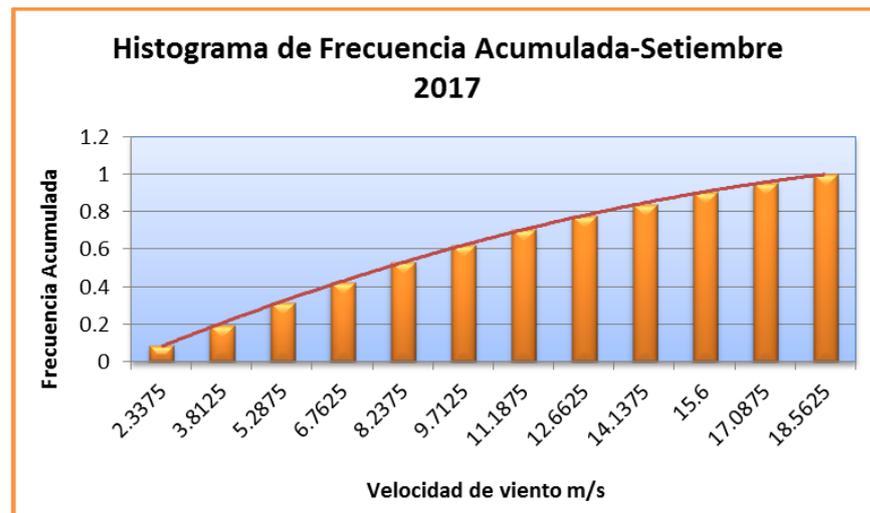
Se puede observar que en el mes de setiembre 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 9.17 m/s, con una mediana de 8 m/s y una moda de velocidad del viento de 4.8 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 63%, indicándonos que los datos son heterogéneos y variables

Figura 30 Histograma de frecuencias setiembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Histograma de frecuencia acumulada setiembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Octubre 2017

Análisis Estadístico

Tabla 20 Análisis estadístico 1 octubre 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.6;3.075)	2.3375	188	9	188	0.085338175	0.085338175	439.45	47.46595456	8923.599457
(3.075;4.55)	3.8125	217	10	405	0.098502043	0.183840218	827.3125	29.31739521	6361.87476
(4.55;6.025)	5.2875	256	12	661	0.116205175	0.300045393	1353.6	15.52008585	3973.141979
(6.025;7.5)	6.7625	260	12	921	0.118020881	0.418066273	1758.25	6.074026504	1579.246891
(7.5;8.975)	8.2375	232	11	1153	0.10531094	0.523377213	1911.1	0.979217153	227.1783795
(8.975;10.45)	9.7125	208	9	1361	0.094416704	0.617793917	2020.2	0.235657802	49.01682285
(10.45;11.925)	11.1875	196	9	1557	0.088969587	0.706763504	2192.75	3.843348451	753.2962965
(11.925;13.4)	12.6625	168	8	1725	0.076259646	0.78302315	2127.3	11.8022891	1982.784569
(13.4;14.875)	14.1375	150	7	1875	0.06808897	0.85111212	2120.625	24.11247975	3616.871962
(14.875;16.35)	15.6	123	6	1998	0.055832955	0.906945075	1918.8	40.6144405	4995.576181
(16.35;17.825)	17.0875	100	5	2098	0.045392646	0.952337721	1708.75	61.78661105	6178.661105
(17.825;19.3)	18.5625	105	5	2203	0.047662279	1	1949.0625	87.1505517	9150.807928
		2203					20327.2		47792.05633

Fuente: Elaboración propia

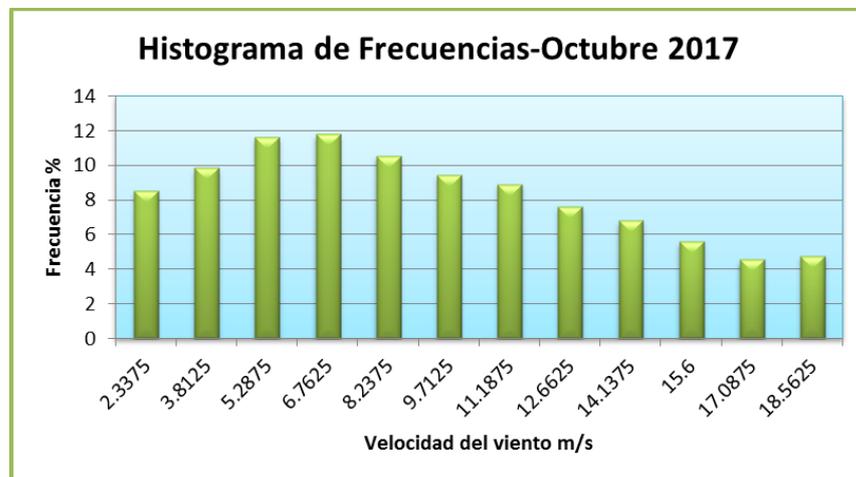
Tabla 21 Análisis estadístico 2 octubre 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
21.69407913	4.657690322	50.47892405	9.227	6.4	8

Fuente: Elaboración propia

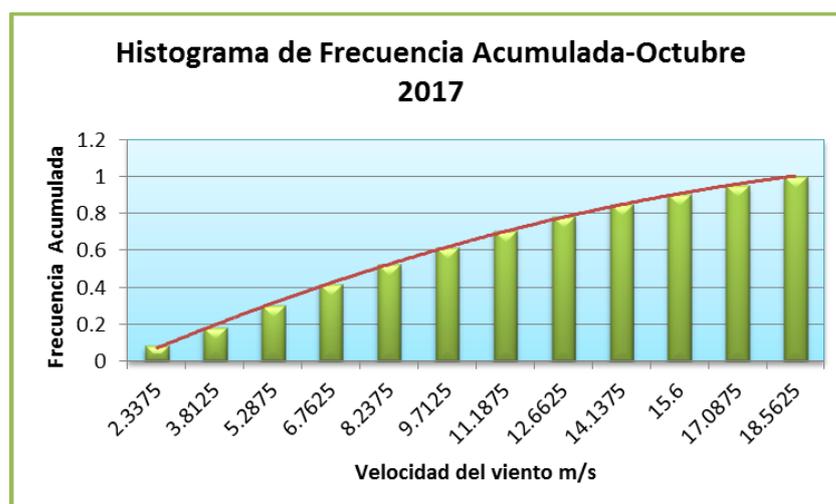
Se puede observar que, en el mes de octubre 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 9.2 m/s, con una mediana de 8 m/s y una moda de velocidad del viento de 6.4 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 50%, indicándonos que los datos son medianamente heterogéneos y variables.

Figura 32 Histograma de frecuencias octubre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Histograma de frecuencia acumulada octubre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Noviembre 2017

Análisis Estadístico

Tabla 22 Análisis estadístico 1 noviembre 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*)2	(x-x*)2.f
(1.6;3.075)	2.3375	240	11	240	0.107913669	0.107913669	561	38.05243643	9132.584742
(3.075;4.55)	3.8125	244	11	484	0.10971223	0.217625899	930.25	22.03049763	5375.441422
(4.55;6.025)	5.2875	302	14	786	0.135791367	0.353417266	1596.825	10.35980884	3128.66227
(6.025;7.5)	6.7625	270	12	1056	0.121402878	0.474820144	1825.875	3.040370047	820.8999127
(7.5;8.975)	8.2375	255	11	1311	0.114658273	0.589478417	2100.5625	0.072181254	18.40621985
(8.975;10.45)	9.7125	216	10	1527	0.097122302	0.686600719	2097.9	1.455242462	314.3323717
(10.45;11.925)	11.1875	176	8	1703	0.079136691	0.76573741	1969	7.189553669	1265.361446
(11.925;13.4)	12.6625	141	6	1844	0.063399281	0.829136691	1785.4125	17.27511488	2435.791198
(13.4;14.875)	14.1375	131	6	1975	0.058902878	0.888039568	1852.0125	31.71192608	4154.262317
(14.875;16.35)	15.6	107	5	2082	0.048111511	0.936151079	1669.2	50.32248518	5384.505915
(16.35;17.825)	17.0875	72	3	2154	0.032374101	0.96852518	1230.3	73.6392985	5302.029492
(17.825;19.3)	18.5625	70	3	2224	0.03147482	1	1299.375	101.1298597	7079.090179
		2224					18917.7125		44411.36748

Fuente: Elaboración propia

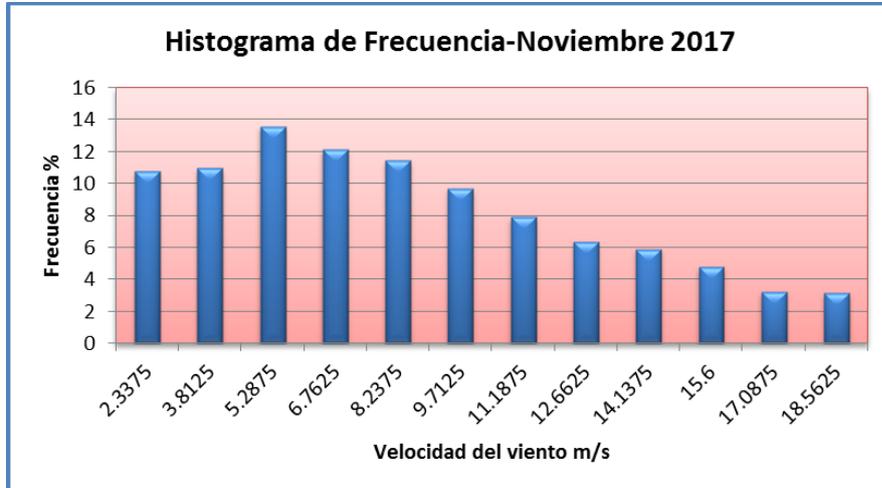
Tabla 23 Análisis estadístico 2 noviembre 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
19.96914006	4.468684376	52.53443813	8.5062	4.8	8

