



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO PARA DETERMINAR LA**  
**VIABILIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PENÍNSULA**  
**DE CAPACHICA 2024**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**WILIAM PAREDES CONDORI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PENÍNSULA DE CAPACHICA 2024**

AUTOR

**WILIAM PAREDES CONDORI**

RECuento de palabras

**20837 Words**

RECuento de caracteres

**99991 Characters**

RECuento de páginas

**105 Pages**

Tamaño del archivo

**3.7MB**

Fecha de entrega

**Jul 12, 2024 10:14 AM GMT-5**

Fecha del informe

**Jul 12, 2024 10:16 AM GMT-5**

### ● 11% de similitud general

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

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

  
Jhanny A. Merth Quisocaya Herrera  
CIP. 70297  
INGENIERO ELECTRICISTA

  
M.Sc. Felipe Condori Chambilla  
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION  
EPIME

Resumen



## DEDICATORIA

*Dedico esta investigación primeramente al forjador de mi camino, mi padre celestial que siempre me acompaña y me levanta en cada tropiezo que doy brindándome fuerzas para seguir adelante y no rendirme.*

*Con todo cariño a mi padre Pastor Paredes y mi madre Lorenza Condori que con su amor, paciencia y esfuerzo plantaron los cimientos de mi formación personal y profesional, son la inspiración de todos mis logros entre ellos está presente investigación.*

*A mis queridas hermanas Yeni y Rosi por acompañarme a lo largo de todo mi camino, brindándome apoyo incondicional, comprensión y palabras de aliento.*

***Wiliam Paredes Condori***



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi profunda gratitud a Dios, quien con su gran bendición llena siempre mi vida guiándome en cada decisión que tomo y dándome la oportunidad de cumplir uno de mis objetivos en la vida.*

*Agradezco a todos los docentes de mi primera casa de estudios, la Universidad Nacional del Altiplano, escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica quienes, con la enseñanza de sus valioso conocimientos, paciencia y dedicación, hicieron que pueda crecer profesionalmente día a día.*

*A mi familia, por estar siempre a mi lado confiando en mí, apoyándome con sus sabios consejos y amor incondicional, Gracias por ser la razón de mi fortaleza a seguir adelante con humildad.*

*Finalmente, mi sincero agradecimiento a todos aquellos que me apoyaron a lo largo de este proceso en convertir realidad uno de mis grandes objetivos de la vida.*

***Wiliam Paredes Condori***



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
1.1.1. Pregunta General .....	15
1.1.2. Preguntas Específicas .....	16
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos .....	17
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>29</b>
2.2.1. Energía Eólica.....	29
2.2.2. Potencial Eólico.....	29
2.2.3. El Viento.....	30
2.2.3.1. Diferencias de Presión Atmosférica .....	30



2.2.3.2. La Fuerza de Coriolis.....	31
2.2.4. Variabilidad de la velocidad del viento .....	31
2.2.4.1. En la Macro Escala .....	32
2.2.4.2. En la Meso Escala.....	32
2.2.4.3. En la Micro Escala.....	33
2.2.5. Variables del Viento .....	34
2.2.5.1. Velocidad Media del Viento.....	34
2.2.5.2. Distribución de Weibull.....	35
2.2.5.3. Variación de la Altura del Viento con la Altura .....	37
2.2.5.4. La Dirección .....	38
2.2.5.5. Rosa de Viento.....	38
2.2.5.6. La rugosidad .....	41
2.2.6. Densidad de Potencial Eólico .....	42
2.2.7. Base de datos .....	44
2.2.7.1. SENAMHI .....	44
2.2.7.2. NASA - POWER .....	44
2.2.8. Programas de simulación.....	44
2.2.8.1. Software Windographer.....	44

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>46</b>
3.1.1. Relación entre las Variables .....	46
<b>3.2. LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3. OBTENCIÓN DE BASE DE DATOS DE VIENTO .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>49</b>



3.4.1. Herramientas utilizadas .....	49
3.4.2. Pasos en el procedimiento: .....	49

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. VELOCIDAD DE VIENTO A DIFERENTES ALTURAS .....</b>	<b>55</b>
4.1.1. Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas .....	68
4.1.2. Velocidad del Viento Durante el día. ....	71
<b>4.2. DIRECCIÓN DEL VIENTO - ROSA DE VIENTO .....</b>	<b>74</b>
4.2.1. Distribución de Frecuencias Weibull .....	77
4.2.2. Densidad de Potencia.....	80
4.2.3. Simulación de Energía Eléctrica.....	81
<b>4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

**Área** : Energías renovables

**Tema** : Potencial eólico

**Fecha de Sustentación:** 19 de julio del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Clases y longitudes de rugosidad .....	42
Tabla 2 Descripción de la Estación Meteorológica .....	48
Tabla 3 Análisis de varianza.....	67
Tabla 4 Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas .....	71
Tabla 5 Parámetros de Weibull del punto A.....	77
Tabla 6 Parámetros de Weibull del punto B.....	79
Tabla 7 Parámetros de Weibull del punto C.....	80
Tabla 8 Densidad de Potencia del punto A.....	80
Tabla 9 Densidad de Potencia del punto B.....	81
Tabla 10 Densidad de Potencia del punto C.....	81
Tabla 11 Simulación de Producción de Energía Eléctrica del punto A.....	82
Tabla 12 Simulación de Producción de Energía Eléctrica del punto B.....	82
Tabla 13 Simulación de Producción de Energía Eléctrica del punto C.....	83





## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Dirección predominante de los vientos del planeta.....	30
Figura 2 Distribución de Weibull para Velocidades de Viento.....	36
Figura 3 Variación de la Velocidad del Viento con la Altura Sobre el Terreno .....	37
Figura 4 Rosa de Frecuencia .....	39
Figura 5 Rosa de Velocidad Media .....	40
Figura 6 Rosa de Energía.....	40
Figura 7 Península de Capachica.....	47
Figura 8 Plataforma de la NASA.....	49
Figura 9 Diagrama de dispersión a 5 metros de altura en el punto A.....	55
Figura 10 Diagrama de dispersión a 5 metros de altura en el punto B.....	55
Figura 11 Diagrama de dispersión a 5 metros de altura en el punto C.....	56
Figura 12 Diagrama de dispersión a 10 metros de altura en el punto A.....	57
Figura 13 Diagrama de dispersión a 10 metros de altura en el punto B.....	57
Figura 14 Diagrama de dispersión a 10 metros de altura en el punto C.....	58
Figura 15 Diagrama de dispersión a 20 metros de altura en el punto A.....	59
Figura 16 Diagrama de dispersión a 20 metros de altura en el punto B.....	59
Figura 17 Diagrama de dispersión a 20 metros de altura en el punto C.....	60
Figura 18 Diagrama de dispersión a 30 metros de altura en el punto A.....	61
Figura 19 Diagrama de dispersión a 30 metros de altura en el punto B.....	61
Figura 20 Diagrama de dispersión a 30 metros de altura en el punto C.....	62
Figura 21 Diagrama de dispersión a 40 metros de altura en el punto A.....	63
Figura 22 Diagrama de dispersión a 40 metros de altura en el punto B.....	63



Figura 23 Diagrama de dispersión a 40 metros de altura en el punto C.....	64
Figura 24 Diagrama de dispersión a 50 metros de altura en el punto A.....	65
Figura 25 Diagrama de dispersión a 50 metros de altura en el punto B.....	65
Figura 26 Diagrama de dispersión a 50 metros de altura en el punto C.....	66
Figura 27 Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas del punto A.....	68
Figura 28 Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas del punto B.....	69
Figura 29 Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas del punto C.....	70
Figura 30 Velocidad de viento diurno del punto A.....	71
Figura 31 Velocidad de viento diurno del punto B.....	72
Figura 32 Velocidad de viento diurno del punto C.....	73
Figura 33 Rosa de Viento por cada año en el punto A.....	74
Figura 34 Rosa de Viento por cada año en el punto B.....	75
Figura 35 Rosa de Viento por cada año en el punto C.....	76
Figura 36 Distribución de Frecuencia del punto A.....	77
Figura 37 Distribución de Frecuencia del punto B.....	78
Figura 38 Distribución de Frecuencia del punto C.....	79



## ACRÓNIMOS

SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
NASA:	National Aeronautics and Space Administration.
POWER:	Prediction Of Worldwide Energy Resources.
M:	Metros.
m/s:	Metros por segundo.
W:	Watts.
m <sup>2</sup> :	Metro cuadrado.
kW:	Kilowatts.
MWh:	Megawatts hora.
WAsP:	Wind Atlas Analysis and Application Program.



## RESUMEN

El problema que motivó esta investigación es la necesidad de diversificar las fuentes de energía y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, así como el interés en promover la energía eólica como una alternativa sostenible en esta región, especialmente en la Península de Capachica, ubicada en la región de Puno, Perú. La presente investigación se enfocó en conocer las características del recurso eólico en la Península de Capachica con el objetivo de determinar el potencial eólico y su viabilidad. Los datos meteorológicos obtenidos son provenientes de la estación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI y Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) – NASA, correspondientes al periodo de 2019 a 2023. El tipo de investigación fue cuantitativo, observacional con elementos deductivos, debido a que se aplicaron datos numéricos y se realizó gráficos fáciles de comprender con el software Windographer como también con el programa Exel. El software Windographer nos ayudó a comprender la dinámica del viento en la península de Capachica y nos dio a conocer el potencial eólico utilizando los datos recopilados. De acuerdo con los hallazgos de la investigación, la velocidad promedio del viento del punto B fue la mayor dada con 6,068 m/s a 50 metros de altura, con una dirección predominante noreste. La turbina Gamesa G114-2.2 MW se destaca como la más eficiente, ya que puede generar hasta 4,435,060 kWh anuales. Las condiciones en la Península de Capachica son favorables para la producción de energía eólica. La implementación de proyectos eólicos en la región es viable y puede contribuir significativamente al desarrollo sostenible y a la diversificación de fuentes de energía.

**Palabras Clave:** Energía eólica, Potencial eólico, Velocidad de Viento, Windographer.



## ABSTRACT

The problem that motivated this research is the need to diversify energy sources and reduce dependence on fossil fuels, as well as the interest in promoting wind energy as a sustainable alternative in this region, especially in the Capachica Peninsula, located in the region of Puno, Peru. The present research focused on the characteristics of the wind resource in the Capachica Peninsula in order to determine the wind potential and its viability. The meteorological data obtained are from the station of the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru - SENAMHI and Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) - NASA, corresponding to the period from 2019 to 2023. The type of research was quantitative, observational with deductive elements, because numerical data were applied and easy to understand graphs were made with the Windographer software as well as with the Exel program. The Windographer software helped us to understand the wind dynamics in the Capachica peninsula and gave us to know the wind potential using the collected data. According to the research findings, the average wind speed of point B was the highest given with 6,068 m/s at 50 meters height, with a predominant northeast direction. The Gamesa G114-2.2 MW turbine stands out as the most efficient, as it can generate up to 4,435,060 kWh annually. Conditions on the Capachica Peninsula are favorable for wind energy production. The implementation of wind projects in the region is viable and can contribute significantly to sustainable development and diversification of energy sources.

**Keywords:** Wind energy, Wind potential, Wind Speed, Windographer.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La Península de Capachica Situada en la región de Puno, a orillas del impresionante Lago Titicaca, enfrenta importantes desafíos en términos de acceso a fuentes de energía sostenible. La región, a pesar de su riqueza natural y cultural, ha dependido constantemente de fuentes de energía no renovables, lo que ha provocado un acceso limitado a la electricidad y una huella ambiental negativa.

La necesidad de explorar alternativas energéticas sostenibles se destaca debido a la dependencia de combustibles fósiles y la falta de acceso a fuentes de energía limpia y confiable. En este contexto, la energía eólica se presenta como una solución prometedora y económicamente viable para abordar los desafíos energéticos en la Península de Capachica. La península de Capachica se encuentra en la provincia de Puno, en el distrito de Capachica, frente al lago Titicaca. Debido a la presencia constante de vientos en la región, tiene condiciones geográficas favorables para el aprovechamiento de la energía eólica. Esto proporciona un recurso natural valioso que debe ser aprovechado de manera sostenible.

El objetivo de este estudio es evaluar el potencial eólico de la zona y determinar si la energía eólica es una opción económica y sostenible. Podemos abrir nuevas oportunidades para el desarrollo energético y económico en la Península de Capachica al comprender el comportamiento del viento en la región y su capacidad para generar energía, al mismo tiempo que contribuimos a la mitigación del cambio climático y la preservación del entorno natural único del Lago Titicaca.



Este estudio tiene como objetivo no solo proporcionar energía renovable y limpia, sino también impulsar el desarrollo socioeconómico local, mejorar la calidad de vida de las comunidades y promover la sostenibilidad a largo plazo en la región de Puno al explorar el potencial eólico de la zona y evaluar su viabilidad.

El programa Windographer es muy útil para el tratamiento estadístico de bases de datos de viento sobre todo nos ayuda a visualizar con gráficos comprensibles, ya que nos ayuda a comprender las características del recurso eólico en una zona específica, lo que nos ayuda a tomar decisiones sobre la ejecución de proyectos de energía eólica. Los resultados del software Windographer nos brindan información útil sobre la energía del viento que se puede utilizar para generar energía eléctrica en el lugar en la Península de Capachica.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Península de Capachica, ubicada en la región de Puno a orillas del Lago Titicaca, enfrenta desafíos en términos de acceso a fuentes de energía sostenible. La dependencia no renovable y el acceso limitado a la electricidad subrayan la necesidad de explorar fuentes de energía alternativas. Este estudio se centra en evaluar el potencial eólico de la región y determinar la viabilidad de la energía eólica como una solución sostenible y económica.

### **1.1.1. Pregunta General**

¿Cuál es el potencial eólico en la Península de Capachica y es viable la energía eólica como una alternativa sostenible?



### 1.1.2. Preguntas Específicas

- ¿Como varió la velocidad del viento a diferentes alturas en la Península de Capachica entre 2019 y 2023?
- ¿Cuál es la dirección del viento que predomina en la Península de Capachica?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de explorar alternativas energéticas renovables en la región de Puno, específicamente en la Península de Capachica, es fundamental y justifica la realización de este estudio. La energía eólica se presenta como una opción atractiva debido a su carácter limpio y renovable, que no solo evita la emisión de gases de efecto invernadero, sino que también preserva el entorno natural. La promoción del desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida de la población local son objetivos clave que pueden lograrse mediante la adopción de esta fuente de energía.

La ubicación geográfica privilegiada de la península, caracterizada por vientos constantes y una topografía favorable, sugiere un potencial eólico significativo que aún no ha sido completamente aprovechado. La utilización de este recurso podría no solo satisfacer las necesidades energéticas locales, sino también generar beneficios económicos y sociales para la comunidad, al tiempo que contribuye al desarrollo sostenible a nivel regional.

La investigación no solo se centra en evaluar el potencial eólico en la Península de Capachica, sino también en proporcionar información relevante y aplicable para la toma de decisiones futuras sobre la implementación de energías renovables en la zona. Estos datos pueden ser fundamentales para la planificación energética a nivel local y





nacional, permitiendo una transición hacia un sistema energético más sostenible y resiliente en la región de Puno y en todo el país.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo General**

El presente estudio tiene como objetivo principal analizar el potencial eólico en la Península de Capachica y así determinar la viabilidad de la energía eólica como una alternativa sostenible, en la region de Puno.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la velocidad del viento a diferentes alturas en la Península de Capachica entre 2019 y 2023.
- Determinar la dirección predominante del viento mediante la generación de la rosa de vientos.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Quiñonez et al. (2019), “Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca”, con el objetivo de caracterizar su potencial de explotación, el estudio realizó una evaluación cuantitativa y cualitativa del recurso eólico en Juliaca, en la región de Puno. Los datos del SENAMHI (2013-2014) se examinaron y se compararon con la base de datos de la NASA. El análisis cuantitativo incluyó la caracterización de la velocidad media horaria y mensual del viento a 25 metros del suelo. Se encontró una diferencia promedio del 8,93% entre los datos de NASA y SENAMHI durante la primavera y el verano, con velocidades superiores a 3 m/s y direcciones principalmente hacia el oeste y el este. El análisis cualitativo, utilizando la distribución de Weibull, estimó una densidad de potencia media anual de 15.91 W/m<sup>2</sup> a 25 m del suelo. Esta densidad se duplicó a 50 m. Se decidió que Juliaca podría acoger generadores eólicos de pequeña potencia debido a la variabilidad moderada y la abundancia de recursos eólicos. Los datos de NASA fueron confiables para esta caracterización.

Jimenes (2018), “Estudio de viabilidad técnica de un mini parque eólico de 9 kW conectado a la red eléctrica Puno, en el sector de Ventilla Alto Puno - Departamento de Puno”, Para evaluar la viabilidad técnica de esta iniciativa de energía alternativa, este proyecto se enfoca en la construcción de un mini parque eólico en el área Ventilla de Puno, utilizando datos de viento de la región que se obtuvieron de SENAMHI y atlas Eólico del Perú. Se utilizaron hojas de cálculo de Excel y Google Earth Pro para recopilar y analizar datos de viento y terreno. Utilizando información secundaria de varias fuentes,



la investigación de tipo experimental recopila datos sobre la velocidad y dirección del viento. Aunque la variabilidad del viento tiene un impacto significativo en la energía eólica producida siendo un promedio de 8,58 m/s anual, los análisis estadísticos realizados demostraron que hay un potencial eólico suficiente para satisfacer los requerimientos energéticos y conectarse a la red eléctrica de Puno.

Achuma (2019), “Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de San Jerónimo, Cusco – 2019”, El objetivo de este estudio fue evaluar la posibilidad de generar energía eléctrica utilizando el viento en el distrito de San Jerónimo, Cusco. Para ello, se analizaron los datos de la estación meteorológica “Granja Kayra” de 2009 a 2018. La extrapolación de las velocidades del viento a diferentes alturas, la determinación de la distribución de Weibull de las velocidades del viento y la estimación de la producción de energía eléctrica con cinco aerogeneradores fueron todos componentes de la técnica utilizada. El estudio encontró que a 90 metros, la velocidad media del viento es de 6,4 m/s, con una distribución de Weibull que indica que las velocidades más probables son entre 3 y 7 m/s. El viento está en dirección noreste. Según estos hallazgos, a 90 metros de altura se pueden producir 5506.49 MWh/año de energía eléctrica, lo que representa el 46.20 % del consumo total de electricidad del distrito de San Jerónimo.

Luque (2018), “Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el Distrito de Chiguata – Arequipa, 2018”, El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad del distrito de Chiguata, Arequipa, para utilizar el viento como fuente de energía eléctrica. Para lograr este objetivo, se realizaron análisis de los datos de velocidad y dirección del viento recopilados por la estación meteorológica de Chiguata entre 2013 y 2017. El método empleado incluyó el



cálculo de la densidad del aire en el área de estudio, la extrapolación de velocidades del viento a diferentes alturas (30, 60 y 90 metros), la aplicación de la distribución de Weibull para calcular la probabilidad de que una velocidad de viento específica ocurriera a una altura de 90 metros, la estimación del potencial eólico del área y la simulación de la generación de energía eléctrica a través de varios aerogeneradores. Los hallazgos indicaron que la región tiene una capacidad eólica que podría cubrir el 48.15% de la demanda energética del distrito de Chiguata. Finalmente, el estudio demostró que la producción de energía eléctrica a partir del viento en Chiguata es técnicamente factible y ofreció una opción prometedora para satisfacer una parte importante de las necesidades energéticas del distrito.