Fuente: Elaboración propia

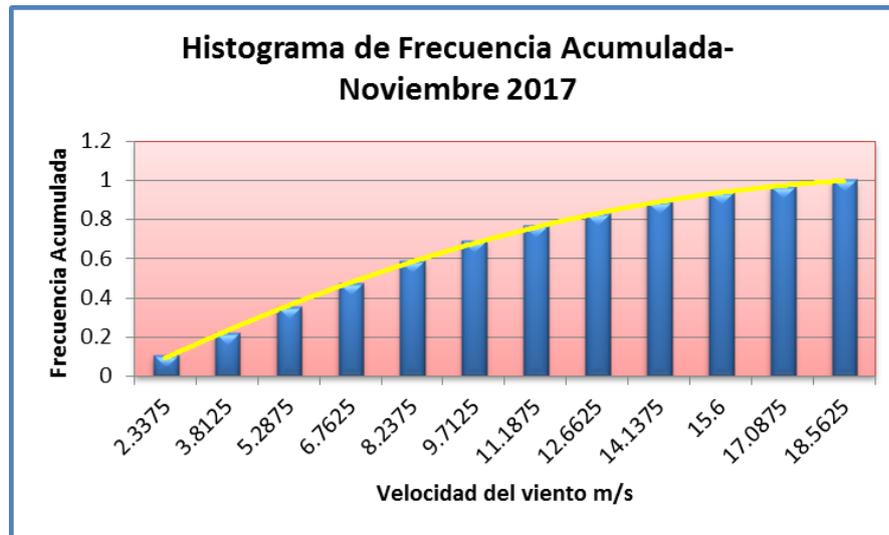
Se puede observar que, en el mes de noviembre 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 8.5 m/s, con una mediana de 8 m/s y una moda de velocidad del viento de 4.8 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 52%, indicándonos que los datos son medianamente heterogéneos y variables

Figura 34 Histograma de frecuencias noviembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Histograma de frecuencias acumuladas noviembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Diciembre 2017

Análisis Estadístico

Tabla 24 Análisis estadístico 1 diciembre 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(1.6;3.37)	2.485	155	16	155	0.160788382	0.160788382	385.175	49.20069263	7626.107358
(3.7;5.14)	4.42	99	10	254	0.102697095	0.263485477	437.58	25.79949714	2554.150217
(5.14;6.91)	6.025	119	12	373	0.123443983	0.386929461	716.975	12.07090321	1436.437482
(6.91;8.68)	7.795	103	11	476	0.106846473	0.493775934	802.885	2.904708501	299.1849756
(8.68;10.45)	9.565	82	9	558	0.085062241	0.578838174	784.33	0.004313792	0.353730906
(10.45;12.22)	11.335	96	10	654	0.099585062	0.678423237	1088.16	3.369719082	323.4930319
(12.22;13.99)	13.105	81	8	735	0.084024896	0.762448133	1061.505	13.00092437	1053.074874
(13.99;15.76)	14.875	59	6	794	0.06120332	0.823651452	877.625	28.89792966	1704.97785
(15.76;17.53)	16.645	72	7	866	0.074688797	0.898340249	1198.44	51.06073495	3676.372917
(17.53;19.3)	18.415	98	10	964	0.101659751	1	1804.67	79.48934024	7789.955344
		964					9157.345		26464.10778

Fuente: Elaboración propia

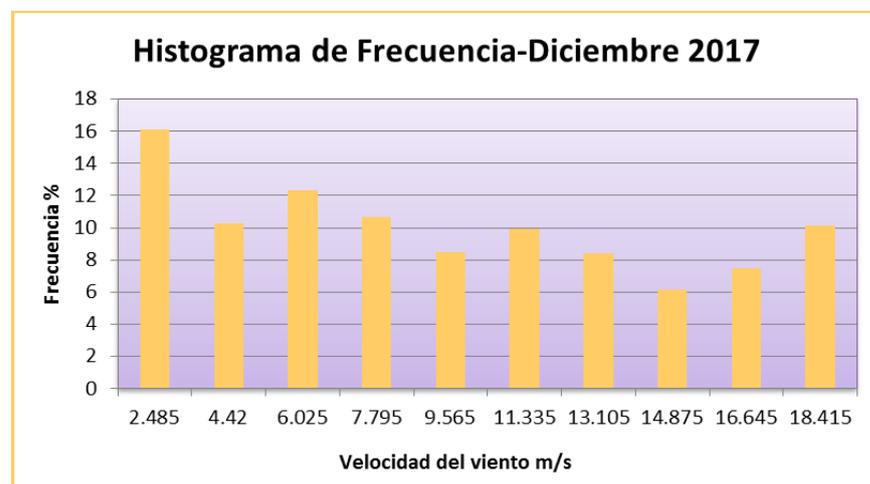
Tabla 25 Análisis estadístico 2 noviembre 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coefficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
27.45239396	5.239503217	55.15672962	9.4993	6.4	9.7

Fuente: Elaboración propia

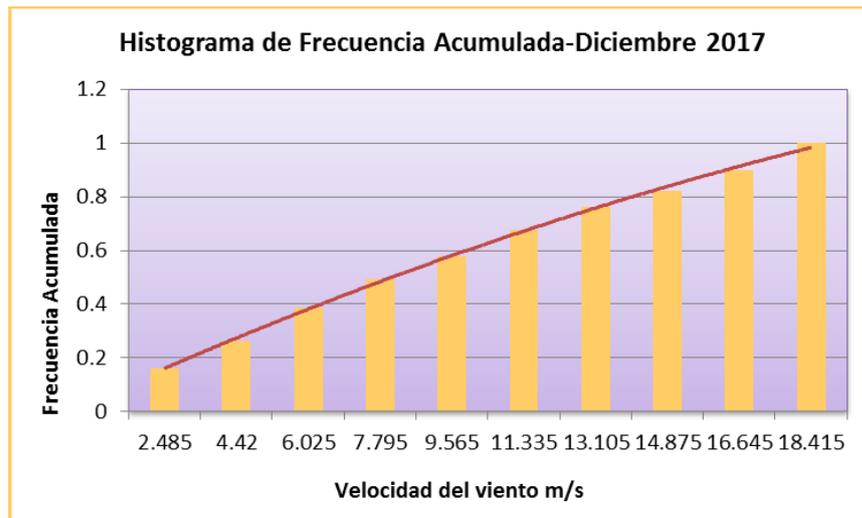
Se puede observar que, en el mes de diciembre 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 9.4 m/s, con una mediana de 9.7 m/s y una moda de velocidad del viento de 6.4 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 55%, indicándonos que los datos son medianamente heterogéneos y variables.

Figura 36 Histograma de frecuencias diciembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Histograma de frecuencia acumulada diciembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

AÑO - 2017

Análisis Estadístico

Tabla 26 Análisis estadístico 1 año 2017.

Intervalo de clase (vi)	Marca de clase (xi)	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia %	Frecuencia Absoluta Acumulada(F)	Frecuencia Relativa (fr)	Frecuencia Relativa Acumulada	xi.fi	(x-x*) ²	(x-x*) ² .f
(0.4;1.66)	1.03	2085	12	2085	0.115212466	0.115212466	2147.55	50.67974953	105667.2778
(1.66;2.92)	2.29	181	1	2266	0.010001658	0.125214124	414.49	34.32754235	6213.285166
(2.92;4.18)	3.55	2158	12	4424	0.119246284	0.244460408	7660.9	21.15053518	45642.85492
(4.18;5.44)	4.81	2154	12	6578	0.119025253	0.363485661	10360.74	11.14872801	24014.36013
(5.44;6.7)	6.07	1999	11	8577	0.110460297	0.473945958	12133.93	4.322120835	8639.91955
(7.96;9.22)	8.59	1903	11	10480	0.105155551	0.579101509	16346.77	0.19450649	370.1458514
(9.22;10.48)	9.85	1655	9	12135	0.091451622	0.67055313	16301.75	2.893499318	4788.741371
(10.48;11.74)	11.11	1444	8	13579	0.079792231	0.750345361	16042.84	8.767692146	12660.54746
(11.74;13)	12.37	1195	7	14774	0.066033044	0.816378405	14782.15	17.81708497	21291.41654
(14.26;15.52)	14.89	1051	6	15825	0.058075924	0.874454329	15649.39	45.44147063	47758.98563
(15.52;16.78)	16.15	922	5	16747	0.050947671	0.925402	14890.3	64.01646346	59023.17931
(16.78;18.04)	12.41	713	4	17460	0.039398795	0.964800796	8848.33	18.15636729	12945.48987
(18.04;19.3)	18.67	637	4	18097	0.035199204	1	11892.79	110.6920491	70510.83528
		18097					147471.93		419527.0388

Fuente: Elaboración propia

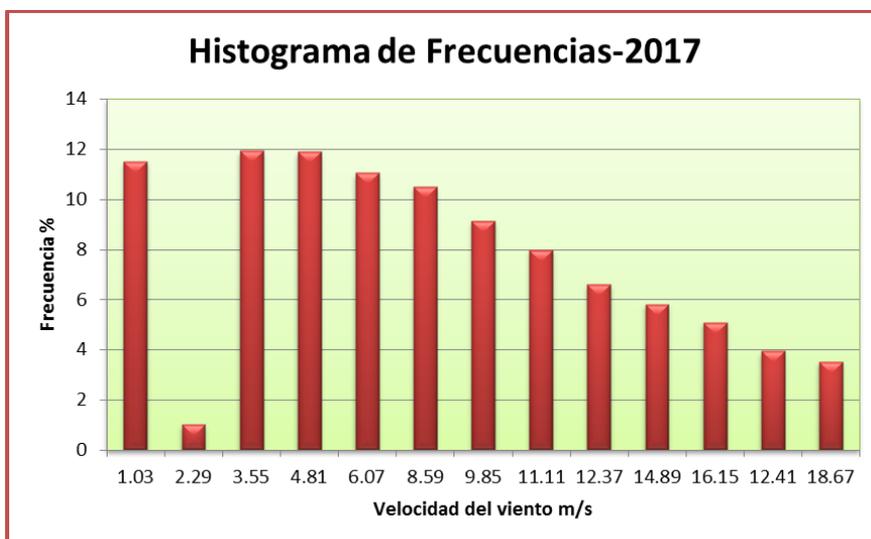
Tabla 27 Análisis estadístico 2 año 2017.

Varianza (r2)	Desviación estandar(r)	Coficiente de variación (Cv)	Media	Moda	Mediana
23.18213178	4.814782631	59.08433711	8.149	4.8	8

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en durante el periodo - 2017, se ha tenido una velocidad media del viento de 8.1 m/s, con una mediana de 8 m/s y una moda de velocidad del viento de 4.8 m/s. Además, un Coeficiente de Variación del 59%, indicándonos que los datos son heterogéneos y variables

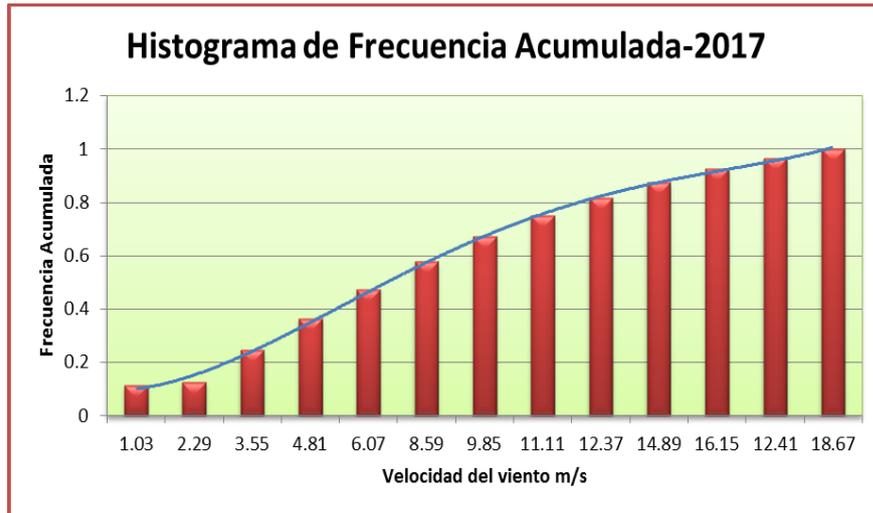
Figura 38 Histograma de frecuencias año 2017.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que hay gran variación de los datos con velocidad 2.29 m/s, ya que no se cuenta con suficiente registro y la cantidad de velocidades es mínima.

Figura 39 Histograma de frecuencia acumulada año 2017.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico revela que se trata de una función exponencial, presentando velocidades en función a su frecuencia, en forma ascendente.

4.2. Presentación de Resultados, Tablas, Gráficos, Figuras, etc.

Enero 2017

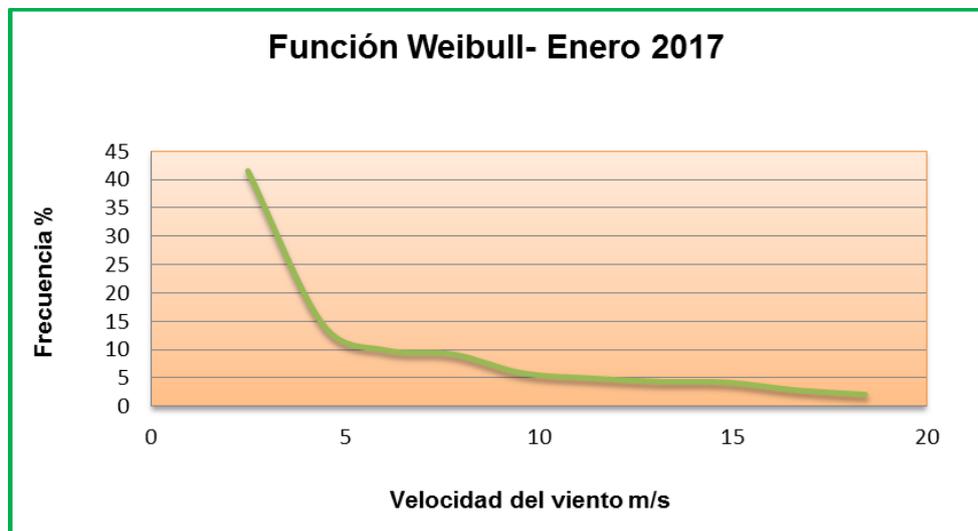
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 28 Interés eólico enero 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
1.4263	6.8265	0.76	141.53

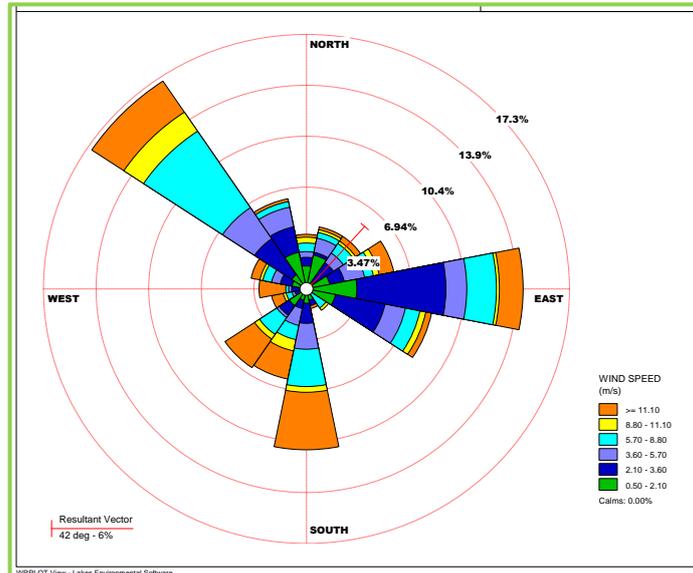
Fuente: Elaboración propia

Figura 40 Distribución Weibull enero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 41 Rosa de vientos enero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Febrero 2017

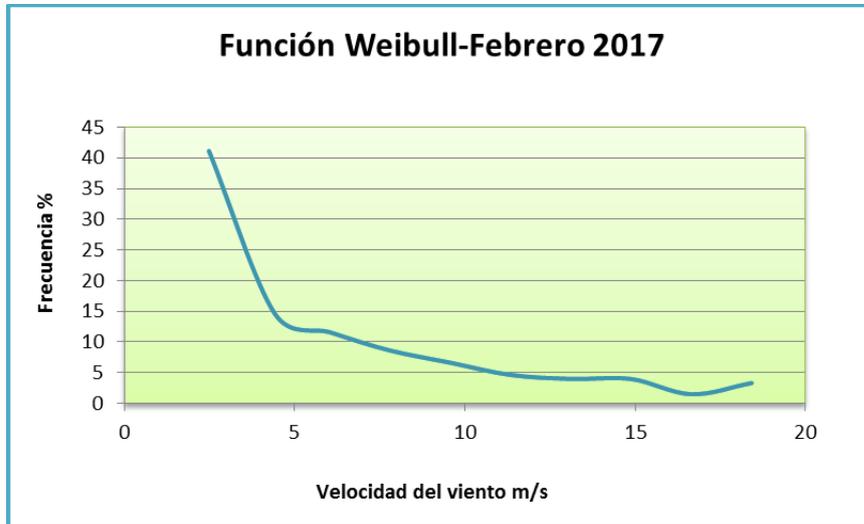
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 29 Interés eólico febrero 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible
1.42648	6.7918	0.76138	139.4234

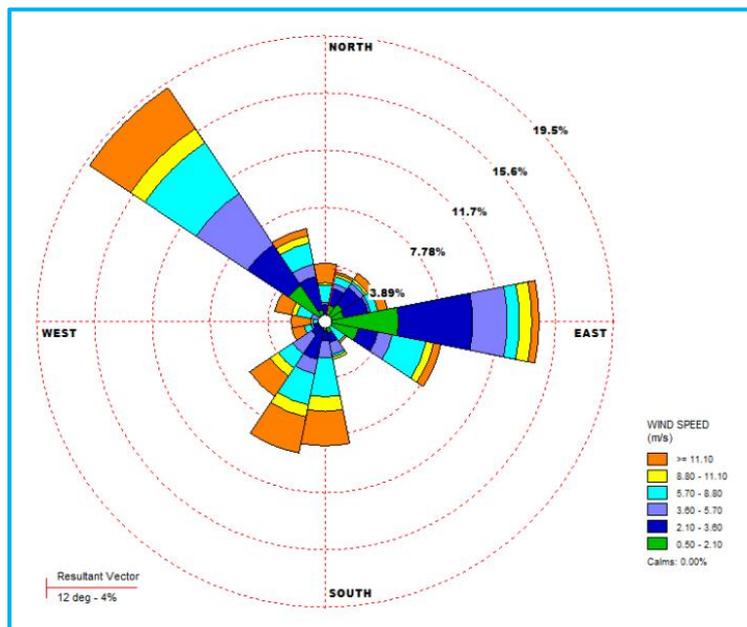
Fuente: Elaboración propia

Figura 42 Distribución Weibull febrero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Rosa de vientos febrero 2017.



Fuente: Elaboración propia

Marzo 2017

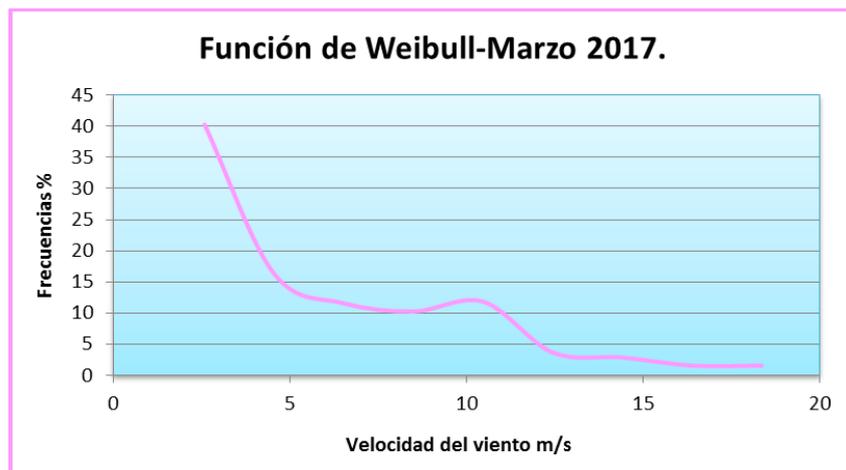
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 30 Interés eólico marzo 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible
1.588150174	6.769895608	0.76138	138.07878

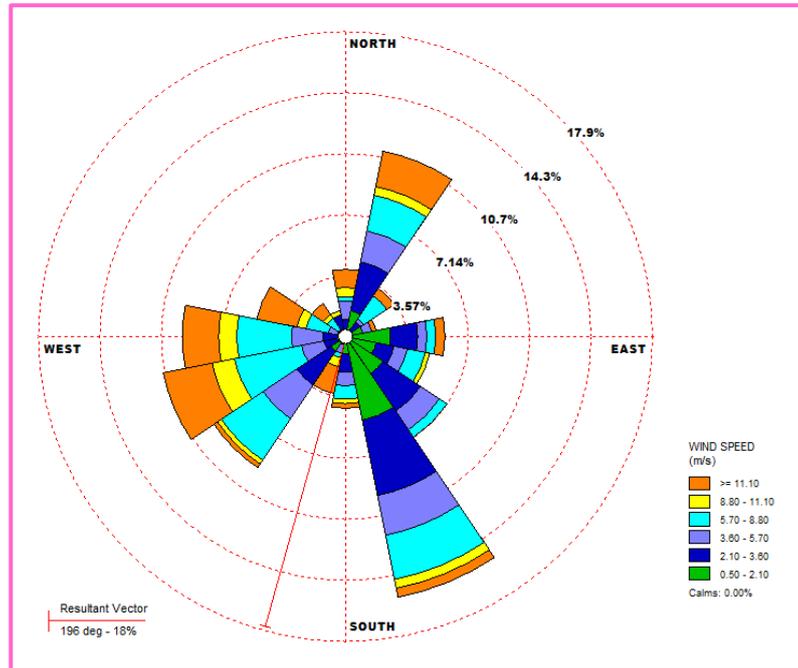
Fuente: Elaboración propia

Figura 44 Distribución Weibull marzo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 45 Rosa de vientos marzo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Abril 2017