Moreto (2020), “Estimación del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías – Ayabaca”, Se llevaron a cabo mediciones de viento y se examinaron datos históricos en la meseta andina de Frías, Ayabaca, Perú, con el fin de evaluar el potencial eólico para la producción de energía eléctrica. Durante tres meses en 2018, se tomaron mediciones a una altura de 10 metros y se estimaron velocidades promedio de 8.703 m/s; se extrapolaron a alturas de 40 y 60 metros y se estimaron velocidades promedio de 10.54 m/s y 12.03 m/s, respectivamente. Se utilizó un aerogenerador Bornay 6000 para calcular el potencial eólico teórico de 22 667.75 kW-h/año a 60 metros de altura. Un promedio anual de 8.05 m/s de velocidad del viento fue confirmado por los datos históricos del SENAMHI de 1986 a 1991. En conclusión, la investigación encontró que la región tenía un potencial eólico moderado, con velocidades de viento promedio entre 8 y 12 m/s, dependiendo de la altura. Con una producción estimada de 22 667.75 kW-h/año a 60 metros de altura, se demostró que los aerogeneradores son viables técnicamente para generar energía eléctrica. Sin embargo,



para una evaluación completa del potencial eólico y su factibilidad económica en la región, se recomienda realizar estudios más amplios y a mayor escala.

Escobar et al (2020), “Medición del potencial recurso eólico en los distritos de Huancavelica, Paucarbamba, Pampas, Acobamba y Lircay”, Para evaluar la capacidad de los vientos eólicos para producir energía eléctrica en Huancavelica, Perú, se examinaron los datos de velocidad del viento de cinco distritos en 2017. En todos los distritos, la velocidad del viento superó los 2 m/s, lo que indica un potencial eólico adecuado para la zona. Los datos también demostraron ser apropiados para el uso de aerogeneradores de baja potencia (70 kilovatios por día). Según el estudio, Huancavelica cuenta con una gran cantidad de potencial eólico para la producción de energía renovable, ya que los distritos examinados tienen un comportamiento del viento uniforme o cíclico. Para una evaluación completa del potencial eólico y su viabilidad económica en la región, se proponen estudios más profundos.

Rojas (2020), “Evaluación de los recursos eólicos para la generación de energía eléctrica a pequeña escala en el distrito de Huachac”, Se analizaron los datos de velocidad del viento y se calcularon los potenciales de generación con varios aerogeneradores en Huachac, Junín, Perú, con el fin de evaluar el potencial eólico para la producción de energía eléctrica a pequeña escala. A 20 metros de altura, la velocidad promedio anual del viento fue de 2,7 m/s, lo que indica un potencial eólico moderado. Los aerogeneradores Enair E30Pro, E70Pro y E200 tuvieron un potencial de generación de energía de 999 kilovatios hora/año, 1520 kilovatios hora/año y 10100 kilovatios hora/año, respectivamente. Aunque la generación de energía eólica es factible en Huachac, los aerogeneradores que se han analizado no logran un rendimiento óptimo debido a las condiciones del viento en la región. Para maximizar el potencial eólico y la rentabilidad



de un proyecto de energía eólica en la región, se recomienda considerar aerogeneradores con especificaciones más adecuadas.

(Chavesta & Elorreaga (2021), “Metodología para estimar el potencial eólico en una determinada zona para el diseño de aerogeneradores, Salaverry – La Libertad”, En Salaverry, Perú, se creó una técnica para estimar el potencial eólico y evaluar el riesgo estructural de las turbinas eólicas. Los datos de flujo de viento se recolectaron durante cuatro meses y se procesaron estadísticamente utilizando varias técnicas de estimación. La distribución de Weibull fue la más precisa, con una producción energética promedio mensual estimada de 801.69 MWh/mes. Se estimó un retorno de inversión de 11 años para la implementación de aerogeneradores con una vida útil de 20 años. Además, el estudio encontró un aumento significativo del peligro estructural de las turbinas eólicas cuando las velocidades de viento superan los 15 m/s. Los hallazgos del estudio corroboran el gran potencial eólico de Salaverry para producir energía eléctrica. La metodología creada y los análisis realizados brindan datos útiles para el diseño de aerogeneradores apropiados para la región, considerando tanto el potencial energético como el riesgo estructural. Se recomienda realizar estudios más detallados para garantizar que el diseño de los aerogeneradores sea lo más eficiente posible y que el proyecto de energía eólica en la región tenga la mayor rentabilidad posible.

Aldaz & Lopez (2022), “Aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica en pampas de Reque, Chiclayo-2022”, Se llevó a cabo un estudio cuantitativo utilizando un enfoque cuasi-experimental para evaluar el potencial eólico en Pampas de Reque, Perú, y su uso para producir energía eléctrica. Se midieron las velocidades del viento en diferentes alturas y se determinaron los lugares con el mayor potencial eólico. Estimar el potencial energético de la región fue posible gracias a la



distribución de Weibull y los cálculos de energía teórica. Los hallazgos del estudio confirmaron que las Pampas de Reque tienen un gran potencial eólico, especialmente entre las 12 y 13 horas, con velocidades de viento de 6.2 a 9.2 m/s. A una altura de 3 metros, la energía eólica puede generar 11.71 kilovatios por hora y 10 771.12 kilovatios por hora, con un potencial energético estimado de 0.5 V a 1.5 V. Por último, el estudio muestra que Pampas de Reque tiene un gran potencial eólico que puede ser utilizado de manera efectiva para producir energía eléctrica a pequeña y gran escala. La implementación de proyectos eólicos en esta región ayudaría a diversificar la matriz energética de la región, generar energía limpia y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Se recomienda realizar estudios más exhaustivos para determinar la viabilidad técnica y económica de proyectos eólicos específicos en la zona.

(Guerreros Valdivia et al., 2020), “Cálculo del Potencial Eólico en las pampas de La Joya. Arequipa - Perú”, El objetivo del estudio es evaluar el potencial eólico de La Joya, Arequipa, Perú, de 2005 a 2018, con el fin de aumentar la producción de energía eléctrica renovable en la zona. Para describir el comportamiento del viento, se empleó la distribución de Weibull y los datos de velocidad del viento se obtuvieron de la estación meteorológica de la Fuerza Aérea del Perú. Los hallazgos indican que la región tiene un potencial eólico moderado, con velocidades promedio de 4 a 5 m/s y un potencial de generación de energía eólica de 500 a 1000 kilovatios por metro cuadrado al año. Según la investigación, La Joya tiene un gran potencial eólico para proyectos a pequeña y mediana escala. La técnica y los hallazgos pueden ser utilizados como guía para proyectos eólicos futuros en la región y el país, que ayudarán a diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se recomienda realizar estudios más detallados para determinar la viabilidad



técnica y económica de proyectos específicos, considerar su integración con otras fuentes de energía renovable y fomentar la participación de la comunidad local en su desarrollo.

Vera González (2019), “Estudio para la implementación de un parque eólico en la costa norte colombiana”, El objetivo principal del presente estudio fue crear una técnica integral para evaluar los recursos eólicos en una ubicación específica y determinar la viabilidad técnica y económica de establecer un parque eólico en esa ubicación. La metodología sugerida se basó en el análisis y procesamiento de datos de viento medidos in situ y datos históricos de organizaciones gubernamentales nacionales e internacionales. Los hallazgos del estudio proporcionaron información útil para la toma de decisiones sobre la ubicación de un parque eólico. El potencial eólico de la zona, la confiabilidad de los datos de viento, el tratamiento adecuado de los datos previos a la simulación y la selección del aerogenerador más adecuado para las condiciones específicas del sitio fueron los parámetros más importantes a tener en cuenta al seleccionar el emplazamiento.

García et al. (2017), “Caracterización del recurso eólico utilizando el software Windographer”, El objetivo principal fue calcular la velocidad y dirección del viento a una altura de 80 metros utilizando el software Windographer. Para evaluar el potencial eólico de un lugar y evaluar la viabilidad de implementar proyectos de energía eólica, es fundamental estimar las características del viento a dicha altura. El estudio utilizó el programa Windographer, que tiene un algoritmo de extrapolación que estima el comportamiento del viento en alturas superiores a partir de datos medidos en alturas inferiores. Los resultados del estudio brindaron información útil sobre el comportamiento del viento en la zona de estudio a 80 metros. El análisis de la factibilidad de llevar a cabo proyectos de energía eólica en la región se llevó a cabo mediante la estimación de la velocidad y dirección del viento a esa altura.





Artur (2023), Estudio do potencial eólico em dom pedrito/rs através do software WAsP”, Evaluar el potencial eólico de la región de Dom Pedrito en Rio Grande do Sul, Brasil, para determinar si es adecuada para el desarrollo de proyectos de energía eólica. Con densidades de potencia promedio de  $320 \text{ W/m}^2$  y  $430 \text{ W/m}^2$ , respectivamente, se encontró un potencial eólico prometedor a alturas de 150 y 200 metros. Los resultados para 100 metros no eran satisfactorios. Se descubrieron factores adicionales que favorecen el crecimiento de proyectos eólicos en la región. Según el estudio, Dom Pedrito tiene un potencial eólico significativo, especialmente en áreas elevadas, lo que lo hace una ubicación prometedora para el desarrollo de energía eólica. La viabilidad de los proyectos eólicos en la región también está respaldada por las características favorables del terreno y la existencia de infraestructura de transmisión de energía existente.

Artillo (2017), “Estudio del potencial eólico y viabilidad de parque eólico en Andalucía”, La investigación examina el potencial y la factibilidad de instalaciones eólicas en Carboneras (Almería), Baza (Granada) y Medina Sidonia (Cádiz). Para evaluar el potencial eólico, la ubicación óptima de las turbinas y la energía generable, se utilizaron datos de viento de varias fuentes, hojas de cálculo, Google Maps y un algoritmo desarrollado en Matlab. Los hallazgos se compararon con el programa RETScreen del gobierno canadiense, y los hallazgos fueron similares, lo que demuestra que la metodología sugerida es válida. El estudio concluye que las tres áreas tienen un gran potencial eólico y que la metodología utilizada es útil para estudios de viabilidad iniciales. Se recomienda realizar investigaciones más exhaustivas para garantizar que el diseño y la rentabilidad de los parques eólicos de cada región sean los más eficientes posible.

Tavares et al (2017), “Caracterização do Regime de ventos no piauí para o aproveitamento de energia eólica”, El objetivo del estudio es identificar lugares



adecuados para la producción de energía eólica en ocho municipios del estado de Piauí, Brasil. Se utilizaron datos del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) del año 2010 para analizar el perfil de velocidad del viento y la dirección del viento. Según los hallazgos, Paulistana y Parnaíba tienen un potencial eólico adecuado, mientras que los demás municipios no alcanzan el nivel requerido para que los proyectos eólicos sean viables. Según la investigación, Paulistana y Parnaíba son áreas potenciales para la construcción de parques eólicos en el estado de Piauí. Para evaluar la viabilidad técnica y económica de proyectos específicos, que contribuyan a la diversificación de la matriz energética regional y la promoción de energías renovables, se recomienda realizar estudios más detallados en estos municipios.

Argüello (2019), “Estudio del recurso eólico, implantación preeliminar y viabilidad económica de un parque eólico de 30 Mw en Aranguren (Navarra)”, El estudio examina la factibilidad de un parque eólico de 30 MW en Aranguren (Navarra), España, teniendo en cuenta su potencial, rentabilidad, impacto social y ambiental. La evaluación del potencial eólico y la ubicación de los aerogeneradores se realizaron utilizando el programa WAsP 10. Se analizaron varios modelos de turbinas para determinar cómo maximizar la producción de energía. Según los hallazgos, el parque eólico tiene un potencial de 92,96 GWh/año, lo que equivale al consumo anual de 30,000 hogares, y evitaría la emisión de 60,000 toneladas de CO<sub>2</sub>. Como lo demuestra el estudio de viabilidad económica, el proyecto es rentable y atractivo para los inversores. La creación de un parque eólico también generaría empleos y disminuiría la dependencia de energía extranjera. El plan cumple con los objetivos de energía renovable de la Unión Europea y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.



Aragón et al. (2019), “Estudio climatológico de los vientos para la ciudad de Bogotá en el periodo 2010 – 2016”, El objetivo del estudio es comprender la distribución espacial y vectorial del viento en Bogotá entre 2010 y 2016. Los datos de velocidad del viento se analizaron utilizando distribución Weibull, rosas de viento e interpolación Co-Kriging. Los hallazgos muestran que la circulación del viento de la ciudad está significativamente influenciada por los cerros orientales y los vientos alisios. El suroeste tiene la mayor velocidad del viento, mientras que las áreas más cercanas a los cerros del este y del norte tienen las velocidades más bajas. Este estudio es útil para la planificación urbana de Bogotá, la evaluación de la contaminación del aire y el desarrollo de proyectos de energía eólica. Se destaca la necesidad de llevar a cabo investigaciones sobre el clima del viento en Colombia mediante el uso de metodologías sólidas y lapsos de tiempo representativos.

De Ávila et al. (2022), “Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos”, El estudio analiza la velocidad y dirección del viento durante 24 horas durante un mes para evaluar el potencial eólico de una estación meteorológica en Colombia. Se descubrieron las tendencias de la velocidad del viento, la mejor herramienta para ajustar los datos (Weibull y Wind Rose Distribution) y la dirección ideal para la instalación de aerogeneradores. Los hallazgos sugieren que la región tiene un potencial eólico favorable, lo que permite la instalación de aerogeneradores en lugares específicos para maximizar la captación de energía eólica. Este estudio ayuda a los proyectos de energía eólica en Colombia a desarrollarse, proporcionando información crucial sobre su viabilidad.

El Kihel et al. (2023), “Evaluation of Wind Energy Utilisation and Analysis of Turbines in the Fes Meknes Region, Kingdom of Morocco”, El estudio examina cuatro



regiones diferentes de Marruecos que tienen la capacidad de generar electricidad a través de la energía eólica. Se utilizaron datos de velocidad del viento durante 43 años a 10 metros de altura y se eligieron lugares con un buen potencial eólico. Según los hallazgos, solo la región de Fes posee recursos eólicos suficientes para producir electricidad eólica a red. Los otros lugares examinados (El Hajeb, Ifrane y Taounate) tienen recursos eólicos limitados y no son adecuados para este propósito. Esta información es útil para la toma de decisiones sobre inversiones en tecnología eólica y el desarrollo de políticas de energía renovable en Marruecos, enfocando los esfuerzos en áreas con potencial eólico adecuado.

Ifanda et al. (2023), “Optimizing Turbine Siting and Wind Farm Layout in Indonesia”, El objetivo del estudio es maximizar la evaluación y disposición del potencial eólico en una región semiárida de Indonesia. Se realizaron análisis de datos de velocidad del viento en la isla de Sumba durante un año, y se crearon mapas del clima eólico y los recursos de la región utilizando herramientas especializadas (WAsP y Windographer). El Escenario 1 (34 aerogeneradores de 90 kW) maximiza la producción anual de energía neta, mientras que el Escenario 4 (12 aerogeneradores de 250 kW) reduce las pérdidas por interacción. Las prioridades del proyecto determinarán el escenario ideal. Este estudio es útil para la creación de proyectos eólicos efectivos en Indonesia.



## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Energía Eólica**

La energía eólica, también conocida como energía cinética del viento, se utiliza para producir electricidad. Dado que el viento es un recurso renovable, limpio y respetuoso con el medio ambiente, estamos ante una energía renovable. Esto no significa que sea inocua o sin efectos negativos; todas las cosas tienen efectos negativos, pero esta energía renovable tiene un impacto ambiental muy bajo en comparación con las energías no renovables u otras renovables, lo que la hace muy eficiente. (Roperó Portillo, 2023)

La utilización de cualquier fuente de energía tiene tanto beneficios como desventajas, y la energía eólica, por supuesto, no puede escapar de esta premisa. Es inagotable, libre y no contamina. Sin embargo, los mayores inconvenientes son que se encuentran dispersos, son aleatorios e intermitentes. En algunas zonas, las condiciones para la presencia del recurso energético son excepcionalmente favorables para su empleo.

### **2.2.2. Potencial Eólico**

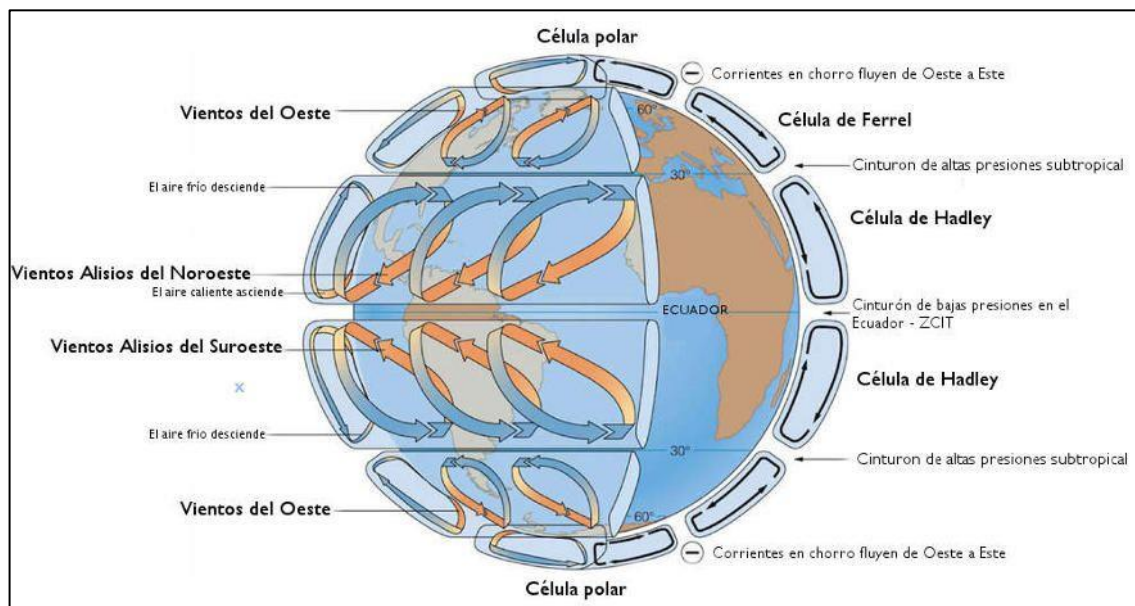
El potencial eólico es la cantidad de energía que se puede obtener del viento en un lugar determinado. Se mide en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La capacidad total de una región para generar electricidad a partir del viento se conoce como su potencial eólico. Esto depende de muchos factores, incluida la velocidad del viento, la densidad del aire, la tecnología disponible y las características del sitio.

### 2.2.3. El Viento

El viento es principalmente el resultado de las diferencias de presión atmosférica y la fuerza de Coriolis. Los gradientes de presión conducen el aire desde áreas de alta presión hacia áreas de baja presión. Esto se debe a las variaciones en la temperatura y la altitud en la presión atmosférica. El viento se desvía hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur debido a la fuerza de Coriolis, que es causada por la rotación de la Tierra. La dirección y la velocidad del viento están determinadas por estos dos factores en conjunto. (Meteopedia, 2023)

**Figura 1**

*Dirección predominante de los vientos del planeta*



Nota: náutica formación 2022

#### 2.2.3.1. Diferencias de Presión Atmosférica

Las variaciones en la presión atmosférica son la principal causa del viento.

El aire tiende a fluir hacia áreas de baja presión cuando una región de la atmósfera



tiene alta presión. El viento es producido por este movimiento del aire. La desigualdad en el calentamiento de la superficie terrestre es la causa de las variaciones en la presión atmosférica. Las áreas que reciben más calor solar se calientan más, lo que hace que el aire se expanda y se eleve, lo que crea una zona de baja presión. En contraste, las áreas que reciben menos calor solar experimentan una disminución de la temperatura, lo que hace que el aire se expanda y caiga, lo que crea una zona de alta presión. (Meteo Pirineos, 2022)

#### **2.2.3.2. La Fuerza de Coriolis**

Es un efecto aparente que desvía el movimiento de objetos en movimiento sobre una superficie rotatoria, como la Tierra. En el caso del viento, la fuerza de Coriolis hace que el hemisferio norte se mueva hacia la derecha y el hemisferio sur se mueva hacia la izquierda. La rotación de la Tierra causa esta desviación. La fuerza de Coriolis desvía una masa de aire hacia un lado cuando se mueve en línea recta porque los diferentes puntos del planeta tienen diferentes velocidades de rotación. El efecto de Coriolis es más fuerte en las latitudes más altas y menos fuerte en las regiones ecuatoriales. (Portillo, 2023)

#### **2.2.4. Variabilidad de la velocidad del viento**

Cada escala de estudio y análisis de la variabilidad de la velocidad del viento tiene sus propias características y procesos dominantes. Las principales escalas de análisis son la micro escala, la meso escala y la macro escala:



#### 2.2.4.1. En la Macro Escala

Desde el límite de la atmósfera en altura hasta unos 1000 km horizontalmente, los vientos se estudian en áreas extensas de la superficie de la Tierra. Estos vientos, también conocidos como vientos globales, controlan el clima y el tiempo del planeta. Los vientos ciclónicos y anticiclónicos están incluidos en la escala macro. (Lutgens et al., 2018)

- **Los vientos globales:** son corrientes de aire que viajan a gran escala y tienen un impacto en los patrones climáticos de todo el mundo. Los vientos del oeste, los vientos alisios y las corrientes en chorro son ejemplos de vientos globales.
- **Los vientos ciclónicos:** ocurren cuando el aire asciende y gira en sentido antihorario en el hemisferio norte y en sentido horario en el hemisferio sur alrededor de sistemas de baja presión. Las tormentas y los sistemas meteorológicos inestables están relacionados con estos vientos.
- **Los vientos anticiclónicos:** ocurren en el hemisferio norte en sentido horario y en el hemisferio sur en sentido antihorario. Estos vientos ocurren alrededor de sistemas de alta presión. Estos vientos están relacionados con condiciones meteorológicas estables y despejadas.