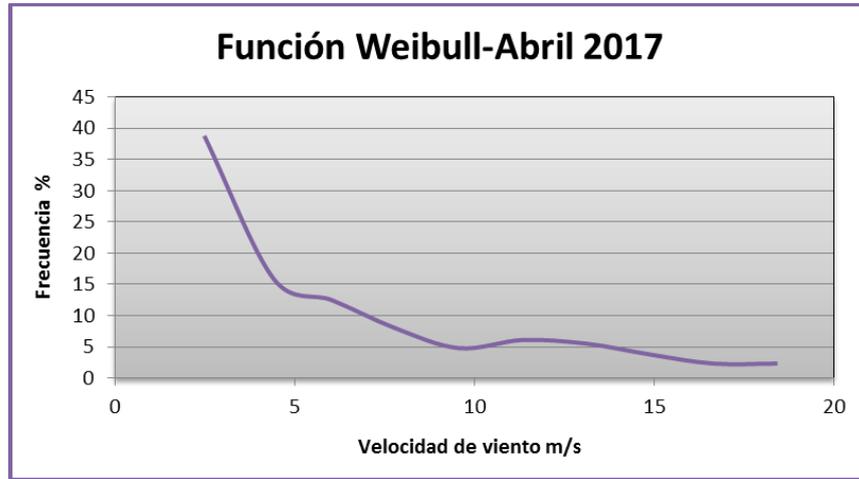
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 31 Interés eólico 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible
1.461296923	6.947745841	0.76138	149.2500811

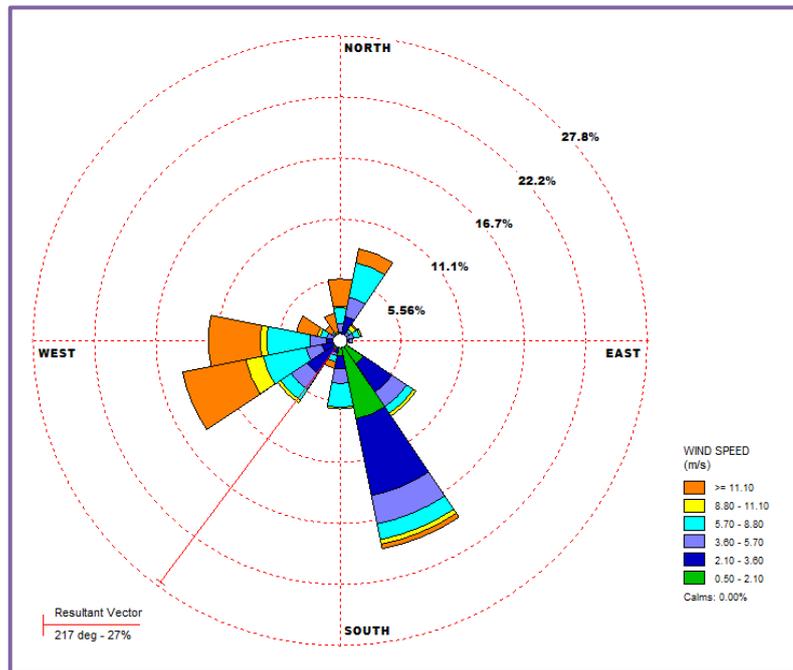
Fuente: Elaboración propia

Figura 46 Distribución Weibull abril 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 47 Rosa de vientos abril 2017.



Fuente: Elaboración propia

Mayo 2017

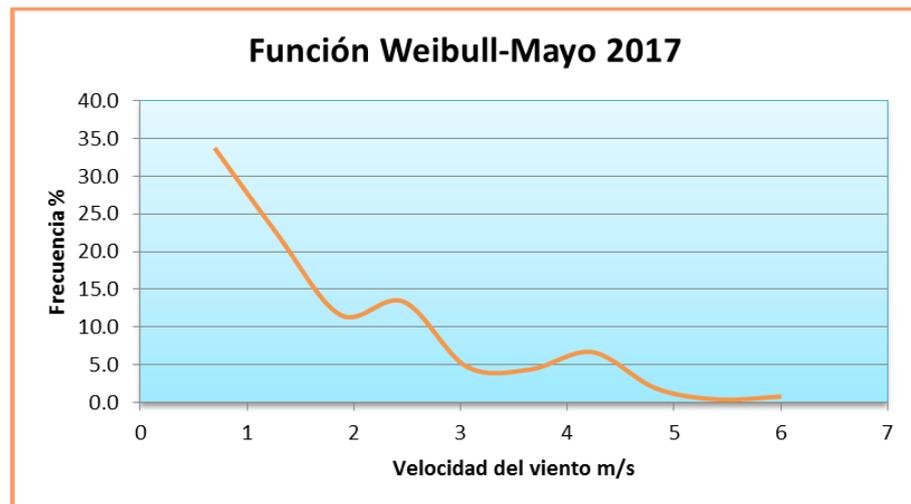
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 32 Interés eólico mayo 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
1.524680489	2.021043	0.76138	3.674

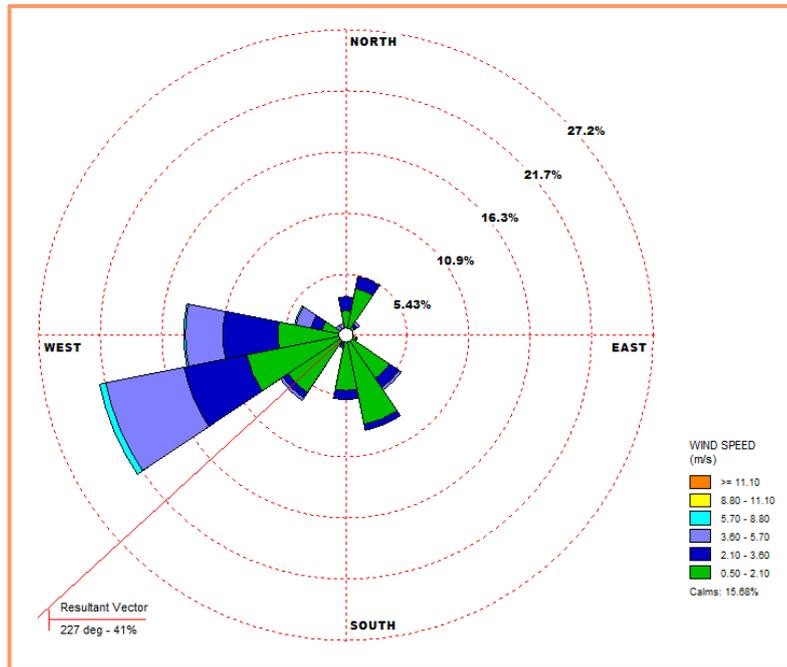
Fuente: Elaboración propia

Figura 48 Distribución Weibull mayo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 49 Rosa de vientos mayo 2017.



Fuente: Elaboración propia

Junio 2017

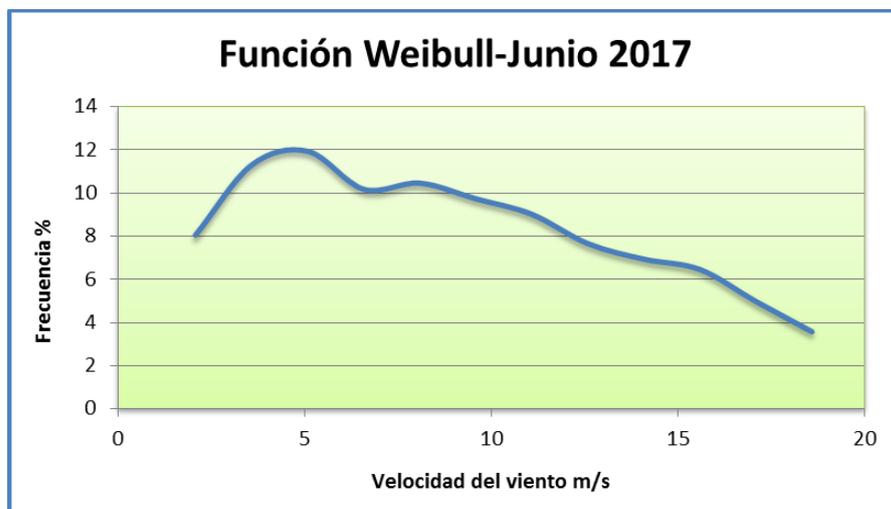
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 33 Interés eólico junio 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
0.492522589	4.3899	0.74138	37.6483

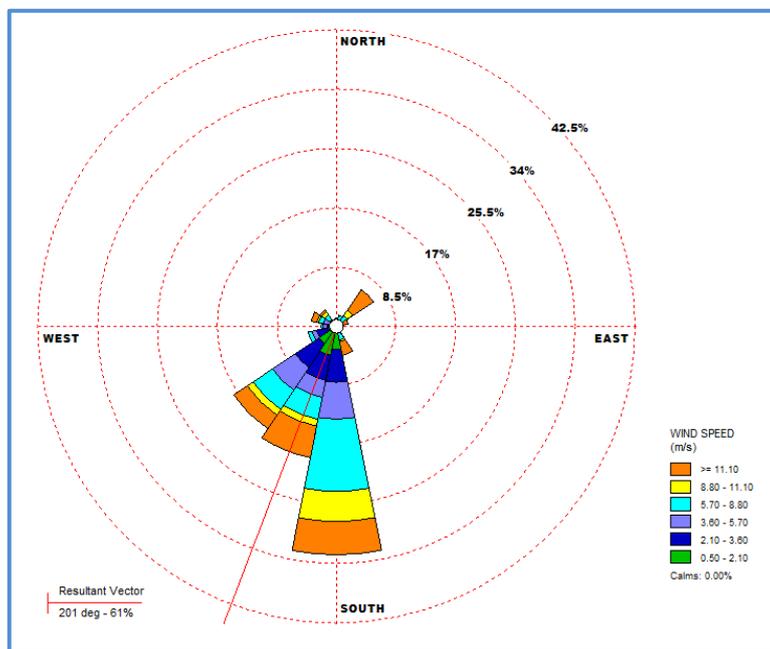
Fuente: Elaboración propia

Figura 50 Distribución Weibull junio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 51 Rosa de vientos junio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Julio 2017

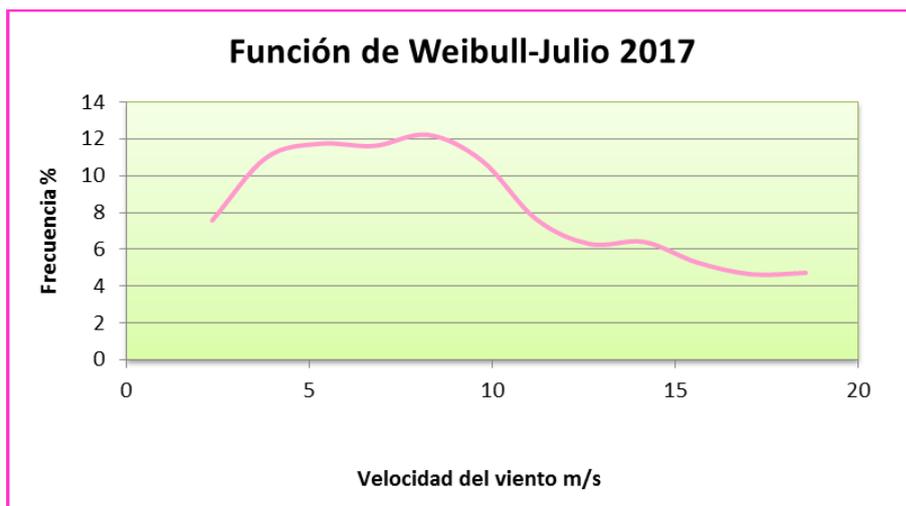
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 34 Interés eólico julio 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
2.100036332	10.295	0.76138	485.58

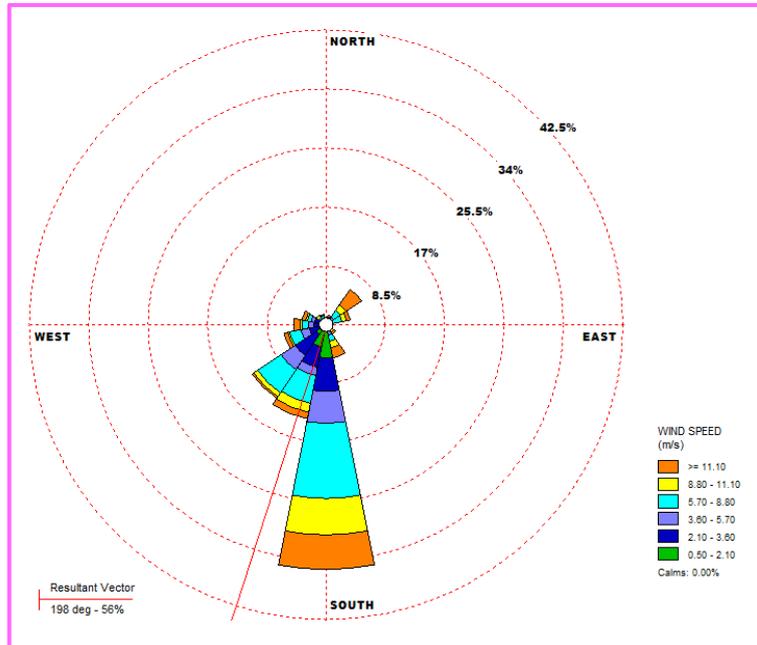
Fuente: Elaboración propia

Figura 52 Distribución Weibull julio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 53 Rosa de vientos julio 2017.



Fuente: Elaboración propia

Agosto 2017

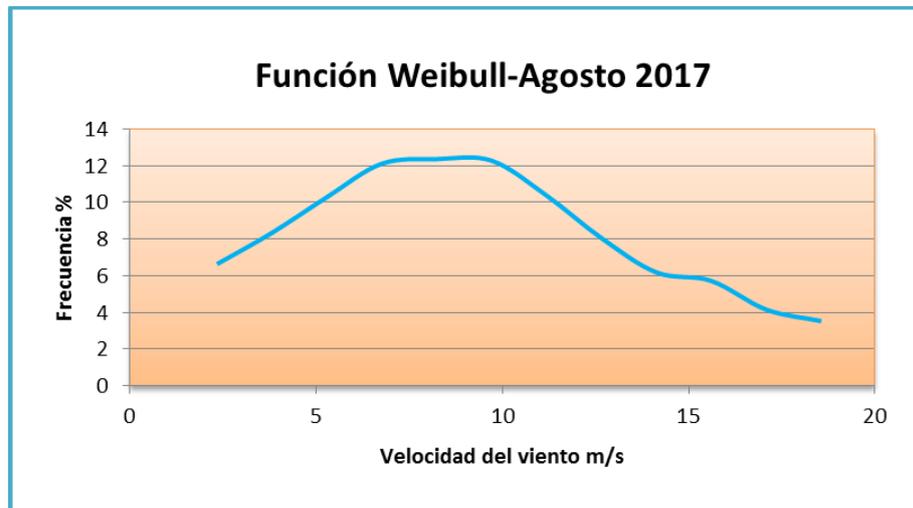
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 35 Interés eólico agosto 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
2.301258491	10.56	0.76138	524.05

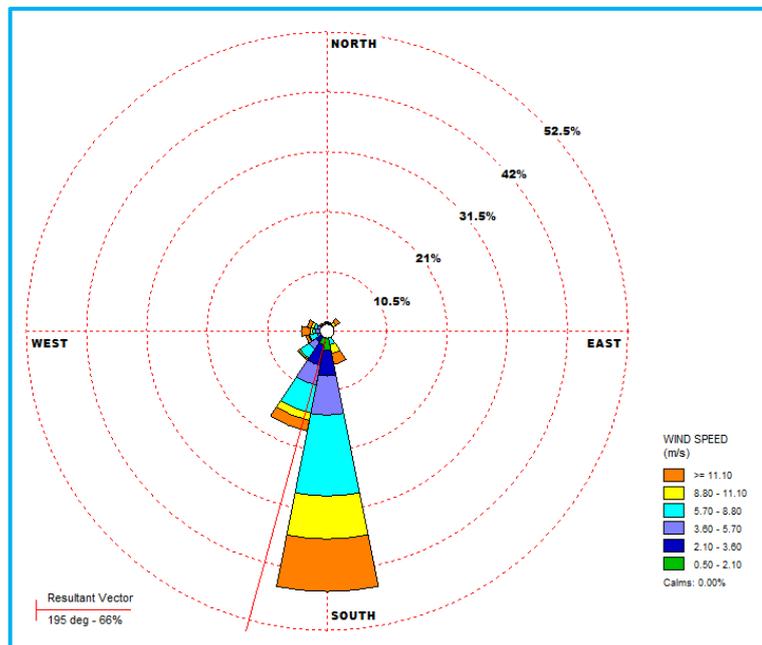
Fuente: Elaboración propia

Figura 54 Distribución Weibull agosto 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 55 Rosa de vientos agosto 2017.



Fuente: Elaboración propia

Setiembre 2017

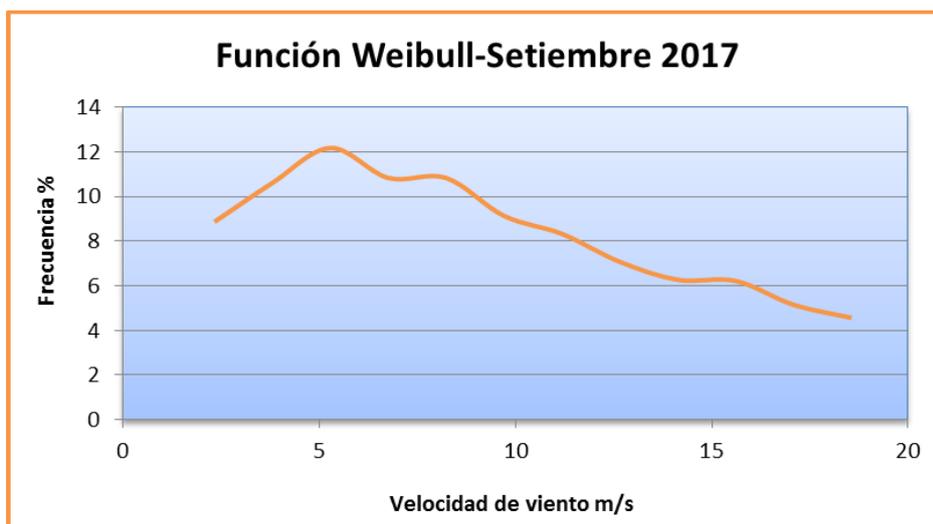
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 36 Interés eólico setiembre 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
1.6349398	10.2513	0.76138	479.42

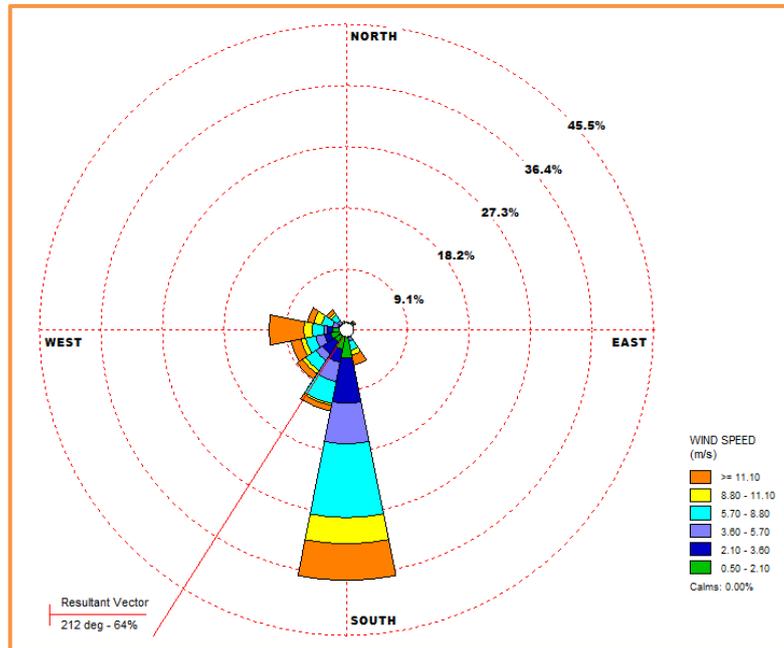
Fuente: Elaboración propia

Figura 56 Distribución weibull setiembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 57 Rosa de vientos setiembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Octubre 2017