#### 2.2.4.2. En la Meso Escala

En la meso escala, se estudian los vientos que surgen en un área sobre la superficie terrestre con una longitud de entre 10 y 100 km y una altura horizontal de entre uno y 10 km. Esta escala considera tanto los vientos estacionales como los locales. (Lutgens et al., 2018)





- **Los vientos estacionales:** cambian dependiendo de la estación del año. Los cambios estacionales en la temperatura y la presión atmosférica afectan estos vientos, que pueden tener un impacto significativo en el clima regional. Ejemplos incluyen los monzones, que traen estaciones húmedas y secas en regiones tropicales y subtropicales.
- **Los vientos locales:** tienen un impacto en áreas más pequeñas y están muy influenciados por la orografía local. Los vientos de la región incluyen;
  - **Brisas marinas y terrestres:** Durante el día, la tierra se calienta más rápido que el mar, lo que provoca que las brisas marinas soplen hacia la tierra. Por la noche, el proceso se invierte y se produce una brisa terrestre que sopla desde la tierra hacia el mar.
  - **Brisas del valle y de montaña:** Durante el día, la brisa del valle ocurre cuando el aire en los valles se calienta y sube por las laderas de las montañas. El aire se enfría y desciende por las laderas durante la noche (brisa de montaña).

#### 2.2.4.3. En la Micro Escala

Se estudian los vientos en áreas de cinco a 10 km horizontales y cerca de 1 km de altura sobre la superficie de la tierra. En esta escala, la proximidad al suelo y los obstáculos en el terreno, como edificios, árboles y otros elementos, tienen un gran impacto en los vientos. Estos factores tienen el potencial de alterar significativamente la dirección y la velocidad del viento. (Lutgens et al., 2018)

- **Proximidad al suelo y obstáculos:** La fricción causada por el viento al interactuar con el suelo y los obstáculos cercanos reduce la velocidad del



viento cerca de la superficie. Los edificios, los árboles y otras estructuras pueden generar turbulencias y desviar el viento.

- **Cambios de dirección:** La topografía y los obstáculos pueden hacer que el viento cambie de dirección rápidamente. Por ejemplo, el viento puede cambiar su trayectoria al fluir alrededor de edificios o colinas.
- **Efectos de la colina y el túnel:** Efecto de la colina; debido a la compresión del flujo de aire, el viento puede acelerarse mientras sube una colina. El término para este fenómeno es el efecto Venturi. Efecto del túnel; el viento puede canalizarse y aumentar su velocidad en valles estrechos o entre edificios altos. El aumento de velocidad se debe a la reducción del área por la que el viento puede pasar, lo que hace que el aire pase más rápido.

## 2.2.5. Variables del Viento

### 2.2.5.1. Velocidad Media del Viento

La velocidad media del viento es una medida estadística que muestra la velocidad promedio del viento en un lugar y durante un período de tiempo dado. Esta medida es esencial para una variedad de aplicaciones, como la planificación de proyectos de energía eólica, el diseño de estructuras y la evaluación de riesgos relacionados con el viento. La velocidad media del viento da una visión general del comportamiento del viento en una región, lo que permite tomar decisiones informadas en estos ámbitos. (Burton et al., 2011)

- **Planificación de proyectos de energía eólica:** el potencial eólico de una región y la viabilidad de instalar aerogeneradores dependen de la velocidad

- media del viento. Una velocidad media elevada generalmente indica un mayor potencial para la generación de energía eléctrica a partir del viento.
- **Diseño de estructuras:** Ingenieros y arquitectos diseñan edificios y otras estructuras que puedan resistir las fuerzas del viento utilizando la velocidad media del viento. Esto implica tener en cuenta las cargas de viento en puentes, torres y rascacielos.
  - **Evaluación de riesgos:** la velocidad media del viento ayuda a identificar áreas propensas a vientos fuertes, lo que permite implementar medidas de mitigación para reducir los riesgos relacionados, como daños a la agricultura y la infraestructura.

#### 2.2.5.2. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad que se utiliza para representar variables aleatorias positivas que no tienen un valor mínimo teórico. Es una herramienta ampliamente utilizada en ingeniería, particularmente en análisis de confiabilidad y estudios de energía eólica.

También puede representar una amplia gama de formas, desde formas en “campana” (similares a la distribución normal) hasta formas con caídas o ascensos significativos. Esta versatilidad la hace ideal para modelar variables que muestren varios patrones de fallo o comportamiento. (Benites, 2022).

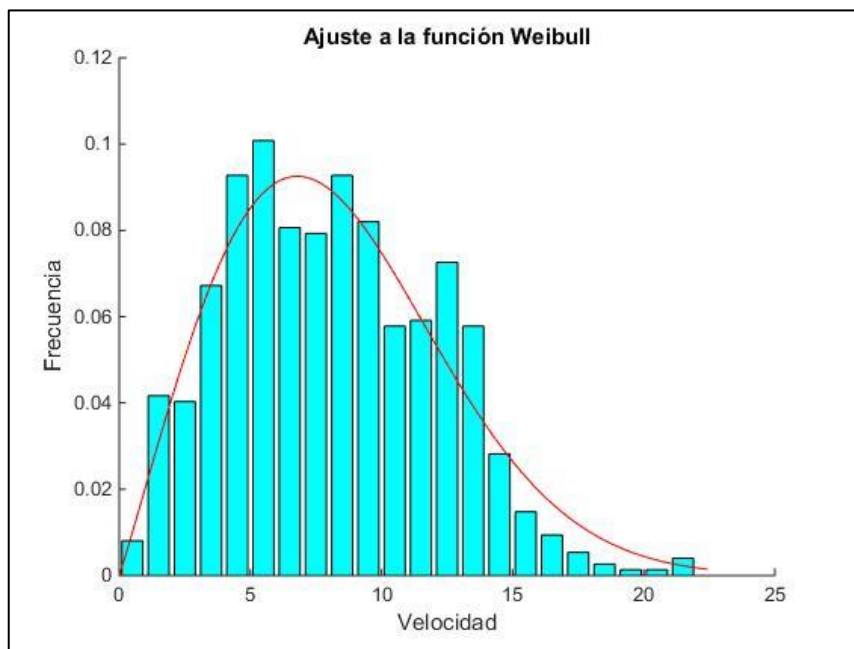
$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{u}{A}\right)^k}$$

Donde:

- **$k$** : Es el parámetro de forma, que regula cómo se forma la curva de distribución. Una distribución con una cola larga hacia la derecha está indicada por un valor bajo de  $k$ , lo que indica una mayor probabilidad de velocidades del viento más bajas. Un valor  $k$  alto sugiere una distribución con una forma más acampanada, lo que indica una mayor probabilidad de que las velocidades del viento estén cerca del valor más probable.
- **$A$** : Es el parámetro de escala, que muestra la escala de distribución. Determina la velocidad del viento en la que la función de densidad de probabilidad alcanza su punto máximo.

**Figura 2**

*Distribución de Weibull para Velocidades de Viento*



Nota: Windographer

### 2.2.5.3. Variación de la Altura del Viento con la Altura

A todas las alturas, el viento no sopla a la misma velocidad. Debido a la disminución de la densidad del aire y la menor influencia de la fricción con la superficie terrestre, la velocidad del viento aumenta con la altura. La ley potencial, también conocida como ley de potencia o ley de Hellmann, es una aproximación empírica que explica cómo cambia la velocidad del viento con la altura sobre la superficie terrestre. (Manwell et al., 2010)

Esta ley se representa de la siguiente fórmula:

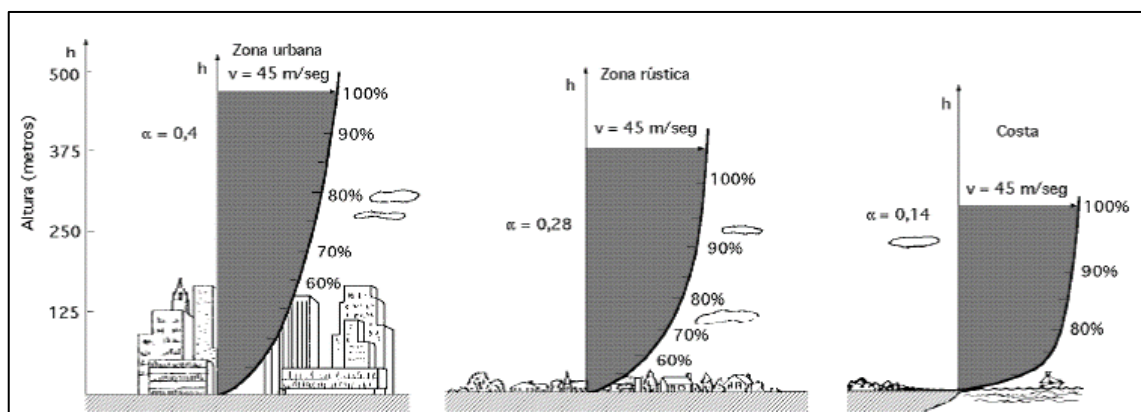
$$v(u) = v_0 \left( \frac{u}{u_0} \right)^\alpha$$

Donde:

- $v(u)$ : es la velocidad del viento a una altura de referencia  $u$ .
- $v_0$ : es la velocidad conocida a la altura de referencia  $u_0$ .
- $\alpha$ : es el coeficiente de rugosidad, varía con la altura, hora del día.
- $u$ : representa la altura donde se desea conocer la velocidad  $v(u)$ .

**Figura 3**

*Variación de la Velocidad del Viento con la Altura Sobre el Terreno*



Nota: caracterización del viento 2022



#### 2.2.5.4. La Dirección

La dirección del viento se refiere a la orientación desde la cual proviene el viento y se expresa generalmente en grados, donde 0 grados corresponden al norte, 90 grados al este, 180 grados al sur y 270 grados al oeste. La dirección del viento puede variar ampliamente según las condiciones meteorológicas locales, la topografía del terreno y otros factores atmosféricos. (Lutgens et al., 2018)

- **Condiciones meteorológicas locales:** Los vientos pueden cambiar significativamente debido a sistemas de alta y baja presión, frentes meteorológicos y tormentas. Por ejemplo, cuando hay un frente frío, el viento suele cambiar de dirección de manera abrupta.
- **Topografía del terreno:** La dirección del viento está influenciada por montañas, valles y otros elementos geográficos. El viento suele canalizarse a lo largo de valles y puede cambiar de dirección cuando encuentra obstáculos como colinas y edificios.
- **Otros factores atmosféricos:** incluyen la presencia de cuerpos de agua, la variación diurna de la temperatura y la rotación de la Tierra (efecto Coriolis). Por ejemplo, las diferencias de temperatura entre la tierra y el mar hacen que las brisas marinas y terrestres cambien de dirección durante el día y la noche.

#### 2.2.5.5. Rosa de Viento

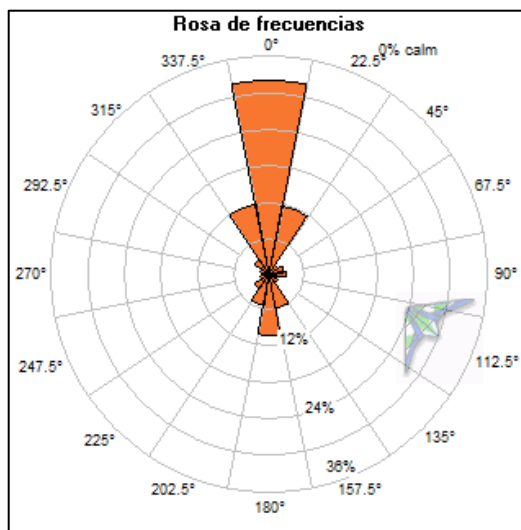
La rosa del viento muestra cómo el viento se ha distribuido en un lugar en particular durante un período de tiempo en particular. Esta herramienta es vital para visualizar la frecuencia y la velocidad de los vientos en diferentes

direcciones. Para aplicaciones como la planificación de proyectos de energía eólica, el diseño de aeropuertos, la construcción de edificios y la gestión de la calidad del aire, la rosa del viento ayuda a entender los patrones predominantes del viento. (Burton et al., 2011)

- **Rosa de Frecuencia:** Muestra la cantidad (porcentaje) de viento que sopla desde cada dirección. La longitud de los brazos de la rosa del viento muestra este dato.

**Figura 4**

*Rosa de Frecuencia*

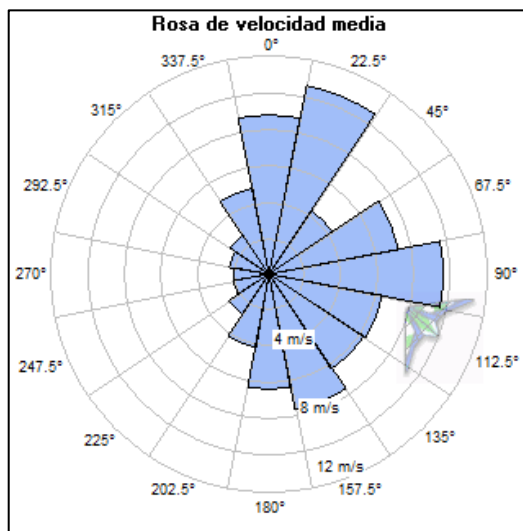


Nota: Windographer, en este ejemplo se puede observar cómo la dirección de procedencia del viento es predominantemente Norte.

- **Rosa de Velocidades:** Representa las velocidades medias de cada dirección a lo largo de un tiempo determinado.

**Figura 5**

*Rosa de Velocidad Media*

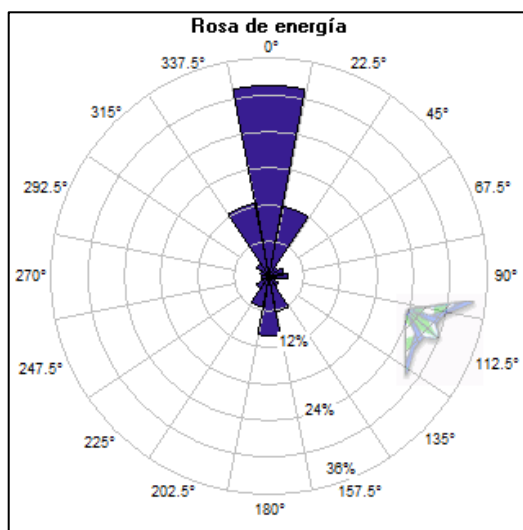


Nota: Windographer, En este ejemplo se observa que la velocidad media del viento es alta en las direcciones Norte-Noreste, Este y Sur-Sureste, independientemente de que sea frecuente o no el hecho de que el viento sople desde esas direcciones.

- **Rosa de energía:** Es una mezcla de ambas rosas de frecuencia y de velocidad media, aporta información del cual es la alineación óptima de los aerogeneradores de un parque eólico.

**Figura 6**

*Rosa de Energía*



Nota: Windographer, En este ejemplo se observa que la dirección energética predominante es la Norte.





#### 2.2.5.6. La rugosidad

La irregularidad o accidentabilidad de la superficie del suelo se conoce como rugosidad del suelo. El movimiento del viento y otros fluidos cerca de la superficie se ve afectado por elevaciones, depresiones, obstáculos y variaciones en la textura del suelo. Además de otros procesos atmosféricos y geofísicos, esta rugosidad tiene un impacto significativo en la dirección y la velocidad del viento. (Stull, 1988)

- **Influencia del viento:** la rugosidad del terreno afecta la velocidad y dirección del viento a diferentes alturas sobre la superficie. Terrenos más rugosos, como áreas urbanas con edificios altos y árboles, pueden provocar turbulencia y cambiar la dirección del viento. Por el contrario, los terrenos más planos y abiertos, como campos y praderas, permiten un flujo de viento más uniforme.
- **Efecto sobre la atmósfera:** Afecta la circulación atmosférica local, la dispersión de contaminantes y la formación de nubes. Las variaciones en la rugosidad pueden generar microclimas y alterar la distribución de la temperatura y la humedad en un lugar específico.

**Tabla 1***Clases y longitudes de rugosidad*

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad $z_0$ (m)	Índice de energía (%)	Tipo de paisaje
0	0,0002	100	Superficie del agua
0,5	0,0024	73	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, p. ej., pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.
1	0,03	52	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Solo colinas suavemente redondeadas
1,5	0,055	45	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1,250 m
2	0,1	39	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m
2,5	0,2	31	Terreno agrícola con muchas casas y arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m
3	0,4	24	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual
3,5	0,8	18	Ciudades mas grandes con edificios altos
4	1,6	13	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

Nota: Atlas Eólico Europeo.

**2.2.6. Densidad de Potencial Eólico**

La densidad de potencia eólica es la cantidad de energía eólica disponible en un momento determinado y se expresa en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Esta medida es crucial para la evaluación del potencial energético de una región y la creación de sistemas de energía eólica eficientes.



La densidad de potencia eólica depende de dos factores principales: la velocidad del viento y la densidad del aire en ese momento. Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3$$

Donde:

- $P$ : es la densidad de potencia del viento en W/m<sup>2</sup>.
- $\rho$ : es la densidad del aire kg/m<sup>3</sup>.
- $v$ : es la velocidad del viento en m/s.

La densidad del aire ( $\rho$ ) generalmente se considera un valor constante al nivel del mar (alrededor de 1.225 kg/m<sup>3</sup>), aunque puede variar ligeramente con la temperatura, la altitud y la humedad atmosférica.

Como se muestra en esta ecuación, la densidad de potencia eólica aumenta significativamente con el cubo de la velocidad del viento. Como resultado, un aumento significativo en la cantidad de energía disponible puede ser alcanzado a través de pequeños aumentos en la velocidad del viento.

Para calcular la densidad de potencia del viento a diferentes alturas, usaremos la velocidad promedio del viento obtenida a partir de la distribución de Weibull.



## **2.2.7. Base de datos**

### **2.2.7.1. SENAMHI**

En Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) es el organismo responsable de vigilar y proporcionar datos sobre la meteorología e hidrología. Su objetivo principal es producir y difundir pronósticos, alertas y avisos meteorológicos, así como realizar estudios e investigaciones sobre el clima y los recursos hídricos del país.

### **2.2.7.2. NASA - POWER**

El proyecto Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) de la NASA proporciona información sobre recursos energéticos y clima a nivel mundial de forma gratuita y accesible. El objetivo principal de POWER es proporcionar información detallada sobre el clima y los recursos energéticos renovables, como la radiación solar y el viento, para apoyar la toma de decisiones en una variedad de aplicaciones, como la planificación de proyectos de energía renovable, la gestión de recursos naturales y la investigación científica.