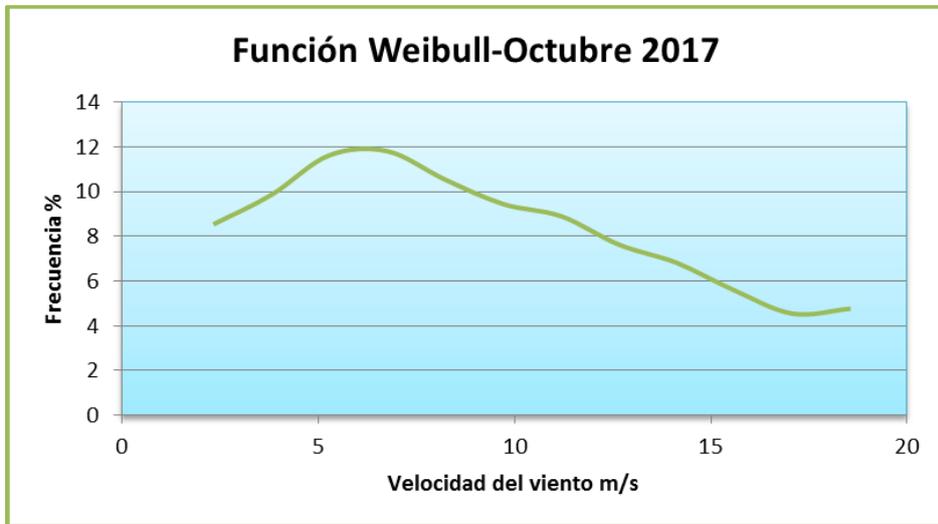
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 37 Interés eólico octubre 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
2.100982538	10.4177	0.76138	503.15

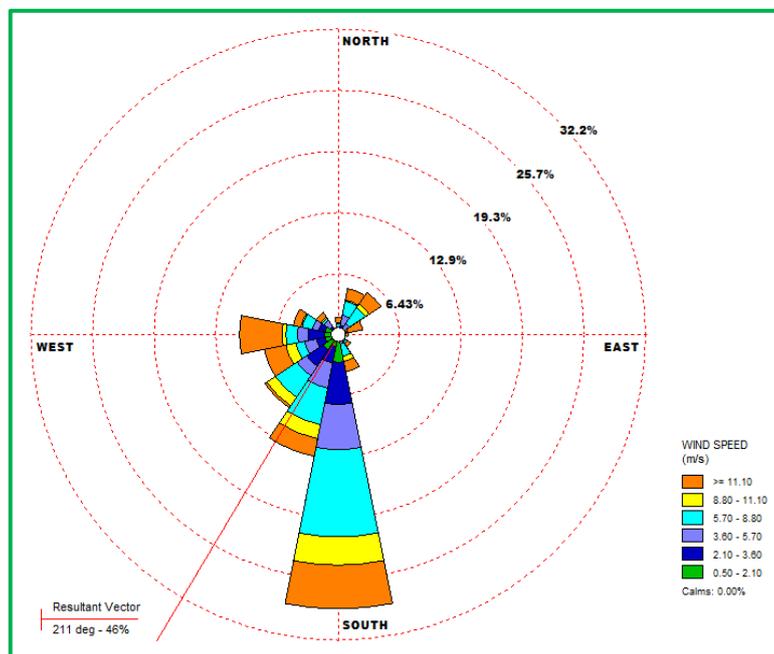
Fuente: Elaboración propia

Figura 58 Distribución Weibull octubre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 59 Rosa de vientos octubre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Noviembre 2017

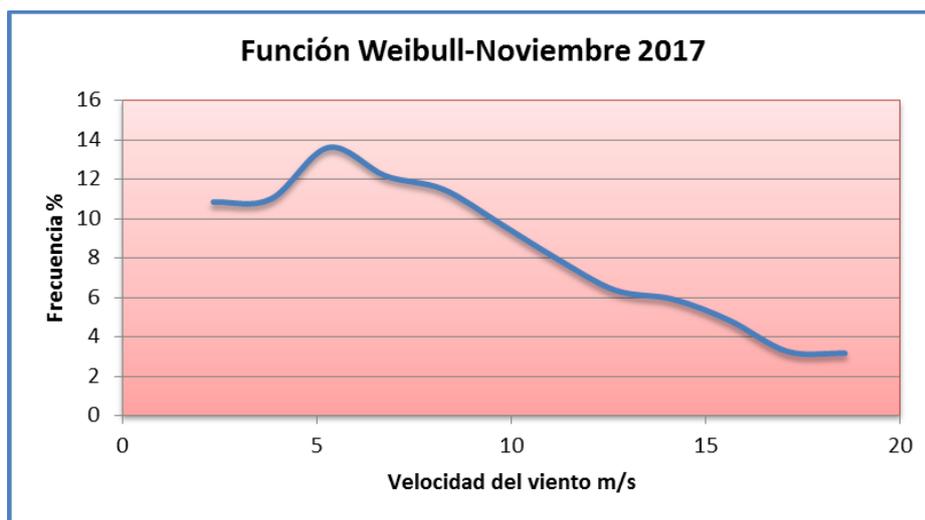
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 38 Interés eólico noviembre 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
2.011859816	9.5996	0.76138	393.68

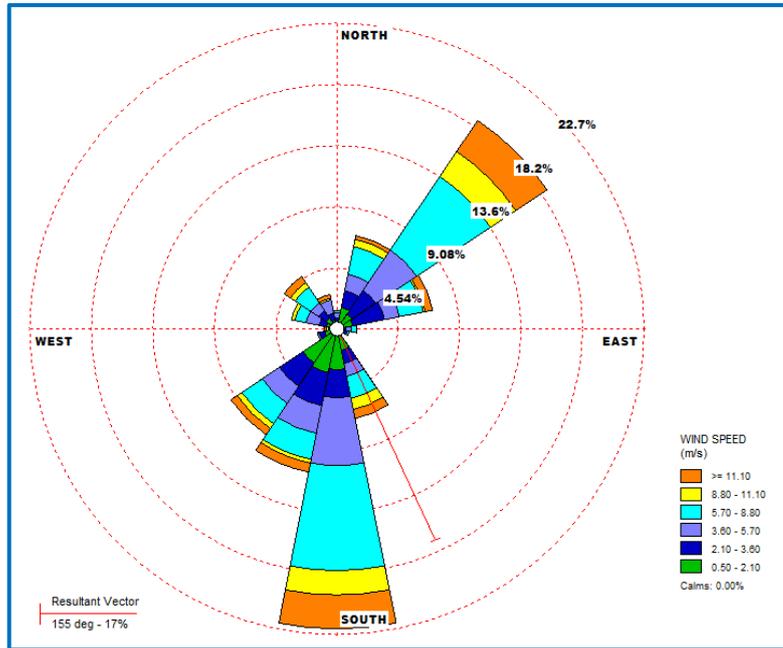
Fuente: Elaboración propia

Figura 60 Distribución Weibull noviembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 61 Rosa de vientos noviembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Diciembre 2017

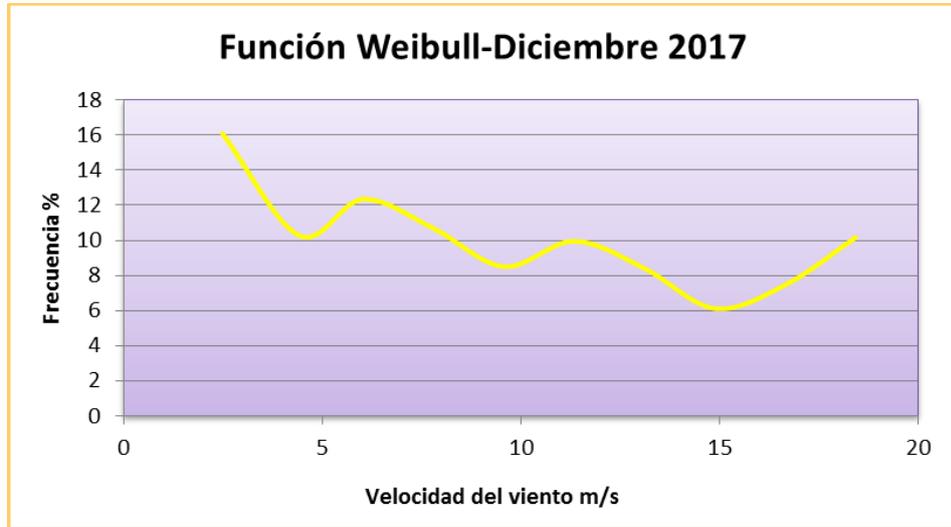
Resultado de Tratamiento Estadístico

Tabla 39 Interés eólico diciembre 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W
1.908200566	10.7071	0.76138	546.26

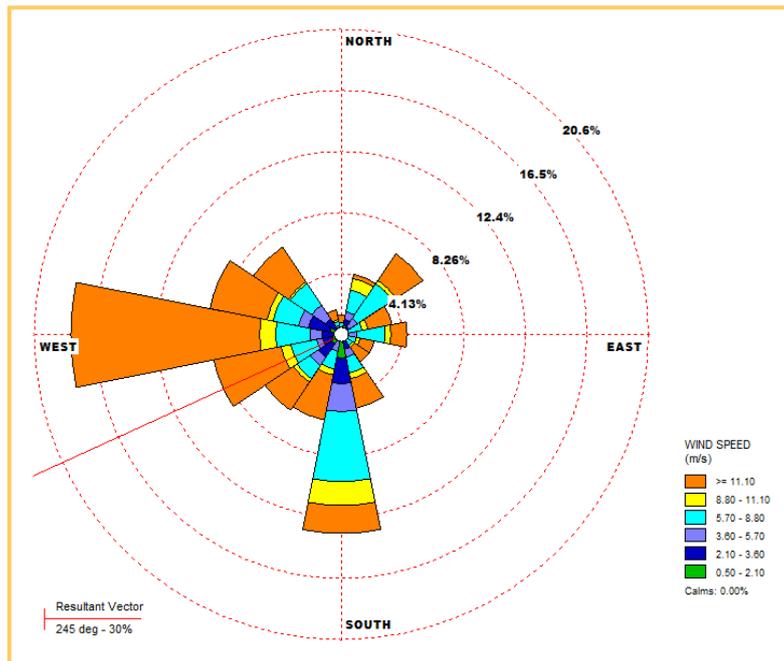
Fuente: Elaboración propia

Figura 62 Distribución Weibull diciembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

Figura 63 Rosa de vientos diciembre 2017.



Fuente: Elaboración propia

AÑO - 2017

Resultado de Tratamiento Estadístico

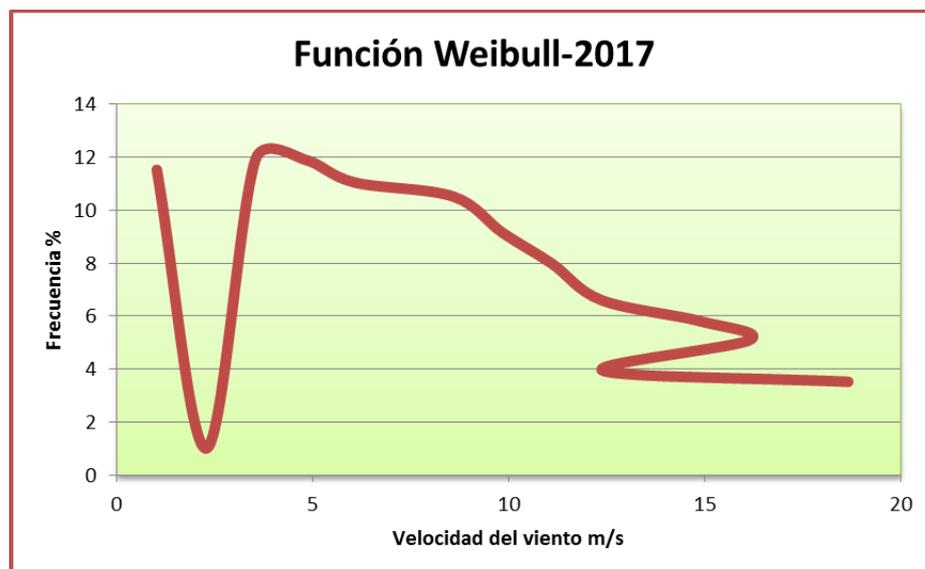
Tabla 40 Interés eólico año 2017.