## **2.2.8. Programas de simulación**

### **2.2.8.1. Software Windographer**

El software Windographer se especializa en el análisis y visualización de datos de viento. Se usa principalmente en la industria de la energía eólica y en estudios relacionados con el recurso eólico. Los usuarios pueden importar, procesar y analizar datos de viento de una variedad de fuentes, como estaciones



meteorológicas, torres de medición eólica y modelos numéricos, con este software.:

- **Importación rápida de datos:** Windographer puede importar datos de casi cualquier formato y determinar automáticamente su estructura. Identifica las columnas con datos de velocidad, dirección, temperatura, presión, humedad relativa y radiación solar.
- **Análisis y gestión de varios conjuntos de datos:** Todos sus conjuntos de datos relacionados, como datos de referencia a largo plazo, torres meteorológicas y dispositivos de detección remota, pueden almacenarse en un solo archivo de trabajo. El Windographer puede procesar cientos de años de datos y docenas de conjuntos de datos.
- **Análisis estadístico:** brinda herramientas para realizar análisis estadísticos detallados de los datos de viento, como cálculos de velocidad y dirección del viento, distribución de frecuencia y análisis de rosa del viento.
- **Visualización interactiva:** ofrece histogramas de frecuencia, gráficos de rosas de viento, gráficos de series temporales desplazables y más. Además, puede comparar varias ventanas de visualización mientras realiza ajustes.
- **Exportación a modelos de flujo de viento:** Windographer puede exportar datos a prácticamente cualquier modelo de flujo de viento utilizado en el sector de la energía eólica.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es cuantitativo, observacional con elementos deductivos, dado que se aplicaron modelos y datos numéricos para evaluar y comprender el potencial eólico en la península de Capachica.

- **Cuantitativo:** ya que se analizaron datos numéricos de la velocidad del viento y otros parámetros pertinentes.
- **Observacional:** se utilizan datos de observación históricos recopilados de estaciones meteorológicas.
- **Deductiva:** porque utilizaron partes de teorías o hipótesis sobre el potencial eólico de la zona y validaron esas hipótesis con datos específicos.

##### 3.1.1. Relación entre las Variables

- La velocidad del viento (variable dependiente) está influenciada por la altura de medición, la estación del año/mes, y la hora del día (variables independientes).
- La frecuencia del viento (variable dependiente) depende de la dirección del viento y la velocidad del viento (variables independientes).
- La rosa de viento (variable dependiente) se construye a partir de la dirección y la velocidad del viento (variables independientes).
- La densidad de potencia eólica (variable dependiente) está determinada por la velocidad del viento y la densidad del aire.

### 3.2. LUGAR DE ESTUDIO

Se seleccionan tres lugares para el análisis del potencial eólico:

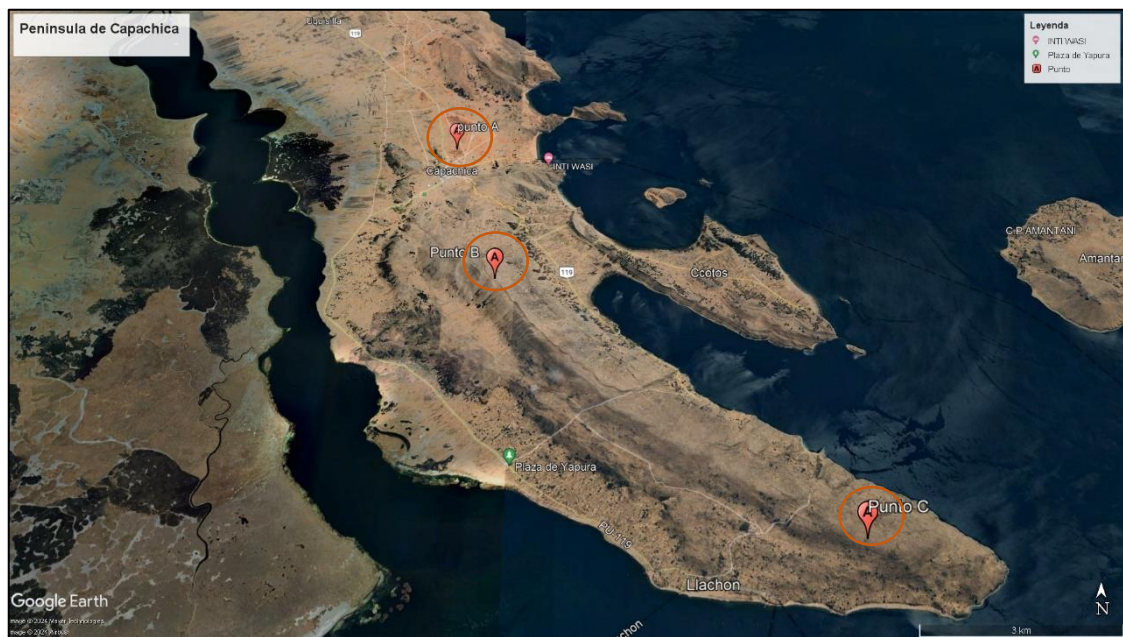
La ubicación del punto A es; latitud  $-15.635147^\circ$  y longitud  $-69.829653^\circ$ , y tiene una altitud de 3854 m.s.n.m.

La ubicación del punto B es; latitud  $-15.672151^\circ$  y longitud  $-69.820004^\circ$ , y tiene una altitud de 4214 m.s.n.m.

La ubicación del punto C es, latitud  $-15.719248^\circ$  y longitud  $-69.764352^\circ$ , y tiene una altitud de 4084 m.s.n.m.

#### Figura 7

##### *Península de Capachica*



Nota: Google Earth 2023, Ubicación de la península de Capachica

### 3.3. OBTENCIÓN DE BASE DE DATOS DE VIENTO

Los datos meteorológicos históricos fueron recopilados de la estación más cercana a la Península de Capachica, el SENAMHI, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, donde el anemómetro se encontraba a una altura de 2 metros. Los

**Tabla 2**

*Descripción de la Estación Meteorológica*

Estación	Capachica – 100021
Tipo:	Convencional, Meteorológica
Latitud:	-15.6134 m S
Longitud:	-69.842 m O
Departamento:	Puno
Provincia:	Puno
Distrito:	Capachica
Altitud:	3822 m.s.n.m.

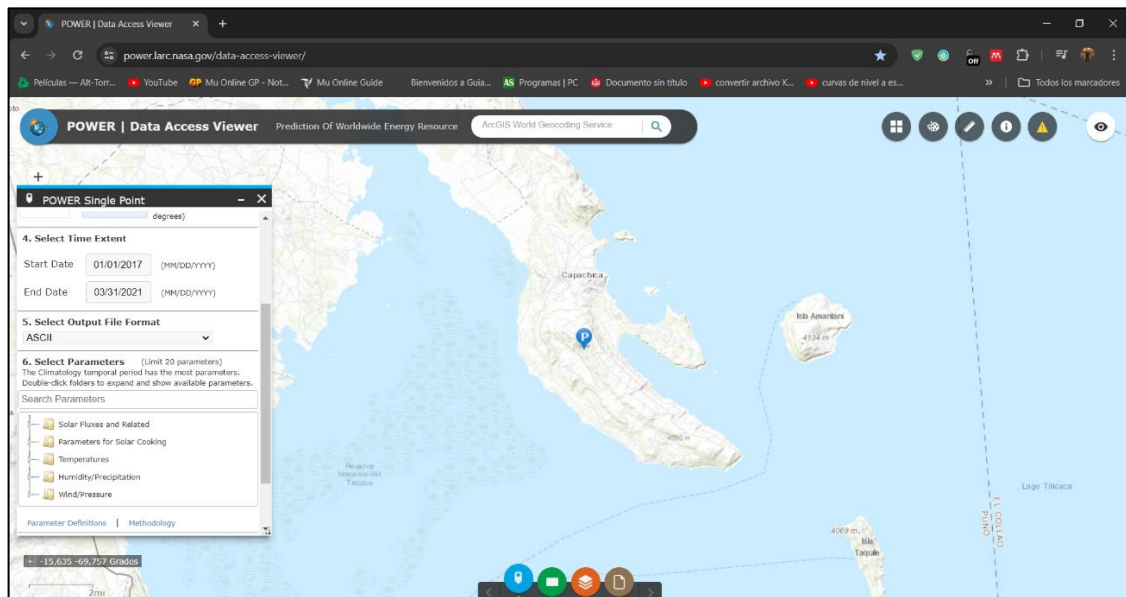
Nota: SENAMHI (2023)

También se obtuvo de la plataforma de la NASA ([power.larc.nasa.gov](http://power.larc.nasa.gov)). Obteniendo las variables de velocidad y dirección del viento a 5,10,20,30,40 y 50 metros de altura, considerando un período de tiempo de 2019 a 2023. Teniendo en cuenta las mismas coordenadas del SENAMHI.



## Figura 8

### Plataforma de la NASA



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

## 3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS

### 3.4.1. Herramientas utilizadas

**Windographer:** Software especializado en el análisis y visualización de datos eólicos y datos estadísticos.

**Exel:** para la comparación de datos sobre todo los diagramas de dispersión y cálculos realizados.

### 3.4.2. Pasos en el procedimiento:

#### Carga de Datos:

- Importación de los datos de viento en el software Windographer.



- Formateo de los datos para asegurar compatibilidad con el software, incluyendo la configuración de las unidades de medida y las alturas de medición.

#### **Formateo de Datos:**

- Comprobación de la consistencia de los datos a lo largo del tiempo para identificar posibles errores o anomalías.
- Tratamiento de datos faltantes o erróneos mediante técnicas de interpolación o imputación, según sea necesario.
- Eliminación de valores atípicos que no representen correctamente las condiciones del viento en la zona de estudio.

#### **Análisis de Velocidad del Viento:**

- Evaluación de las velocidades del viento en diferentes alturas (2m, 10m, 50m, 100m) a lo largo de los meses de cada año.
- Identificación de tendencias y variaciones en la velocidad del viento a lo largo de los años de estudio.

#### **Análisis de Dirección del Viento:**

- Uso del software para crear rosas de viento que muestren la frecuencia y la intensidad de los vientos provenientes de diferentes direcciones.
- Identificación de las direcciones más comunes y su relevancia para el diseño de parques eólicos.



### **Cálculo de la Densidad de Potencia:**

- Cálculo de la densidad de potencia eólica a alturas de 2m, 10m, 50m, y 100 m, utilizando el programa Windographer.

### **Cálculo de la Densidad de Potencia Analíticamente:**

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)$$

Donde:

- $\rho$ : es la densidad del aire.
- $A$ : es el parámetro de escala de Weibull.
- $k$ : es el parámetro de forma de Weibull.
- $\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)$ : es la función Gamma evaluada en  $1 + \frac{3}{k}$ .

Para 5 metros del punto A

- $\rho = 0.831 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)
- $A = 2.995 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 2.089$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{2.089}\right) = \Gamma(2.436) \approx 1.269$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.831 \cdot 2.995^3 \cdot 1.269 \approx 14.16 \text{ W/m}^2$$

Para 10 metros del punto A

- $\rho = 0.831 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)



- $A = 3.468 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 2.134$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{2.134}\right) = \Gamma(2.405) \approx 1.248$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.831 \cdot 3.468^3 \cdot 1.248 \approx 21.62 \text{ W/m}^2$$

Para 20 metros

- $\rho = 0.831 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)
- $A = 3.777 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 2.189$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{2.189}\right) = \Gamma(2.370) \approx 1.213$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.831 \cdot 3.777^3 \cdot 1.213 \approx 27.15 \text{ W/m}^2$$

Para 30 metros

- $\rho = 0.831 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)
- $A = 4.056 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 2.194$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{2.194}\right) = \Gamma(2.367) \approx 1.216$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.831 \cdot 4.056^3 \cdot 1.216 \approx 33.71 \text{ W/m}^2$$

Para 40 metros del punto A



- $\rho = 0.831 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)
- $A = 4.269 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 2.186$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{2.186}\right) = \Gamma(2.372) \approx 1.220$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.831 \cdot 4.269^3 \cdot 1.220 \approx 39.43 \text{ W/m}^2$$

Para 50 metros del punto A

- $\rho = 0.831 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)
- $A = 4.445 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 2.177$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{2.177}\right) = \Gamma(2.378) \approx 1.219$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.831 \cdot 4.445^3 \cdot 1.219 \approx 44.48 \text{ W/m}^2$$

Para 5 metros del punto B

- $\rho = 0.800 \text{ kg/m}^3$  (densidad de aire)
- $A = 5.876 \text{ m/s}$  (parámetros de escala de Weibull)
- $k = 3.318$  (parámetros de forma de Weibull)

$$\Gamma\left(1 + \frac{3}{3.318}\right) = \Gamma(1.90) \approx 0.959$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 0.800 \cdot 5.876^3 \cdot 0.959 \approx 77.82 \text{ W/m}^2$$



$$\text{Para 10 metros punto B: } P_{10} = \frac{1}{2} \cdot 0.800 \cdot 6.223^3 \cdot 0.974 \approx 93.88 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 20 metros punto B: } P_{20} = \frac{1}{2} \cdot 0.80 \cdot 6.406^3 \cdot 0.969 \approx 101.89 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 30 metros punto B: } P_{30} = \frac{1}{2} \cdot 0.80 \cdot 6.573^3 \cdot 0.979 \approx 111.20 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 40 metros punto B: } P_{40} = \frac{1}{2} \cdot 0.80 \cdot 6.694^3 \cdot 0.983 \approx 117.94 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 50 metros punto B: } P_{50} = \frac{1}{2} \cdot 0.80 \cdot 6.790^3 \cdot 0.986 \approx 123.46 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 5 metros punto C: } P_5 = \frac{1}{2} \cdot 0.811 \cdot 4.185^3 \cdot 1.059 \approx 31.47 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 10 metros punto C: } P_{10} = \frac{1}{2} \cdot 0.811 \cdot 4.658^3 \cdot 1.075 \approx 44.05 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 20 metros punto C: } P_{20} = \frac{1}{2} \cdot 0.811 \cdot 4.93^3 \cdot 1.054 \approx 51.21 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 30 metros punto C: } P_{30} = \frac{1}{2} \cdot 0.811 \cdot 5.185^3 \cdot 1.057 \approx 59.74 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 40 metros punto C: } P_{40} = \frac{1}{2} \cdot 0.811 \cdot 5.376^3 \cdot 1.062 \approx 66.91 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Para 50 metros punto C: } P_{50} = \frac{1}{2} \cdot 0.811 \cdot 5.532^3 \cdot 1.060 \approx 72.76 \text{ W/m}^2$$

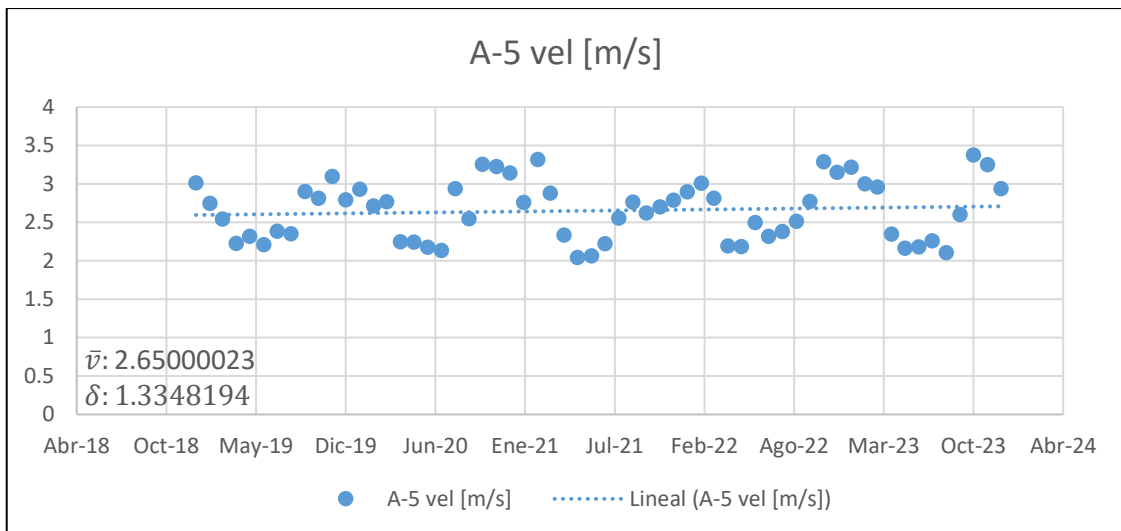
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. VELOCIDAD DE VIENTO A DIFERENTES ALTURAS

**Figura 9**

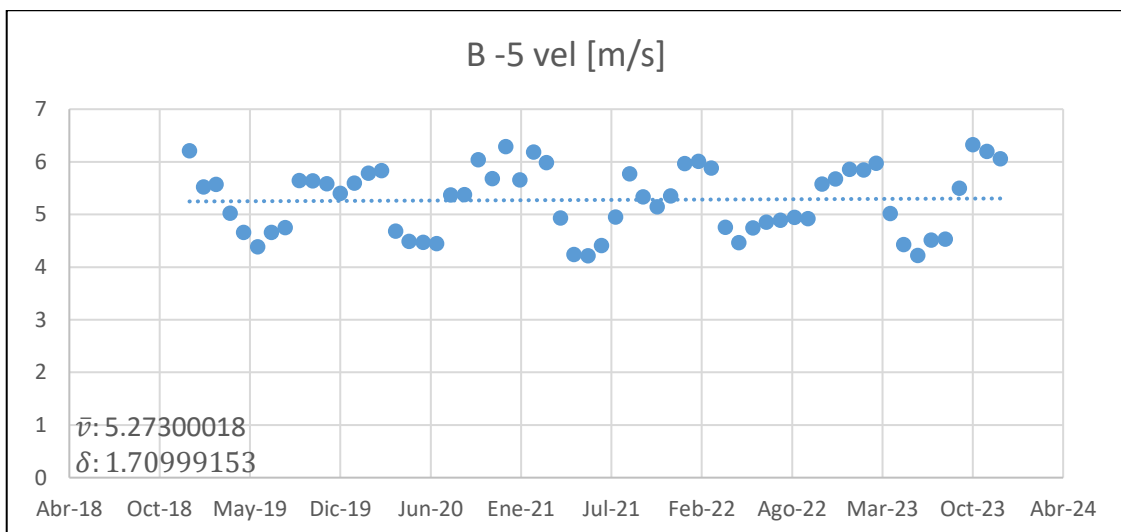
*Diagrama de dispersión a 5 metros de altura en el punto A*



Nota: Elaboración propia

**Figura 10**

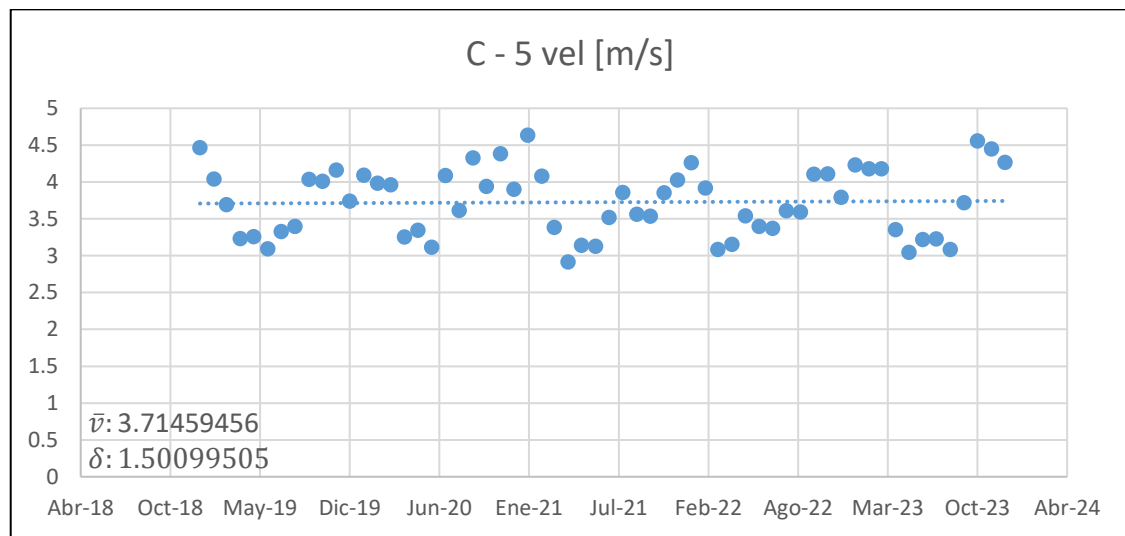
*Diagrama de dispersión a 5 metros de altura en el punto B*



Nota: Elaboración propia

**Figura 11**

*Diagrama de dispersión a 5 metros de altura en el punto C*



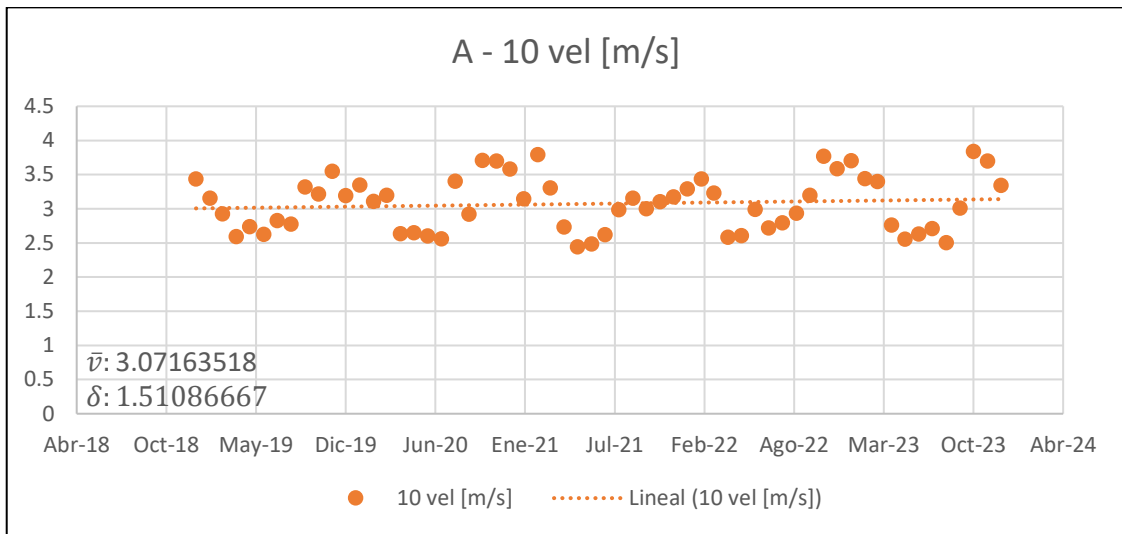
Nota: Elaboración propia

En la figura 9,10 y 11 para la velocidad del viento a 5 metros de altura para los casos A, B y C, se observa que cada uno presenta diferentes características. El caso A muestra velocidades entre 2,0 y 3,4 m/s con una línea de tendencia horizontal, indicando estabilidad en la velocidad promedio de 2,65 m/s y variabilidad moderada sin patrones estacionales claros. El caso B tiene velocidades más altas, entre 4,2 y 6,3 m/s, su tendencia ligeramente ascendente sugiere un aumento gradual en la velocidad promedio de 5,27 m/s, y exhibe una mayor dispersión en los datos. Por último, el caso C presenta velocidades intermedias, oscilando entre 3,9 y 4,6 m/s, con una tendencia estable en torno a 3,71 m/s y variabilidad frecuente, pero menos extrema, sin indicios de patrones estacionales. En resumen, el caso B muestra un leve incremento en la velocidad del viento, mientras que los casos A y C mantienen estabilidad con diferentes niveles de variabilidad.



**Figura 12**

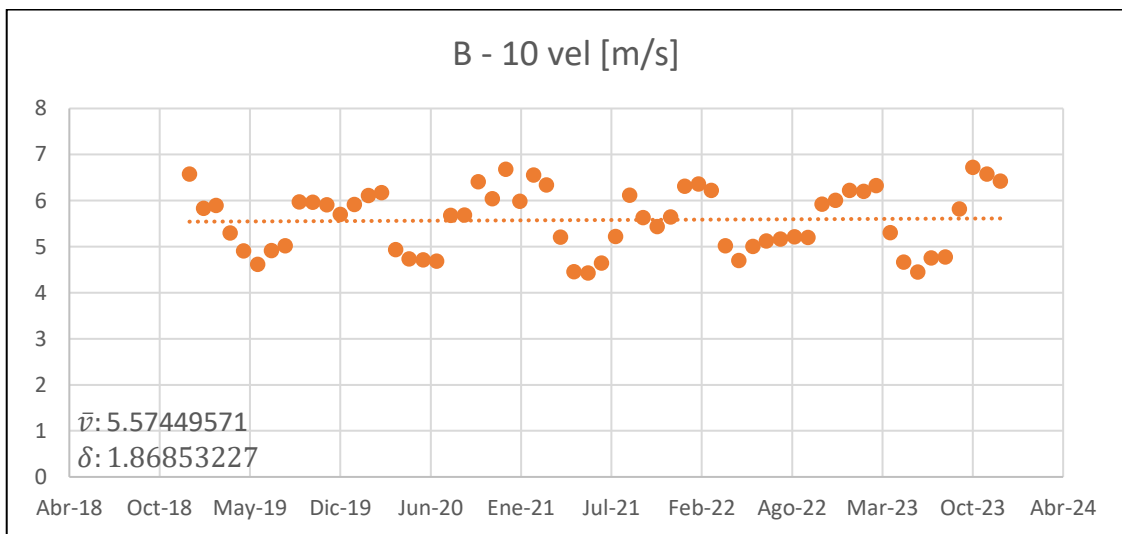
*Diagrama de dispersión a 10 metros de altura en el punto A*



Nota: Elaboración propia

**Figura 13**

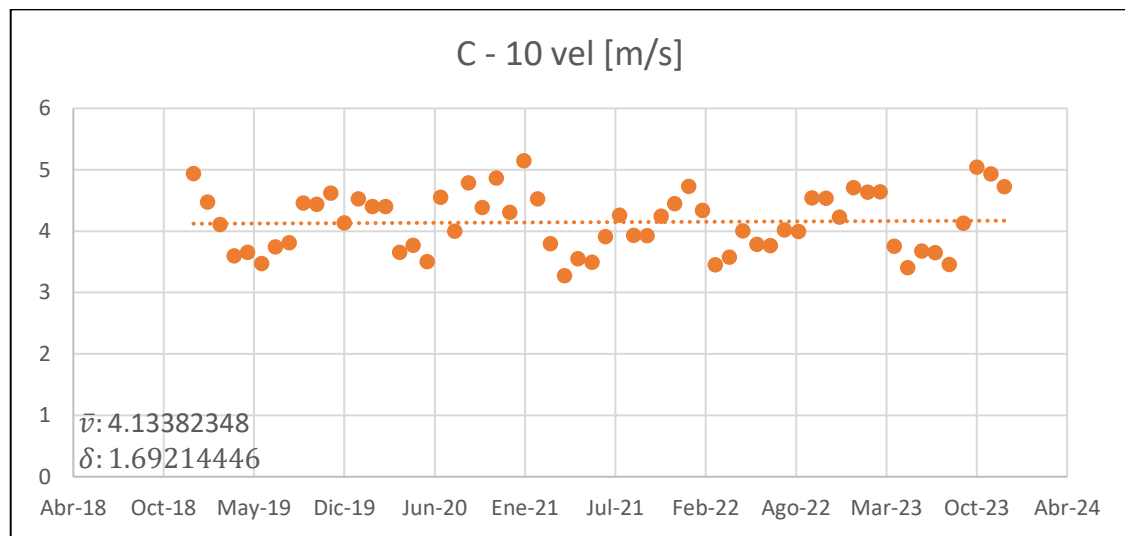
*Diagrama de dispersión a 10 metros de altura en el punto B*



Nota: Elaboración propia

**Figura 14**

*Diagrama de dispersión a 10 metros de altura en el punto C*

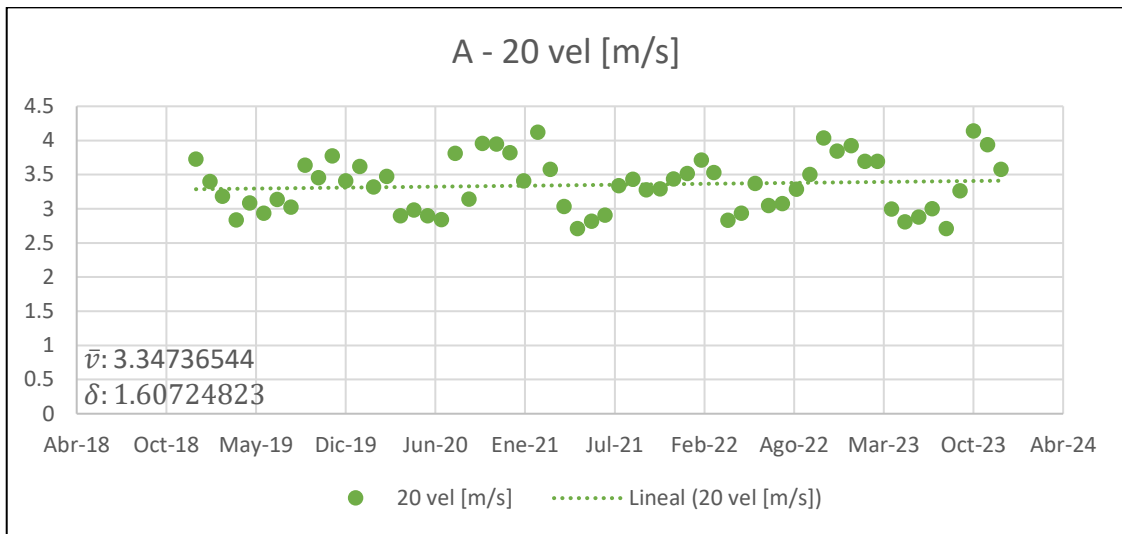


Nota: Elaboración propia

En la figura 12,13 y 14 para la velocidad del viento a 10 metros de altura para los casos A, B y C, se observa que cada uno presenta diferentes características. El caso A muestra velocidades entre 2,4 y 3,8 m/s con una línea de tendencia horizontal, indicando estabilidad en la velocidad promedio de 3,07 m/s y variabilidad moderada sin patrones estacionales claros. El caso B tiene velocidades más altas, entre 4,4 y 6,7 m/s, con algunos picos hasta casi 7,0 m/s; su tendencia ligeramente ascendente sugiere un aumento gradual en la velocidad promedio de 5,57 m/s, y exhibe una mayor dispersión en los datos. Por último, el caso C presenta velocidades intermedias, oscilando entre 3,2 y 5,1 m/s, con una tendencia estable en torno a 4,1 m/s y variabilidad frecuente, pero menos extrema, sin indicios de patrones estacionales. En resumen, el caso B muestra un leve incremento en la velocidad del viento, mientras que los casos A y C mantienen estabilidad con diferentes niveles de variabilidad.

**Figura 15**

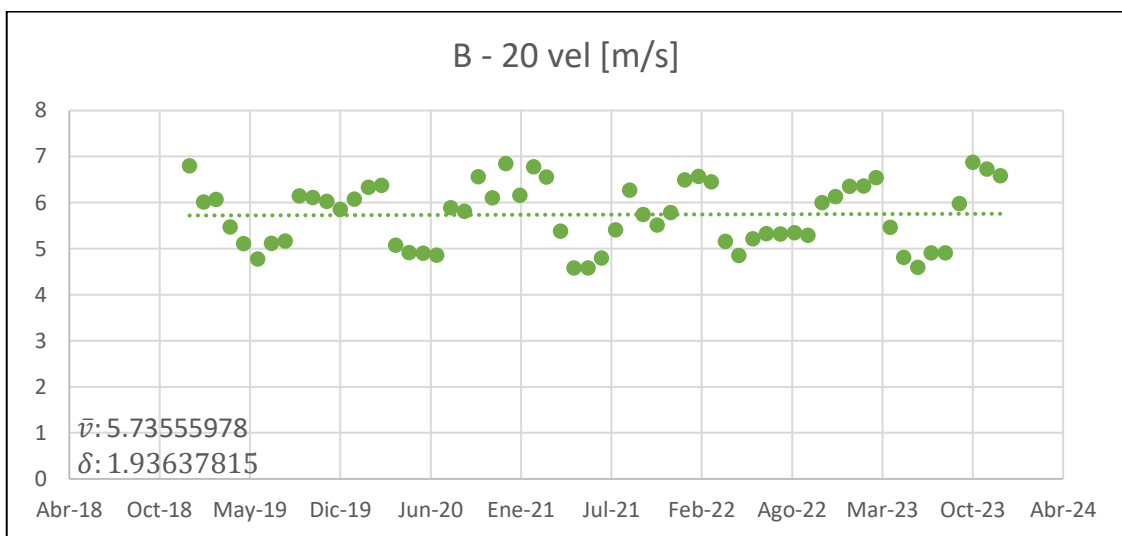
*Diagrama de dispersión a 20 metros de altura en el punto A*



Nota: Elaboración propia

**Figura 16**

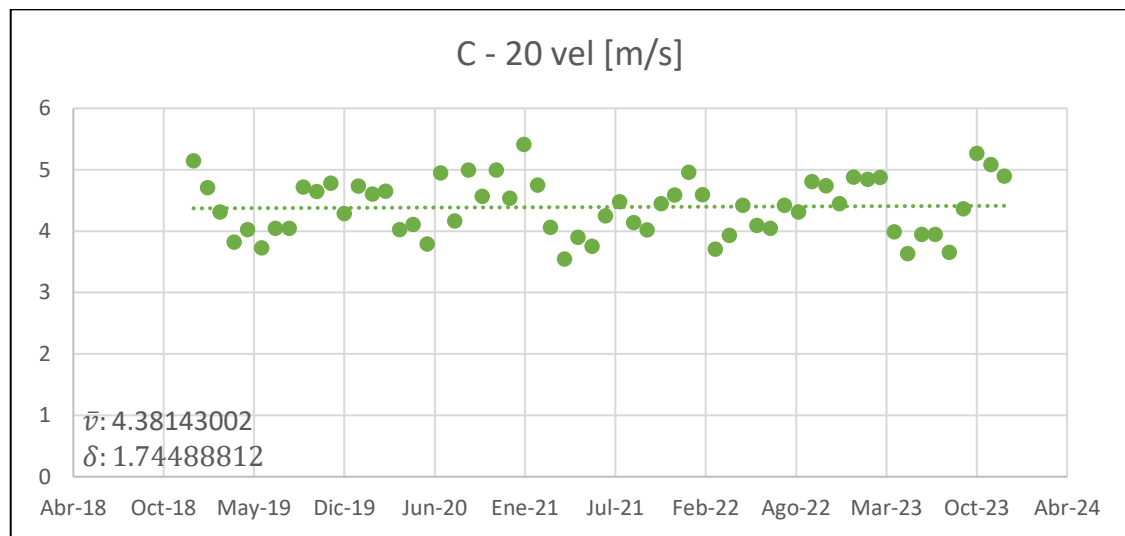
*Diagrama de dispersión a 20 metros de altura en el punto B*



Nota: Elaboración propia

### Figura 17

Diagrama de dispersión a 20 metros de altura en el punto C

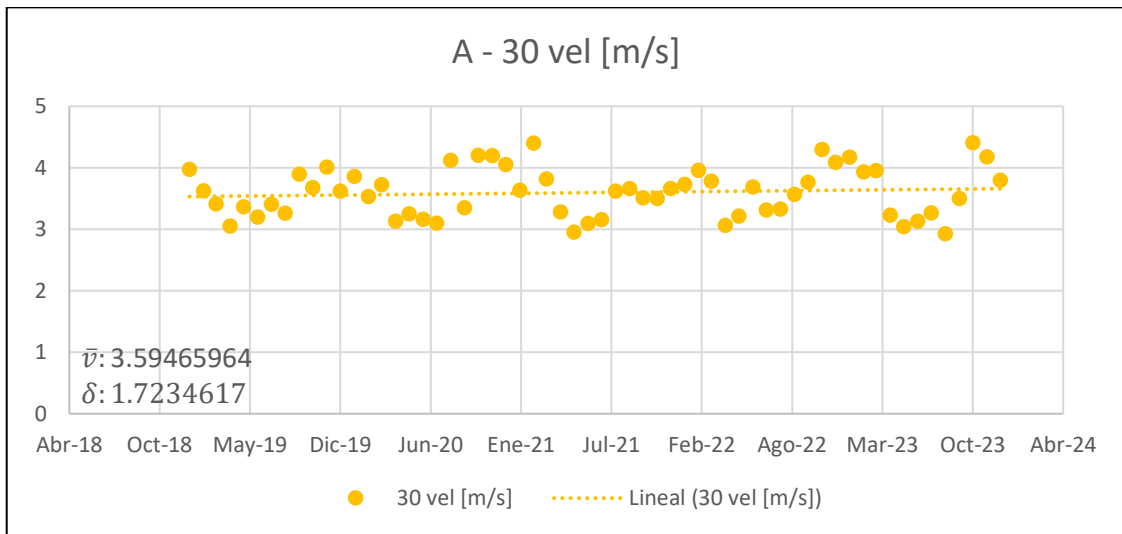


Nota: Elaboración propia

En la figura 15,16 y 17 para la velocidad del viento a 20 metros de altura para los casos A, B y C, se observa que cada uno presenta diferentes características. El caso A muestra velocidades entre 2,7 y 4,1 m/s con una línea de tendencia horizontal, indicando estabilidad en la velocidad promedio de 3,3 m/s y variabilidad moderada sin patrones estacionales claros. El caso B tiene velocidades más altas, entre 4,5 y 6,87 m/s, con algunos picos hasta 7,0 m/s; su tendencia ligeramente ascendente sugiere un aumento gradual en la velocidad promedio de 5,7 m/s, y exhibe una mayor dispersión en los datos. Por último, el caso C presenta velocidades intermedias, oscilando entre 3,5 y 5,4 m/s, con una tendencia estable en torno a 4,38 m/s y variabilidad frecuente, pero menos extrema, sin indicios de patrones estacionales. En resumen, el caso B muestra un leve incremento en la velocidad del viento, mientras que los casos A y C mantienen estabilidad con diferentes niveles de variabilidad.