Parámetro de Forma k	Parámetro de Escala c (m/s)	Densidad del Aire (kg/m ³)	Potencial Eólico disponible W	Energía Total KW/h/m ²
1.770846874	9.1559	0.76138	341.57	3044.7

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra que el valor del parámetro de forma k, es relativamente alto, siendo así que, existe gran variación en las velocidades y dispersión, así mismo el parámetro de escala muestra un valor promedio de la velocidad del viento. Con los cálculos respectivos se obtiene un potencial eólico de 341.57 en la zona de estudio y la capacidad de generar energía en KWH/año de 3044.7.

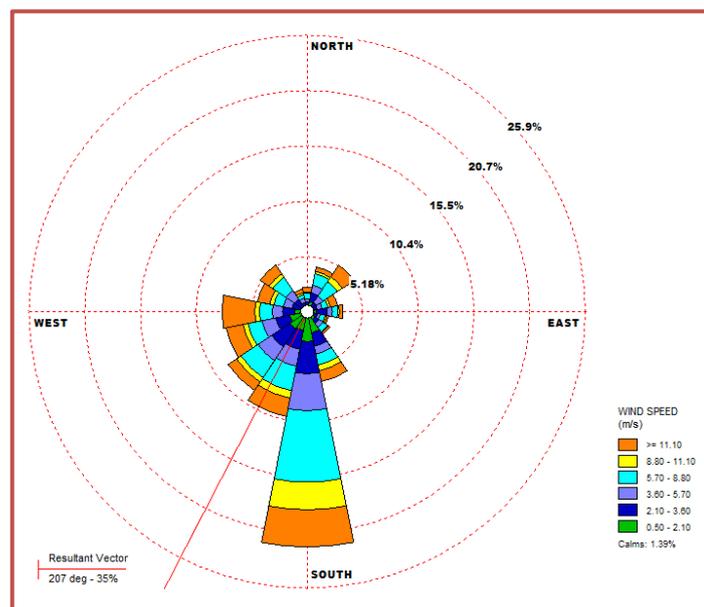
Figura 64 Distribución Weibull año 2017.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de distribución de Weibull, se puede observar un comportamiento disperso debido al parámetro de forma. La variación de presenta mas en velocidades menores a 5 m/s y logra una ligeraa uniformidad en valores de 5 a 10 m/s. El valor de la velocidad media se encuentra en este rango, siendo 8.4 m/s.

Figura 65 Rosa de vientos año 2017.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico muestra la rosa de los vientos elaborada en el software WRPLOT, teniéndose una dirección del viento de sur a norte, con velocidades superiores a los 10 m/s en más del 20% de valores.

Resultado del cálculo de emisión de CO₂ por consumo de electricidad en la comunidad campesina de Huaraucaca

Tabla 41 Consumo de electricidad año 2017 CC Huaraucaca.

CONSUMO DE ENERGÍA COMUNIDAD CAMPESINA DE HUARAUCACA AÑO 2017												
MES	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17
DEMANDA (KWH)	29869.8	25932.9	25807.9	28863.3	29119.6	24550.5	28500.8	26652.2	30409.6	29773.5	32037.4	31890.6
IMPORTE (S/)	25394.6	21415	22218.2	26948.4	24086.4	20487.8	23210.8	21340.6	25275	25788.4	24695.8	26030.7
TOTAL DEMANDA ANUAL (KWH)							343408.10					
TOTAL IMPORTE ANUAL (S/.)							S/. 286,891.70					
TOTAL CLIENTES							199					

Fuente: Electrocentro S.A.

El Tabla 41, muestra el registro de consumo por meses y año 2017, de la comunidad campesina de Huaraucaca, siendo un valor considerable, además del costo total y mensual, significando un alto consumo por parte de los pobladores de la zona.

Tabla 42 Relación de demanda consumo-emisión CO₂

TOTAL DEMANDA ANUAL (KWH)	343408.10
TOTAL DE EMISIONES AL AÑO EN TN/CO₂/AÑO	127.061

Fuente: Elaboración propia

El presente cuadro está es función al consumo total en el año 2017, de la comunidad campesina de Huaraucaca, con los cálculos suficientes se

tiene una emisión de 127.061 TNCO₂/AÑO, cantidad alta considerando que se trata de una comunidad campesina de 199 hogares.

Tabla 43 Producción de energía No convencional/aerogenerador

Características por tipo de Energía	ENERGÍA NO CONVENCIONAL			ENERGIA CONVENCIONAL
	1 Aerogenerador BLACK 300	10 Aerogeneradores BLACK 300	113 Aerogeneradores BLACK 300	
Energía producida al año KWH	3044.7	30447	344051.1	343408.1
Costo para Generación de energía/año (S/)	8000 (10 años)	80 000 (10 años)	904 000 (10 años)	286 891.7
Cantidad de Hogares beneficiados	1.76	17.6	199	199
Mitigación de emisión de CO2 (TN/AÑO)	1.13	11.27	127.63	127.06

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de energía que puede producirse con 1 aerogenerador del modelo BLACK 300, sería suficiente para satisfacer las necesidades de 2 hogares con un costo de 8000 soles, en un mínimo de 10 años y se mitigaría de esta manera 1.13 TNCO₂/AÑO. Sin embargo, con 113 aerogeneradores BLACK 300 se lograría cubrir en totalidad a necesidad energética en la comunidad campesina de Huaraucaca mitigando 127.63 TNCO₂/AÑO, valor que cubriría el total del producido con energía convencional 127.06 TNCO₂/AÑO. De esta manera se deduce la

eficiencia que tiene la implementación de la energía eólica no solo ambiental sino también económico.

4.3. Prueba de Hipótesis.

La Hipótesis es ACEPTADA, ya que el potencial de energía eólica en la comunidad campesina de Huaraucaca es de 341.57 W/m^2 , superando los 300 W/m^2 calculado para el año 2017, a partir de los datos de velocidad y dirección del viento, proporcionados por la Empresa Minera El Brocal S.A.C, y con la implementación de 1 aerogenerador BLACK 300, se puede obtener energía eléctrica aprovechable de 3044.7 KWH/m^2 y con la implementación de 113 aerogeneradores BLACK 300 se puede cubrir la totalidad del consumo de energía eléctrica (343408.1 KWH) de los 119 hogares. La relación entre la generación de electricidad con energía convencional en la comunidad campesina de Huaraucaca y el cambio climático es DIRECTA ya que se emite $127.06 \text{ TN CO}_2/\text{año}$.

4.4. Discusión de Resultados.

La velocidad media registrada en el Atlas Eólico del Perú del año 2016 de 5 a 6 m/s, para la zona de estudio, se ve contrastada con los registros proporcionados por la Empresa Minera El Brocal

S.A.C., al cual haciendo los cálculos respectivos se halla que la velocidad media en la comunidad campesina de Huaraucaca es de 8.149 m/s, a una altura de 10 metros.

El potencial eólico disponible para la producción de energía eléctrica, varía de acuerdo al tipo de aerogenerador que se desea instalar, para el caso del estudio se ha utilizado el modelo alemán BLACK 300 que podría adaptarse mejor al lugar, proporcionando un potencial eólico de 341.57 W/m². Para zonas con altitudes altas que sobrepasan los 3000 msnm, es una alternativa aceptable. La cantidad de energía eléctrica que se puede producir con el potencial eólico calculado y con el tipo de aerogenerador seleccionado es de 3044.7 KWH/año. Esta cantidad es considerable para abastecer 2 hogares considerando los datos de consumo eléctrico proporcionados por Electrocentro S.A., ya que, el consumo en promedio por hogar en la comunidad campesina de Huaraucaca para el año 2017 fue de 1725 KWH/año. Las emisiones de CO₂ del sector energético representan las más altas en el mundo y el país. Se ha calculado que la emisión de CO₂ durante el periodo 2017 en la comunidad campesina de Huaraucaca fue de 127.06 TN CO₂/año. Con la implementación de una energía limpia como lo es la eólica se estaría mitigando mínimamente esta cantidad de contaminante, para lo cual cada

hogar tendría que implementar este sistema en su domicilio. Otro factor importante es el costo que a largo plazo sería más beneficioso y rentable.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones a las que se arriba con este trabajo de investigación son:

1. El potencial eólico en la comunidad campesina de Huaraucaca es de 341.57 W/m².
2. La relación entre la generación de electricidad con energía convencional y el cambio climático en la comunidad campesina de Huaraucaca, es directa ya que, se emite 127.06 TN CO₂/AÑO.
3. Con el potencial eólico calculado se puede obtener 3044.7 KWH/año de energía eléctrica.
4. La implementación de la energía eólica en la comunidad campesina de Huaraucaca es factible y sostenible en el tiempo, ya que con una velocidad media del viento de 8.149 m/s, y el uso del aerogenerador de modelo BLACK 300 se puede obtener 341.57 W/m² de potencia.
5. Con la implementación de 113 aerogeneradores del modelo BLACK 300 y el potencial eólico calculado, es posible abastecer en un 100 %

la necesidad de energía eléctrica en los 199 hogares de la comunidad campesina de Huaraucaca

6. Los costos para la implementación de un sistema de energía eólica resultan poco convenientes al principio, pero con el tiempo representan un ahorro y una oportunidad de hasta 300%.

RECOMENDACIONES

1. Con el aporte que realiza la presente tesis, realizar más investigaciones en el tema, en diferentes lugares con características diversas del viento.
2. Implementar sistemas de producción de energía eólica en la comunidad campesina de Huaraucaca, ya que resultan factibles y sostenibles desde el punto de vista no solo ambiental sino también económico.
3. Realizar convenios con la empresa minera El Brocal, para la implementación de aerogeneradores en las viviendas de la comunidad campesina de Huaraucaca, como parte de su responsabilidad social y apoyo comunitario.
4. Que la escuela de Ingeniería Ambiental, desarrolle el estudio para la implementación de energía eólica dentro de sus instalaciones, como parte de su compromiso en el cuidado del medio ambiente.
5. Hacer el efecto multiplicador del presente trabajo a través de la revista de investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

BIBLIOGRAFÍA

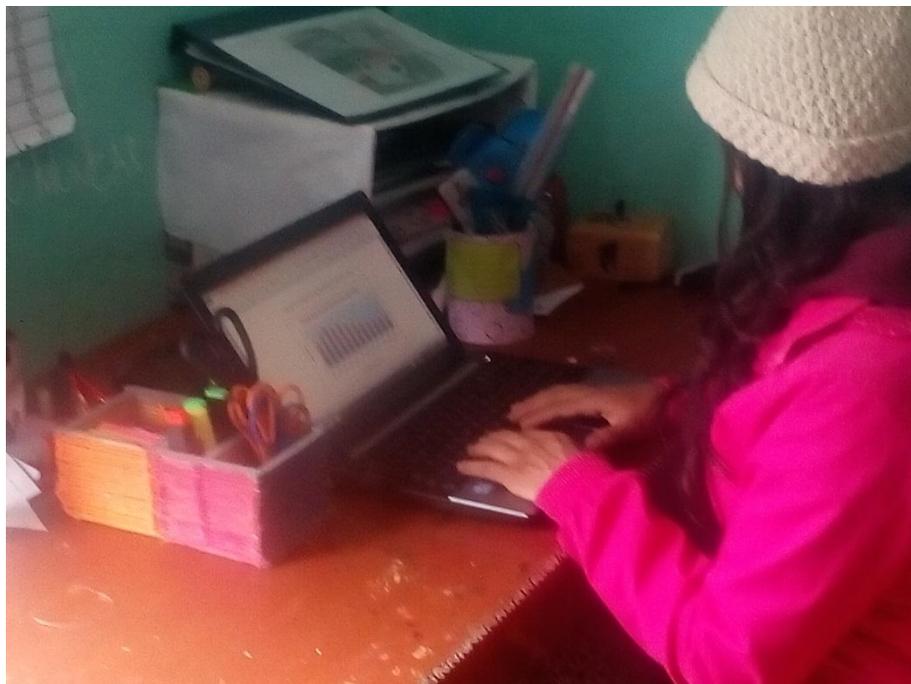
1. Juan José Naranjo Toapanta (2017) “Determinación del Potencial Eólico Disponible en el Sector de Río Blanco Perteneiente al Cantón Ambato Provincia de Tungurahua”. Tesis de Pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
2. Enrique Baldovino Fernandini et al. (2007) “Propuesta Estratégica para el Desarrollo de la Energía Eólica en el Perú”. Tesis de Postgrado. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
3. Carlos Danilo González Cantillo (2014) “Análisis del Potencial Técnico, Económico y Ambiental del Aprovechamiento de Energía Eólica en la Ciénaga de La Virgen”. Tesis de Pregrado. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena, Colombia.
4. Andrés Mauricio Tafur García et al (2013) “Modelación Y Evaluación Del Potencial Eólico como una Fuente de Generación de Energía Eléctrica en la Zona Costera de Cartagena”. Tesis de Pregrado. Universidad de Cartagena, Colombia.
5. Rafael Vidal Herrera (2014) “Evaluación del Recurso Eólico en la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez”. Tesis de Postgrado.

Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C departamento de postgrado, México.

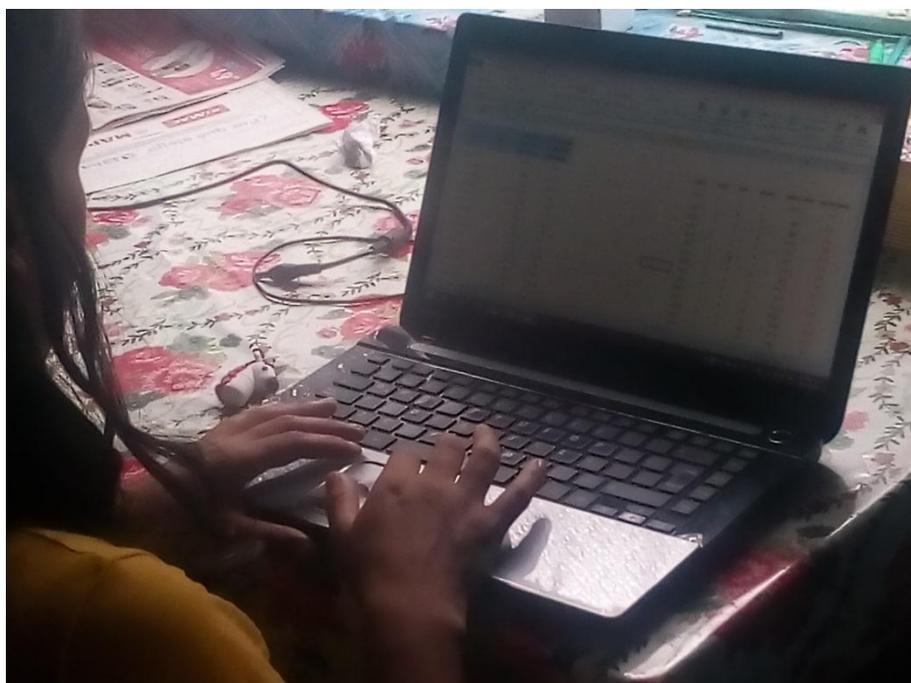
6. Carlos Arnés González (2014) “Estudio del Potencial Eólico para Generación Eléctrica en El Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México”. Tesis de Postgrado. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales y Telecomunicación, México.
7. Juan Chercca Ramírez (2014) “Aprovechamiento del recurso eólico y solar en la generación de energía eléctrica y la reducción de emisiones de CO₂ en el poblado rural la Gramita de Casma”. Tesis de Postgrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
8. MINEM (2016) “Atlas Eólico del Perú”.
9. Roberto Hernández Sampieri et. al.(2014) sexta edición, “Metodología de la Investigación”.
10. William Alvares Castañeda (2013) “Aplicación de la Ecuación de Weibull, para determinar el Potencial Eólico en Tunja-Colombia”. XII Simposium peruano de energía solar. Perú.

11. Aranda Cristobal, Karin et. al. (2016), "Estudio de Factibilidad para el Aprovechamiento de la Energía Eólica en la Comunidad Campesina Villa de Pasco - Distrito Tinyahuarco – 2016". Trabajo de Proyección Social. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Perú.

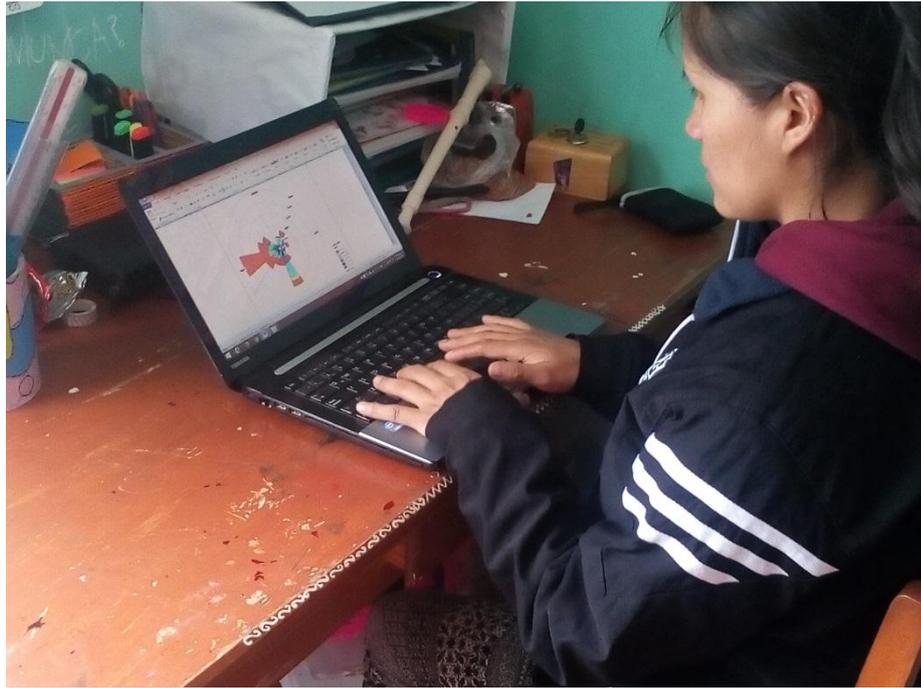
ANEXOS
PANEL FOTOGRÁFICO



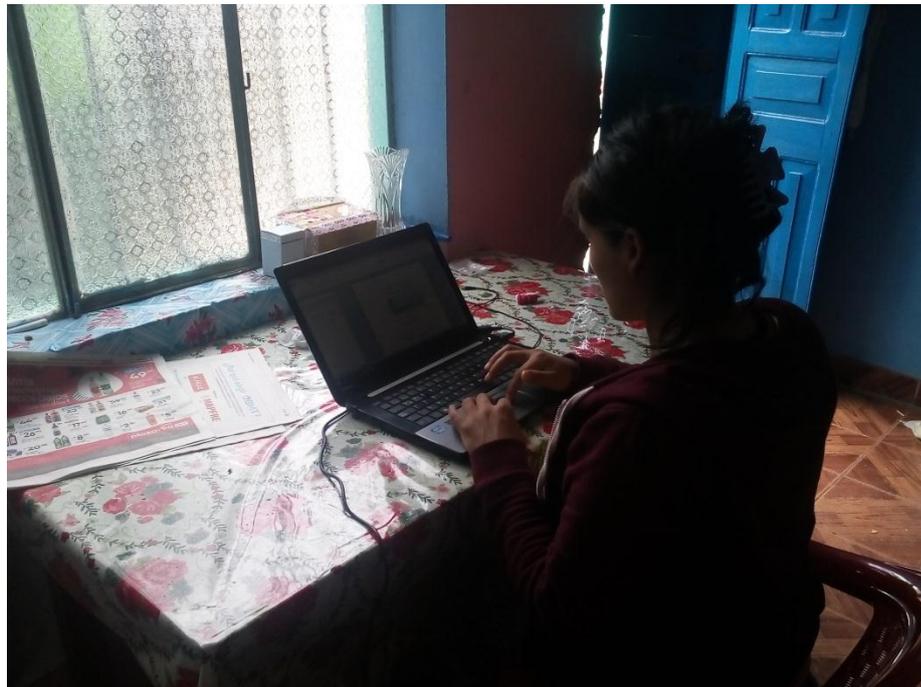
Fotografía 1: Clasificación de datos



Fotografía 2: Procesamiento de la información



Fotografía 3: Presentación de datos y construcción de Rosa de vientos



Fotografía 4: Redacción del informe final

Anexo 1 Mapa de Ubicación de la CC de Huaraucaca.