**Figura 18**

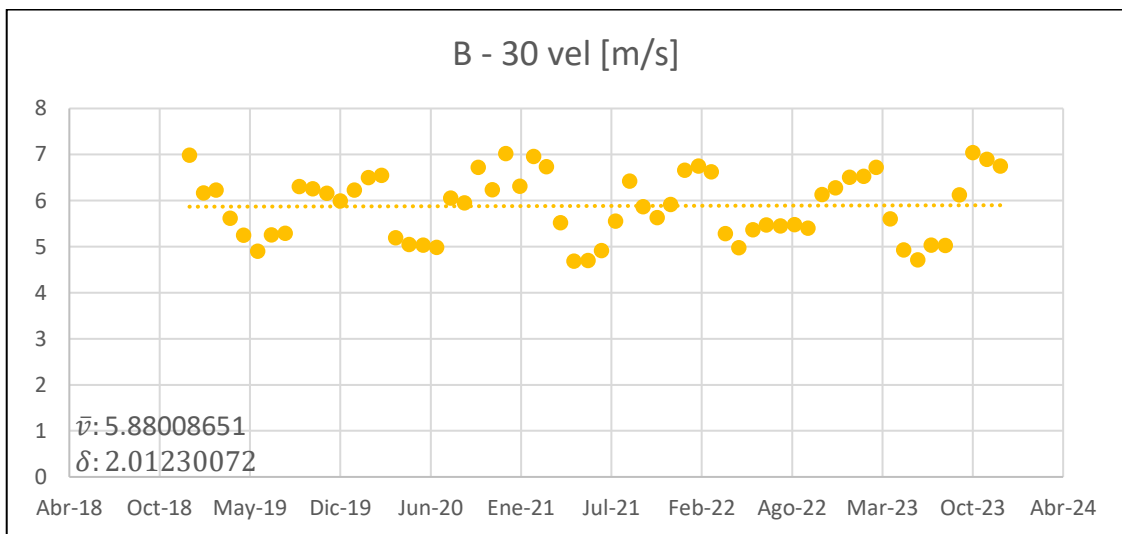
*Diagrama de dispersión a 30 metros de altura en el punto A*



Nota: Elaboración propia

**Figura 19**

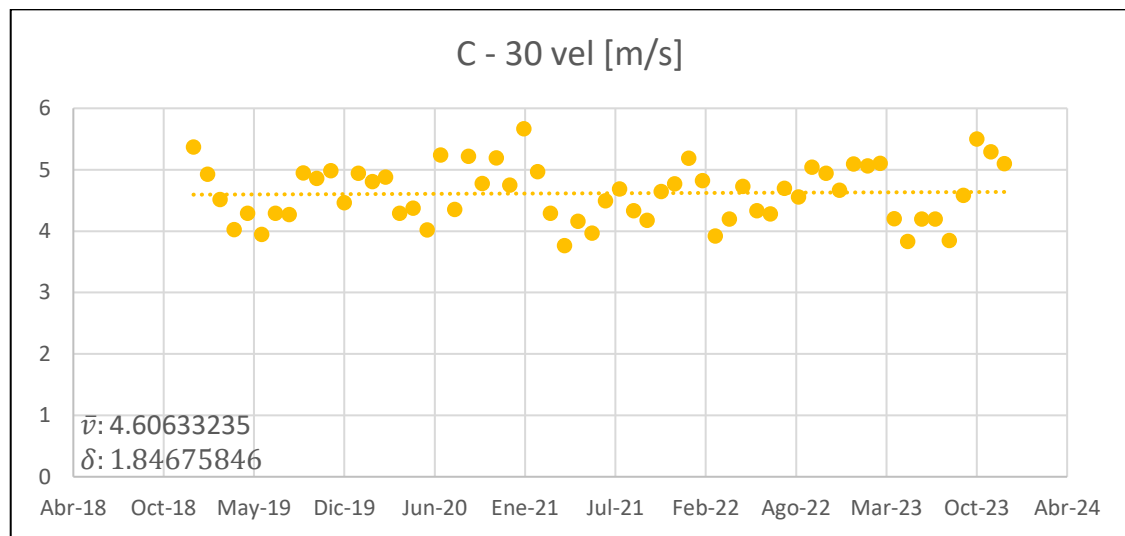
*Diagrama de dispersión a 30 metros de altura en el punto B*



Nota: Elaboración propia

**Figura 20**

*Diagrama de dispersión a 30 metros de altura en el punto C*

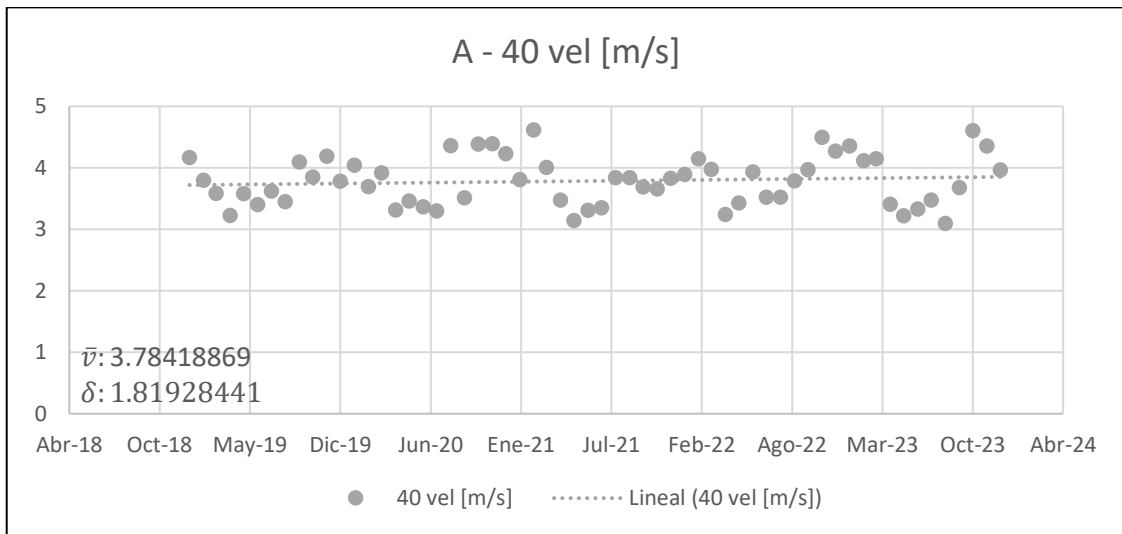


Nota: Elaboración propia

En la figura 18,19 y 20 para la velocidad del viento a 30 metros de altura para los casos A, B y C, se observa que cada uno presenta diferentes características. El caso A muestra velocidades entre 2,9 y 4,4 m/s con una línea de tendencia horizontal, indicando estabilidad en la velocidad promedio de 3,59 m/s y variabilidad moderada sin patrones estacionales claros. El caso B tiene velocidades más altas, entre 4,9 y 7,04 m/s, con algunos picos pasando los 7 m/s; su tendencia ligeramente ascendente sugiere un aumento gradual en la velocidad promedio de 5,88 m/s, y exhibe una mayor dispersión en los datos. Por último, el caso C presenta velocidades intermedias, oscilando entre 3,76 y 5,66 m/s, con una tendencia estable en torno a 4,6 m/s y variabilidad frecuente, pero menos extrema, sin indicios de patrones estacionales. En resumen, el caso B muestra un leve incremento en la velocidad del viento, mientras que los casos A y C mantienen estabilidad con diferentes niveles de variabilidad.

**Figura 21**

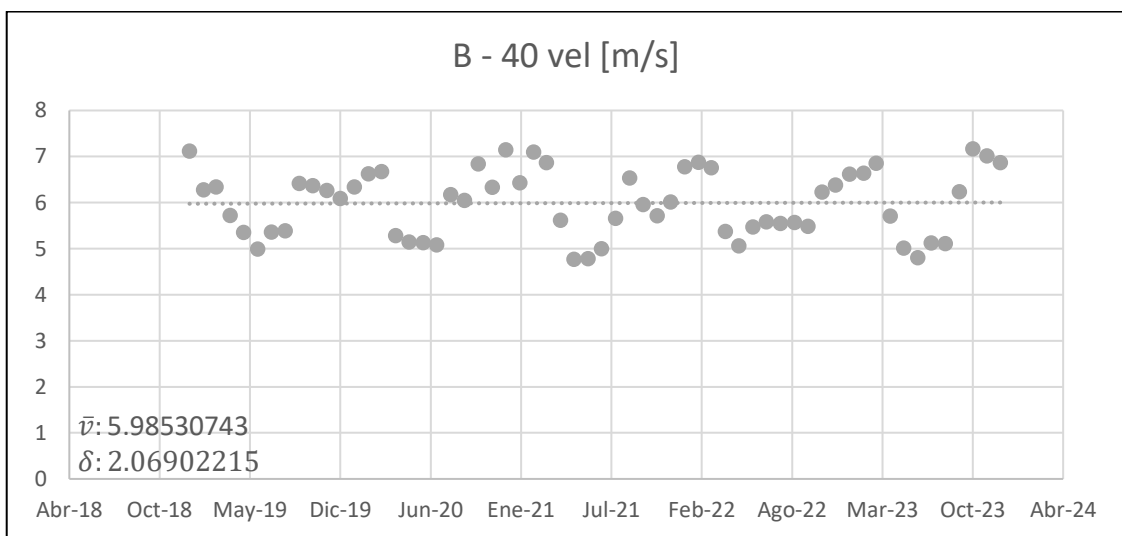
*Diagrama de dispersión a 40 metros de altura en el punto A*



Nota: Elaboración propia

**Figura 22**

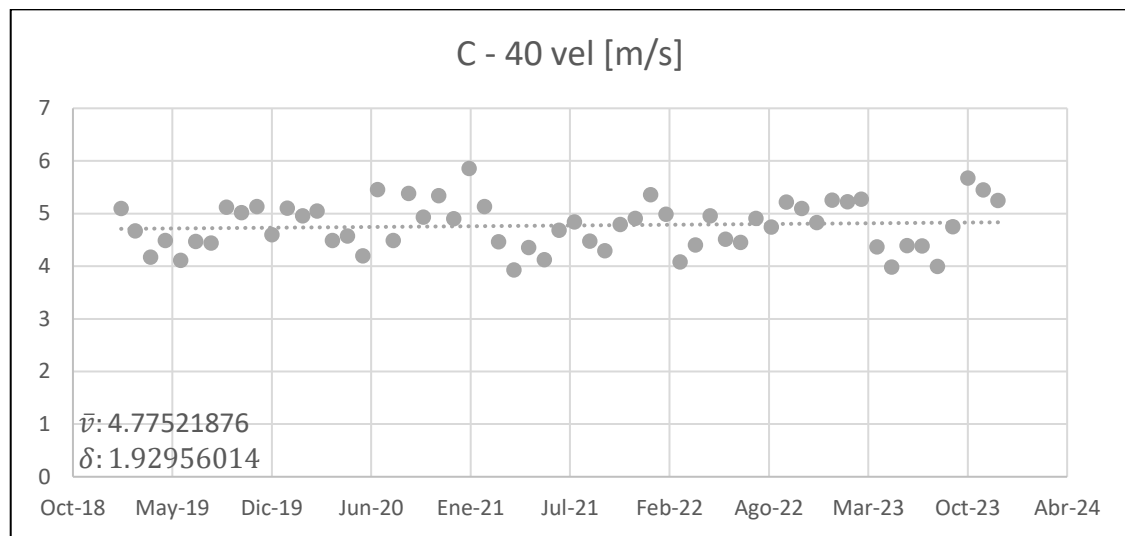
*Diagrama de dispersión a 40 metros de altura en el punto B*



Nota: Elaboración propia

### Figura 23

Diagrama de dispersión a 40 metros de altura en el punto C



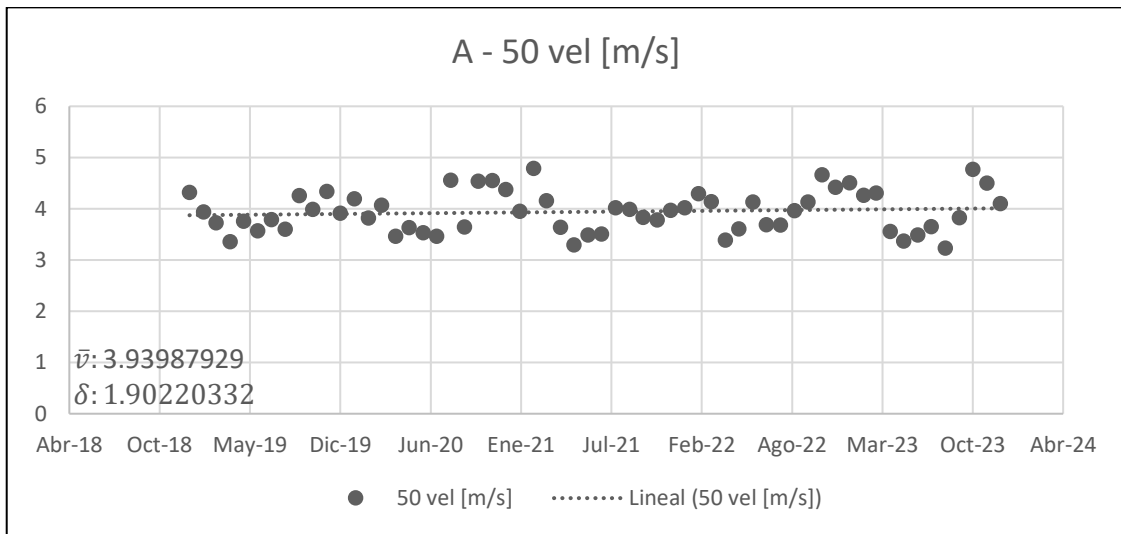
Nota: Elaboración propia

En la figura 21,22 y 23 para la velocidad del viento a 40 metros de altura para los casos A, B y C, se observa que cada uno presenta diferentes características. El caso A muestra velocidades entre 3,09 y 4,6 m/s con una línea de tendencia horizontal, indicando estabilidad en la velocidad promedio de 3,78 m/s y variabilidad moderada sin patrones estacionales claros. El caso B tiene velocidades más altas, entre 4,76 y 7,16 m/s, con algunos picos más que 7,0 m/s; su tendencia ligeramente ascendente sugiere un aumento gradual en la velocidad promedio de 5,98 m/s, y exhibe una mayor dispersión en los datos. Por último, el caso C presenta velocidades intermedias, oscilando entre 3,9 y 5,85 m/s, con una tendencia estable en torno a 4,77 m/s y variabilidad frecuente, pero menos extrema, sin indicios de patrones estacionales. En resumen, el caso B muestra un leve incremento en la velocidad del viento, mientras que los casos A y C mantienen estabilidad con diferentes niveles de variabilidad.



**Figura 24**

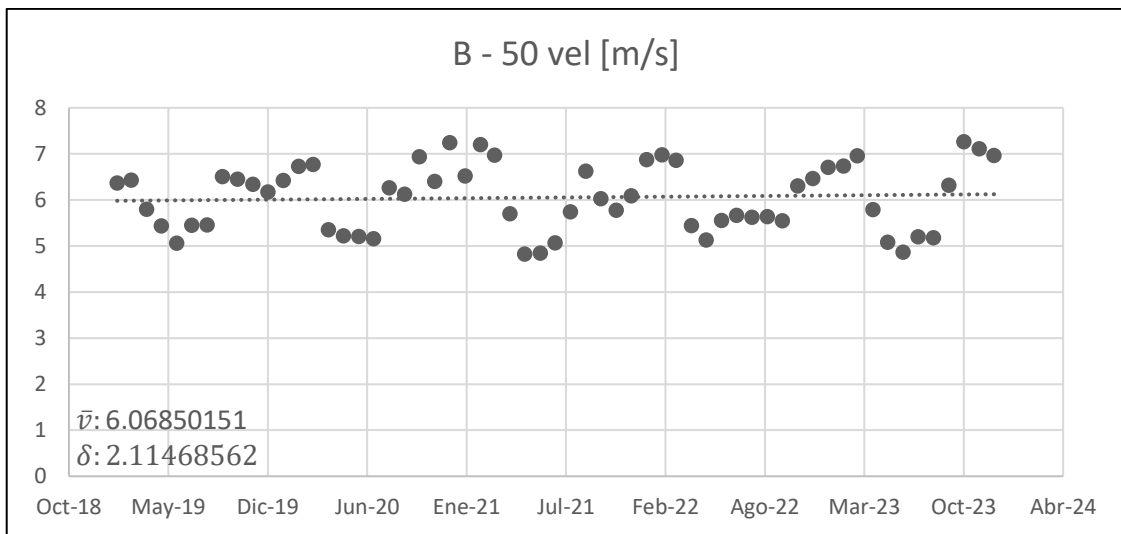
*Diagrama de dispersión a 50 metros de altura en el punto A*



Nota: Elaboración propia

**Figura 25**

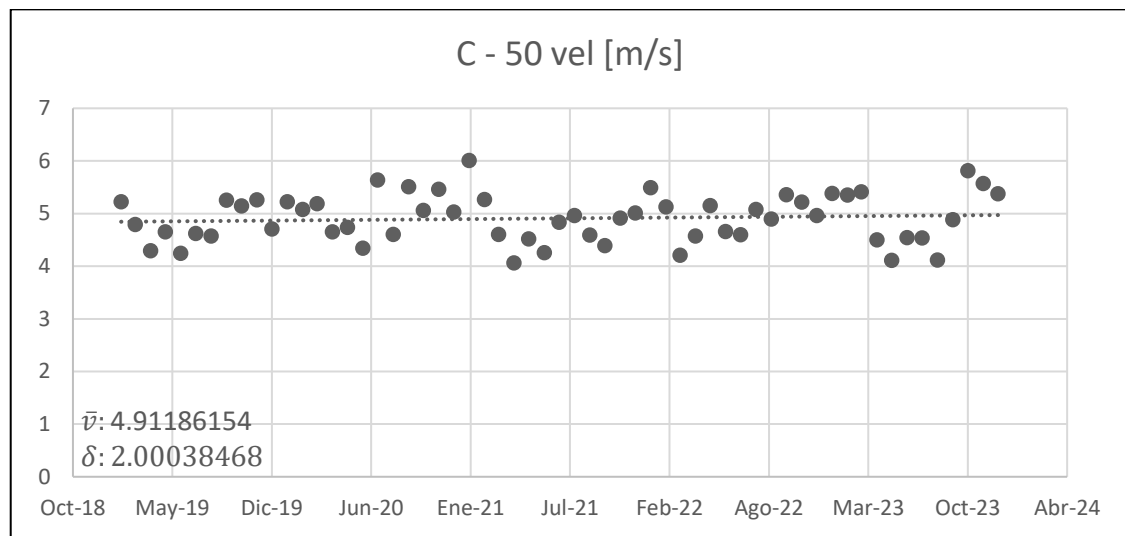
*Diagrama de dispersión a 50 metros de altura en el punto B*



Nota: Elaboración propia

**Figura 26**

*Diagrama de dispersión a 50 metros de altura en el punto C*



Nota: Elaboración propia

En la figura 24,25 y 26 para la velocidad del viento a 50 metros de altura para los casos A, B y C, se observa que cada uno presenta diferentes características. El caso A muestra velocidades entre 3,2 y 4,7 m/s con una línea de tendencia horizontal, indicando estabilidad en la velocidad promedio de 3,9 m/s y variabilidad moderada sin patrones estacionales claros. El caso B tiene velocidades más altas, entre 4,7 y 7,1 m/s, con algunos picos hasta más de 7,0 m/s; su tendencia ligeramente ascendente sugiere un aumento gradual en la velocidad promedio de 6,06 m/s, y exhibe una mayor dispersión en los datos. Por último, el caso C presenta velocidades intermedias, oscilando entre 4,06 y 6,01 m/s, con una tendencia estable en torno a 4,9 m/s y variabilidad frecuente, pero menos extrema, sin indicios de patrones estacionales. En resumen, el caso B muestra un leve incremento en la velocidad del viento, mientras que los casos A y C mantienen estabilidad con diferentes niveles de variabilidad.

**Tabla 3**

*Análisis de varianza*

<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
167.4286907	2	83.71434535	299.458737	1.5738359E-57	3.047012139
49.48073743	177	0.279552189			
216.9094281	179				

Nota: Elaboración propia

**INTERPRETACION:**

De acuerdo al análisis de t-student se tiene:

- Hipótesis nula  $H_0: V_a = V_b = V_c$
- Hipótesis alterna  $H_1: V_a \neq V_b \neq V_c$

Donde Alfa = 0.05

Hallamos P-valúé  $\approx 1.5738359E-57 = 0.0000000$

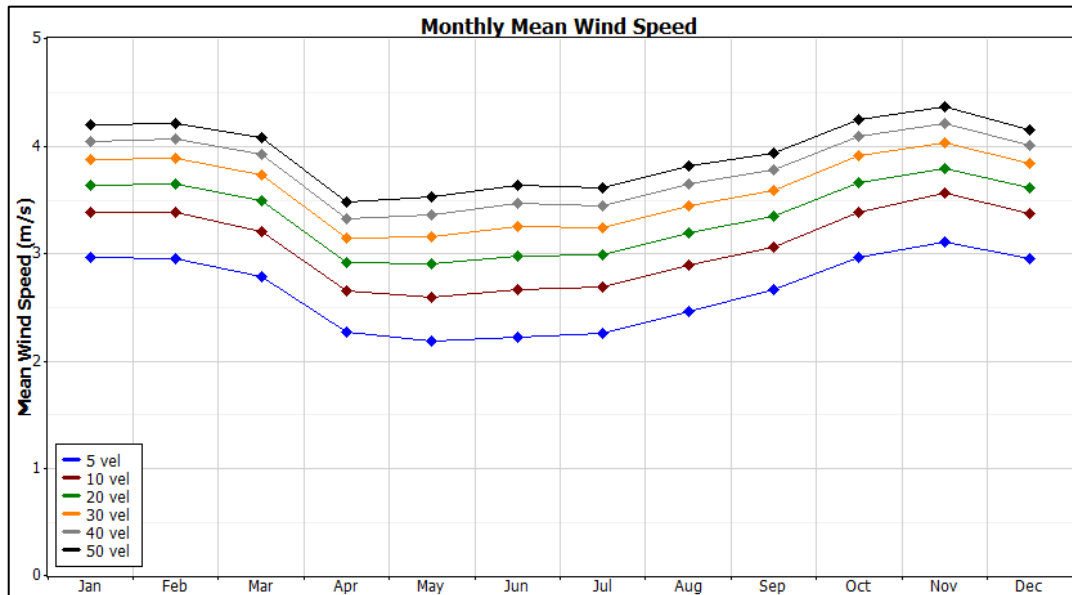
Por lo tanto,  $P < 0.05$ ,  $\Rightarrow$  Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna

Lo que implica que las velocidades promedio de cada sector (A B C) son diferentes, comprobando que efectivamente que al estar en diferentes alturas la velocidad del viento es distinto.

#### 4.1.1. Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas

Figura 27

*Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas del punto A*



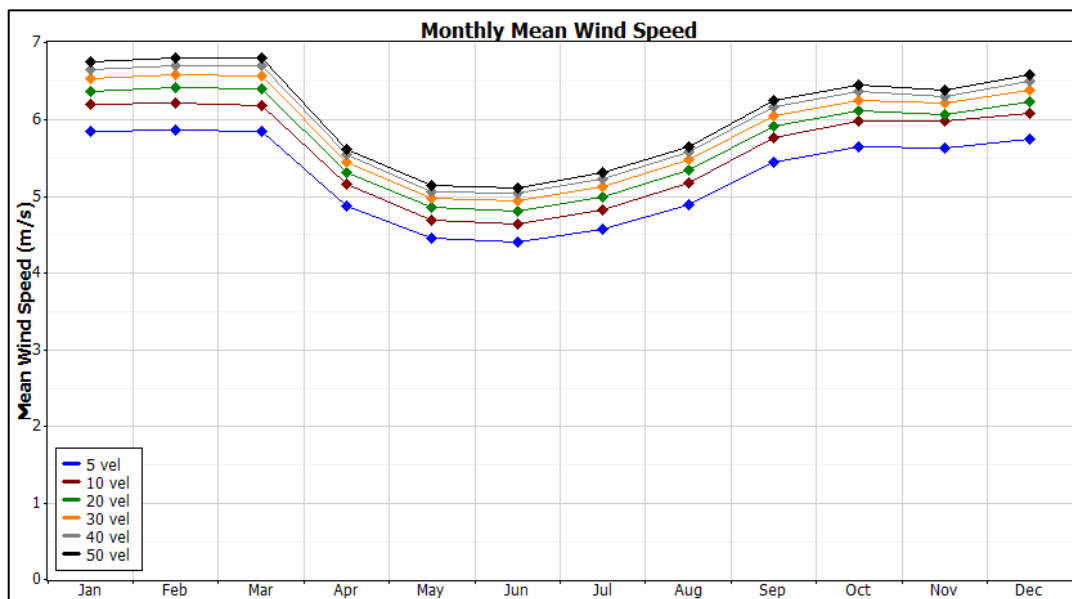
Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 27 presentan claramente las tendencias estacionales en la velocidad del viento a diferentes alturas. Se observa que las velocidades del viento son más altas durante el verano y la primavera (enero a marzo y octubre a diciembre), con valores que oscilan entre 2,9 y 4,2 m/s. Por otro lado, las velocidades del viento son más bajas durante el otoño y el invierno (abril a julio), con valores que van de 2,2 a 3,4 m/s.

Se identifica una tendencia ascendente de los vientos en los meses de agosto y septiembre de cada año. Esto sugiere una recuperación ascendente de las velocidades del viento después de los meses más bajos de otoño e invierno.

**Figura 28**

*Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas del punto B*



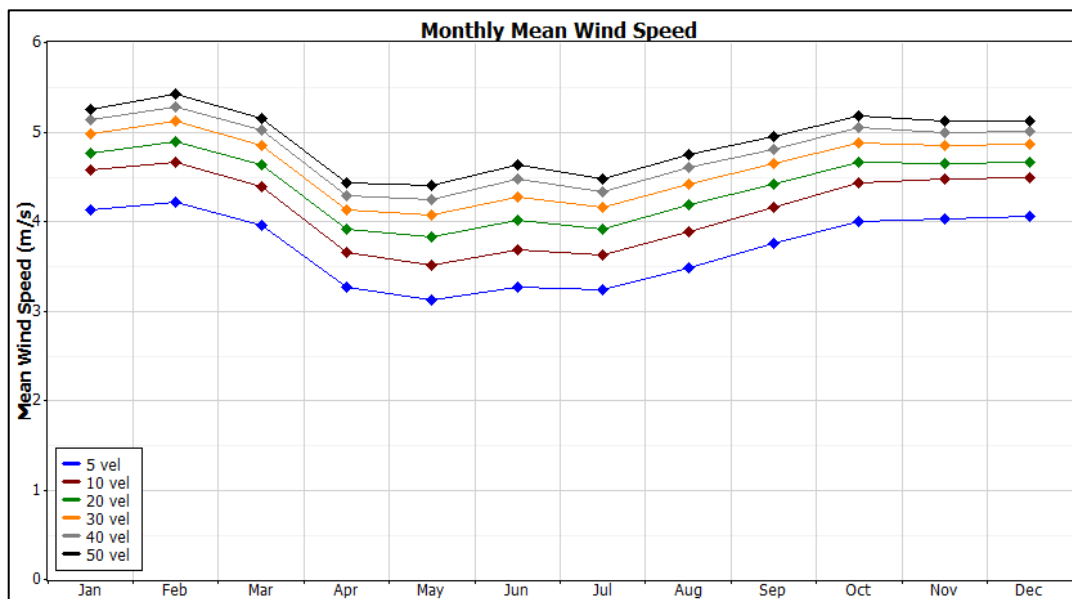
Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 28 presentan claramente las tendencias estacionales en la velocidad del viento a diferentes alturas. Se observa que las velocidades del viento son más altas durante el verano y la primavera (enero a marzo y octubre a diciembre), con valores que oscilan entre 5,8 y 6,6 m/s. Por otro lado, las velocidades del viento son más bajas durante el otoño y el invierno (abril a julio), con valores que van de 4,6 a 5,1 m/s.

Al igual que en los casos anteriores, se identifica una tendencia ascendente de los vientos en los meses de agosto y septiembre de cada año. Esto sugiere una recuperación ascendente de las velocidades del viento después de los meses más bajos de otoño e invierno.

**Figura 29**

*Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas del punto C*



Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 29 presentan claramente las tendencias estacionales en la velocidad del viento a diferentes alturas. Se observa que las velocidades del viento son más altas durante el verano y la primavera (enero a marzo y octubre a diciembre), con valores que oscilan entre 4,1 y 5,2 m/s. Por otro lado, las velocidades del viento son más bajas durante el otoño y el invierno (abril a julio), con valores que van de 3,2 a 4,4 m/s.

Al igual que en los casos anteriores, se identifica una tendencia ascendente de los vientos en los meses de agosto y septiembre de cada año. Esto sugiere una recuperación ascendente de las velocidades del viento después de los meses más bajos de otoño e invierno.

**Tabla 4**

*Velocidad de Viento Mensual por año a Distintas Alturas*

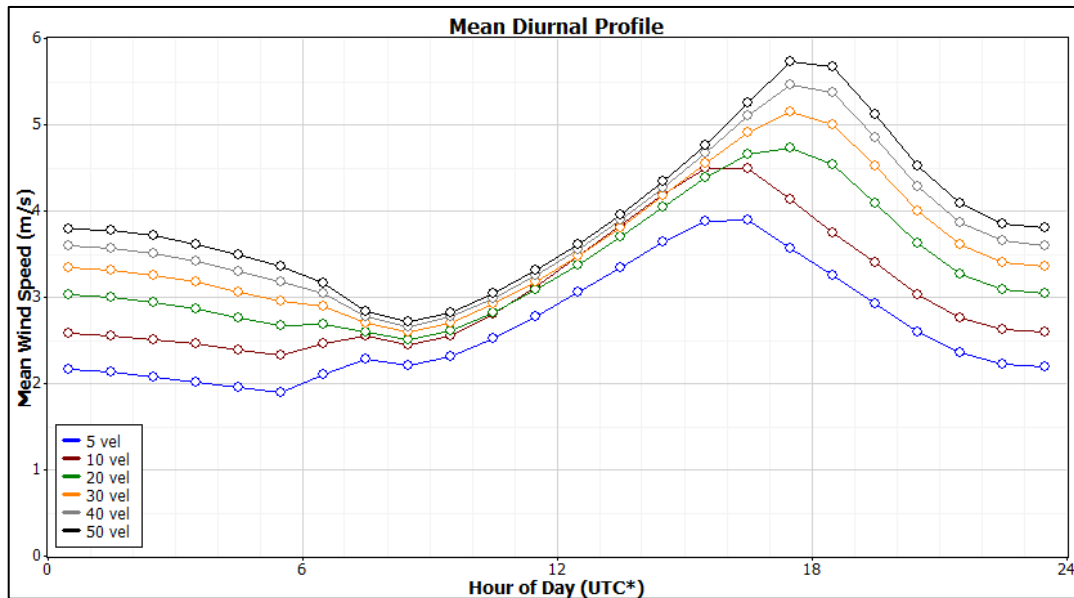
	Punto A						Punto B						Punto C					
	5 vel	10 vel	20 vel	30 vel	40 vel	50 vel	5 vel	10 vel	20 vel	30 vel	40 vel	50 vel	5 vel	10 vel	20 vel	30 vel	40 vel	50 vel
Jan	2.96	3.385	3.639	3.874	4.052	4.198	5.86	6.204	6.378	6.54	6.658	6.751	4.14	4.584	4.776	4.985	5.14	5.264
Feb	2.95	3.384	3.646	3.887	4.07	4.219	5.87	6.213	6.412	6.582	6.706	6.804	4.22	4.674	4.9	5.126	5.294	5.429
Mar	2.79	3.211	3.492	3.738	3.925	4.079	5.85	6.193	6.402	6.574	6.7	6.799	3.97	4.402	4.634	4.857	5.023	5.156
Apr	2.27	2.661	2.918	3.151	3.331	3.48	4.88	5.155	5.311	5.445	5.542	5.619	3.27	3.657	3.916	4.136	4.302	4.437
May	2.19	2.598	2.903	3.163	3.365	3.531	4.46	4.695	4.855	4.979	5.069	5.141	3.13	3.512	3.83	4.074	4.258	4.409
Jun	2.22	2.665	2.979	3.254	3.466	3.642	4.41	4.644	4.816	4.944	5.037	5.11	3.27	3.692	4.02	4.28	4.477	4.637
Jul	2.26	2.686	2.987	3.249	3.451	3.619	4.58	4.827	5.002	5.135	5.233	5.31	3.24	3.635	3.924	4.159	4.337	4.482
Aug	2.47	2.892	3.191	3.452	3.653	3.819	4.9	5.174	5.339	5.476	5.576	5.656	3.49	3.899	4.187	4.425	4.605	4.751
Sep	2.66	3.067	3.351	3.594	3.781	3.934	5.45	5.763	5.912	6.057	6.162	6.245	3.77	4.17	4.429	4.652	4.82	4.956
Oct	2.97	3.392	3.666	3.912	4.099	4.252	5.65	5.986	6.116	6.26	6.365	6.448	4.01	4.435	4.67	4.891	5.057	5.191
Nov	3.11	3.563	3.797	4.035	4.217	4.365	5.64	5.979	6.076	6.212	6.311	6.389	4.04	4.478	4.65	4.853	5.005	5.128
Dec	2.96	3.374	3.616	3.843	4.015	4.155	5.76	6.092	6.241	6.391	6.501	6.587	4.07	4.499	4.671	4.868	5.015	5.133
All	2.65	3.072	3.347	3.595	3.784	3.94	5.27	5.574	5.736	5.88	5.985	6.069	3.72	4.134	4.381	4.606	4.775	4.912

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

**4.1.2. Velocidad del Viento Durante el día.**

**Figura 30**

*Velocidad de viento diurno del punto A*

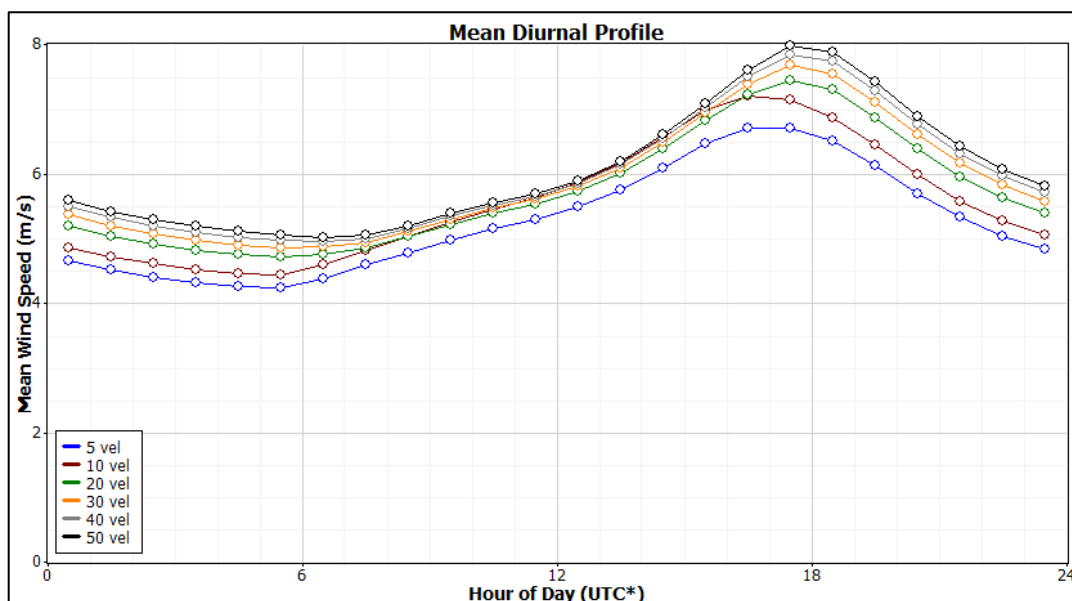


Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 30, muestra el perfil diurno promedio del punto A, de la velocidad del viento a diferentes alturas (5, 10, 20, 30, 40 y 50 metros) durante un día típico, en función de la hora del día (UTC). Se observa que la velocidad del viento varía significativamente a lo largo del día, con valores más bajos durante la madrugada y aumentando gradualmente a medida que avanza el día. A todas las alturas, la velocidad del viento alcanza su máximo alrededor de las 18:00 UTC, con el valor más alto a 50 metros (aproximadamente 5.5 m/s) y el más bajo a 5 metros (alrededor de 3.5 m/s). Después del pico, la velocidad disminuye hacia la noche. Este patrón sugiere que la actividad térmica y otros factores diurnos influyen en el comportamiento del viento, siendo más pronunciado a mayores alturas.

**Figura 31**

*Velocidad de viento diurno del punto B*



Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

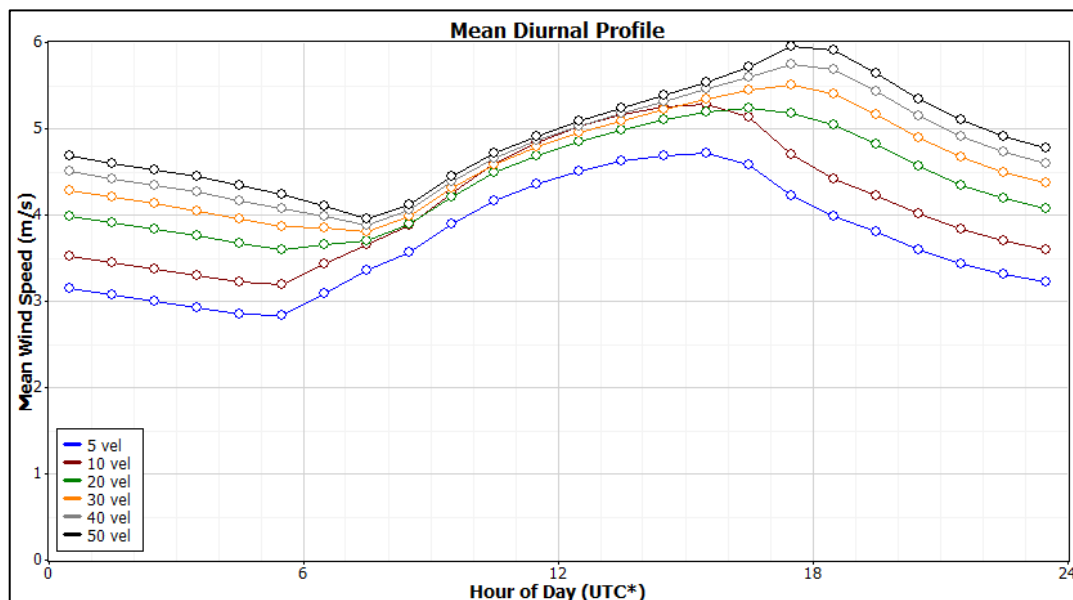
La figura 31, muestra el perfil diurno promedio del punto B, de la velocidad del viento a diferentes alturas (5, 10, 20, 30, 40 y 50 metros) durante un día típico, en función de la hora del día (UTC). Se observa que la velocidad del viento varía significativamente



a lo largo del día, con valores más bajos durante la madrugada y aumentando gradualmente a medida que avanza el día. A todas las alturas, la velocidad del viento alcanza su máximo alrededor de las 18:00 UTC, con el valor más alto a 50 metros (aproximadamente 7.9 m/s) y el más bajo a 5 metros (alrededor de 6.5 m/s). Después del pico, la velocidad disminuye hacia la noche. Este patrón sugiere que la actividad térmica y otros factores diurnos influyen en el comportamiento del viento, siendo más pronunciado a mayores alturas.

### Figura 32

*Velocidad de viento diurno del punto C*



Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

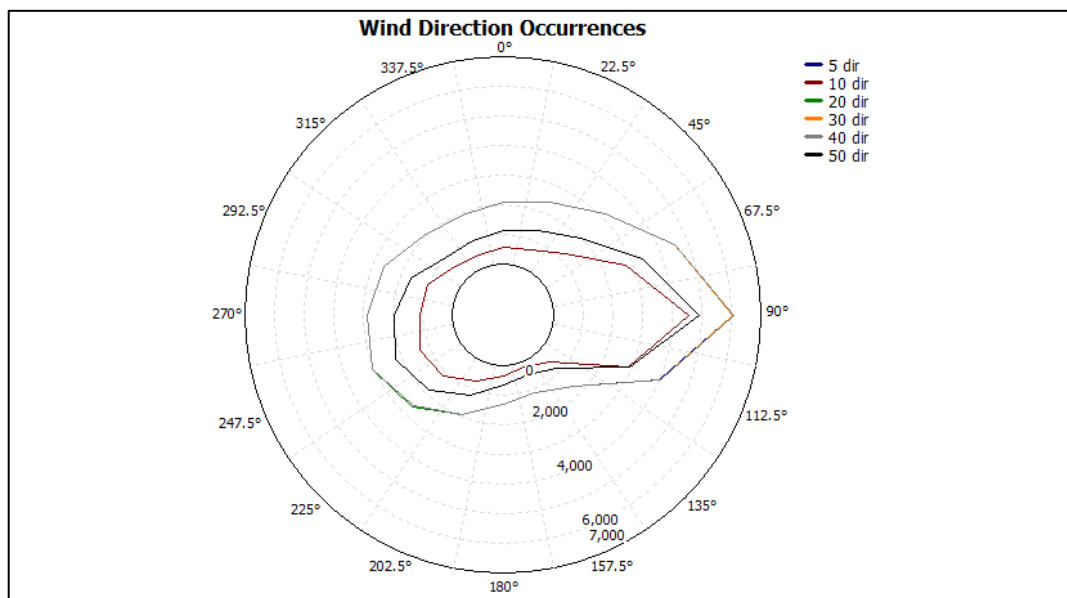
La figura 32, muestra el perfil diurno promedio del punto C, de la velocidad del viento a diferentes alturas (5, 10, 20, 30, 40 y 50 metros) durante un día típico, en función de la hora del día (UTC). Se observa que la velocidad del viento varía significativamente a lo largo del día, con valores más bajos durante la madrugada y aumentando gradualmente a medida que avanza el día. A todas las alturas, la velocidad del viento alcanza su máximo alrededor de las 18:00 UTC, con el valor más alto a 50 metros

(aproximadamente 6.0 m/s) y el más bajo a 5 metros (alrededor de 4. m/s). Después del pico, la velocidad disminuye hacia la noche. Este patrón sugiere que la actividad térmica y otros factores diurnos influyen en el comportamiento del viento, siendo más pronunciado a mayores alturas.

#### 4.2. DIRECCIÓN DEL VIENTO - ROSA DE VIENTO

**Figura 33**

*Rosa de Viento por cada año en el punto A*



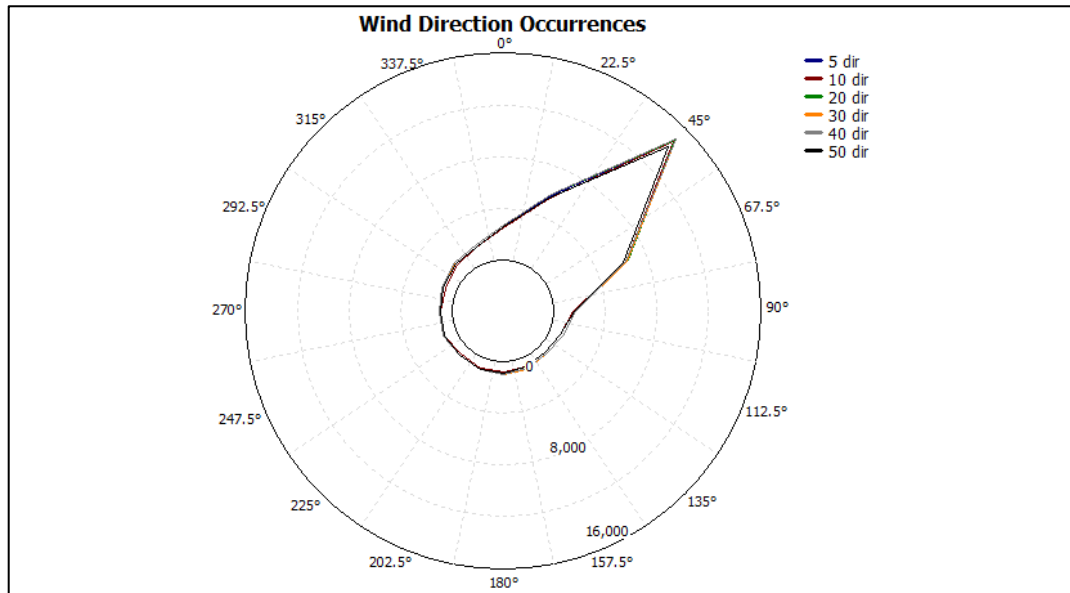
Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 33 muestra la dirección del viento a distintas alturas, revela que la dirección predominante del viento es el este (E) en todas las alturas, siendo más frecuente a 40 metros. Otras direcciones del este, como el ENE (Este-Noreste) y el ESE (Este-Sureste), también son comunes, especialmente a mayores alturas. A 50 metros, aunque el viento es más disperso, la tendencia hacia el este persiste. A 10 metros, se observa una notable cantidad de periodos de calma, indicando que el viento es frecuentemente débil o indetectable a esta altura. En general, la mayoría de las direcciones del viento provienen

de sectores orientales, con una menor incidencia de vientos del sur y noroeste, demostrando una clara preferencia direccional del viento en el sitio de estudio.

### Figura 34

*Rosa de Viento por cada año en el punto B*

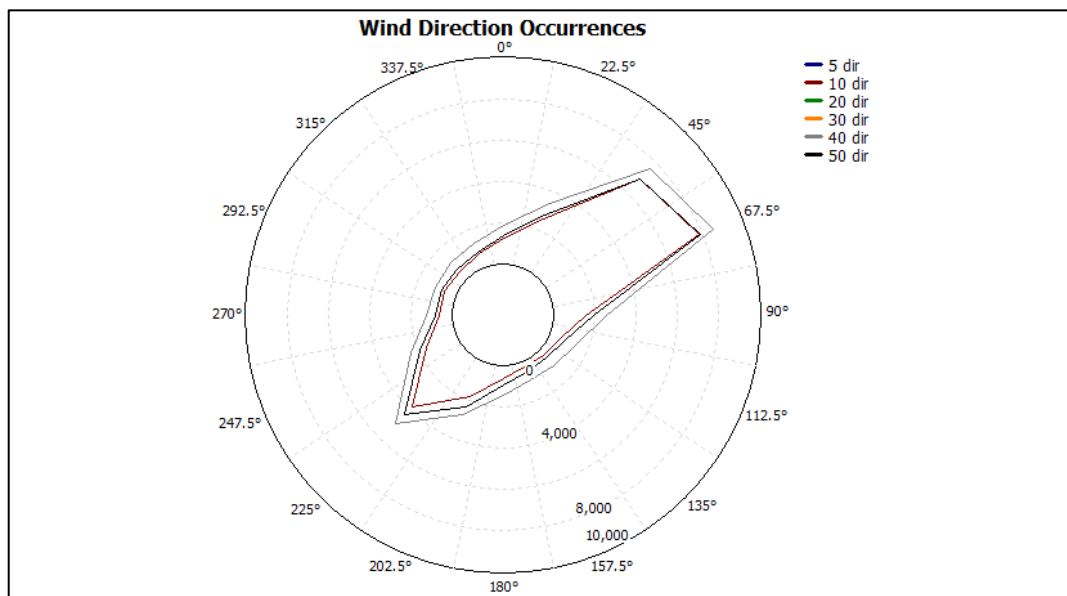


Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 34 muestra la distribución de las direcciones del viento en distintas alturas, desde 5 hasta 50 metros. La dirección noreste (NE) predomina de manera destacada en todas las alturas, alcanzando su máximo a 50 metros. El sector noreste-norte (NNE) es la segunda dirección más frecuente, en todas las alturas, siendo más constante a lo largo de todas las alturas. La dirección este-noreste (ENE) también muestra una considerable frecuencia, mientras que el sector este (E) tiene la menor ocurrencia entre las direcciones predominantes. Las direcciones del sur (S) y sureste (SE) tienen menos ocurrencias, indicando que el viento raramente sopla desde estas direcciones. A la altura de 10 metros, hay una significativa cantidad, lo que sugiere vientos muy débiles a esta altura.

### Figura 35

*Rosa de Viento por cada año en el punto C*



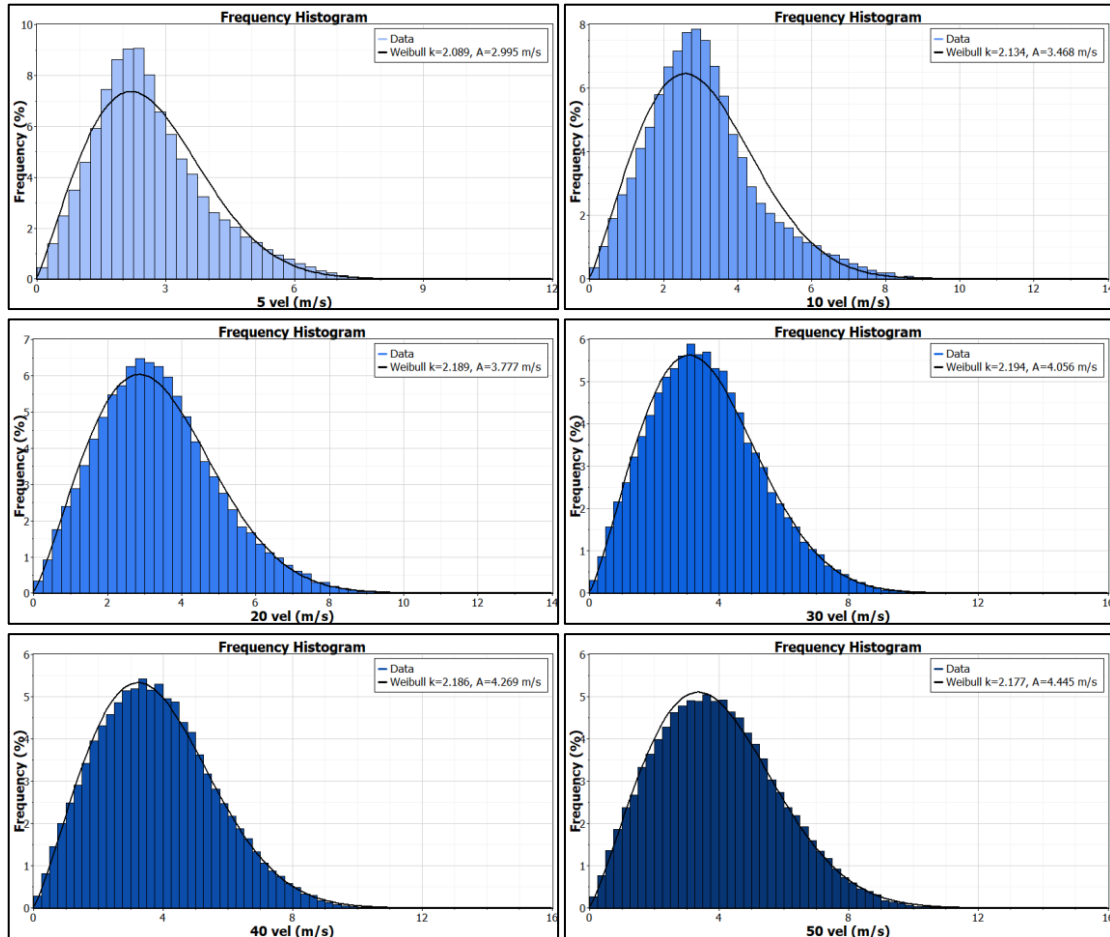
Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La Figura 35 presenta las direcciones del viento en diferentes alturas, que varían desde 5 hasta 50 metros. La dirección este-noreste (ENE) es predominantemente la más frecuente en todas las alturas, alcanzando su máximo a 5 metros y manteniendo alta hasta 50 metros. Le sigue el noreste (NE), a través de todas las alturas. La dirección noreste-norte (NNE) y el suroeste (SW) son otras direcciones significativas, con el SW mostrando una notable en todas las alturas, en particular. Las direcciones del sur-sureste (SSE), sureste (SE), este-sureste (ESE) y oeste-suroeste (WSW) tienen menos ocurrencias, indicando que el viento rara vez sopla desde estas direcciones. A 10 metros, hay una cantidad significativa de periodos de calma (11,943), que sugiere vientos muy débiles a esta altura, con una notable cantidad de calma también a 50 metros (8,031). En general, la dirección predominante del viento está consistentemente orientada hacia el ENE y NE, reflejando los patrones dominantes en la región de estudio.

## 4.2.1. Distribución de Frecuencias Weibull

**Figura 36**

*Distribución de Frecuencia del punto A*



Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 36, representa la distribución de frecuencias de Weibull de las velocidades de viento en el punto A en diferentes alturas, donde los parámetros  $k$  y  $A$  son los siguientes:

**Tabla 5**

*Parámetros de Weibull del punto A*

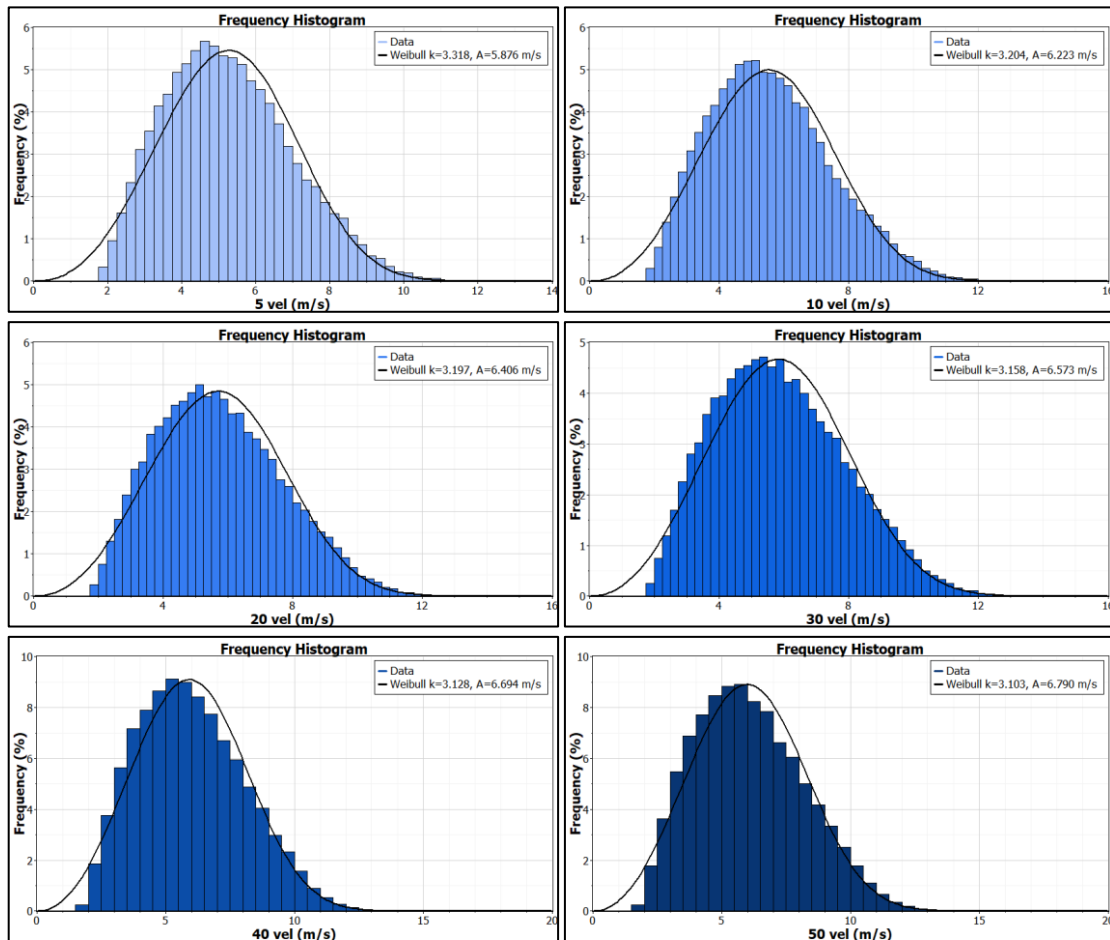
Altura	$k$	$A$ (m/s)
5	2.089	2.995
10	2.134	3.468

20	2.189	3.777
30	2.194	4.056
40	2.186	4.269
50	2.177	4.445

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer

**Figura 37**

*Distribución de Frecuencia del punto B*



Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 37, representa la distribución de frecuencias de Weibull de las velocidades de viento en el punto A en diferentes alturas, donde los parámetros  $k$  y  $A$  son los siguientes:

**Tabla 6**

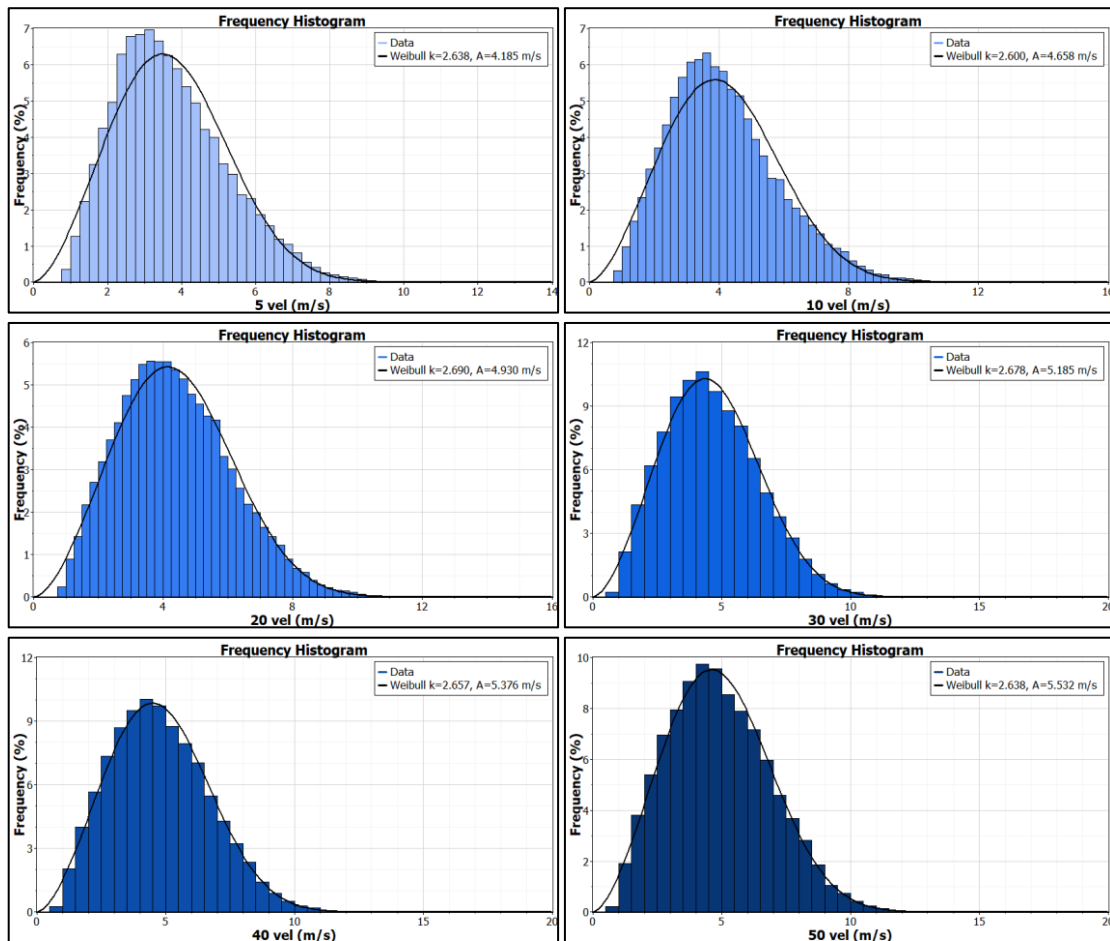
*Parámetros de Weibull del punto B*

Altura	k	A (m/s)
5	3.318	5.876
10	3.204	6.223
20	3.197	6.406
30	3.158	6.573
40	3.128	6.694
50	3.103	6.790

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

**Figura 38**

*Distribución de Frecuencia del punto C*



Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

La figura 38, representa la distribución de frecuencias de Weibull de las velocidades de viento en el punto A en diferentes alturas, donde los parámetros  $k$  y  $A$  son los siguientes:

**Tabla 7**

*Parámetros de Weibull del punto C*

Altura	k	A (m/s)
5	2.638	4.185
10	2.6	4.658
20	2.69	4.930
30	2.678	5.185
40	2.657	5.376
50	2.638	5.532

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer.

#### 4.2.2. Densidad de Potencia

La densidad de potencia eólica es una medida que muestra la cantidad de energía del viento disponible por unidad de área y es esencial para evaluar la viabilidad de los proyectos de energía eólica. La densidad de potencia aumenta a mayor altura porque la velocidad del viento es mayor y la fricción con la superficie terrestre es menor.

**Tabla 8**

*Densidad de Potencia del punto A*

height	Weibull k	Weibull A (m/s)	Power Density (W/m <sup>2</sup> )
5	2.089	2.995	14.16
10	2.134	3.468	21.62
20	2.189	3.777	27.15
30	2.194	4.056	33.71
40	2.186	4.269	39.43
50	2.177	4.445	44.48

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer



**Tabla 9***Densidad de Potencia del punto B*

height	Weibull k	Weibull A (m/s)	Power Density (W/m <sup>2</sup> )
5	3.318	5.876	77.82
10	3.204	6.223	93.88
20	3.197	6.406	101.89
30	3.158	6.573	111.20
40	3.128	6.694	117.94
50	3.103	6.790	123.46

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer

**Tabla 10***Densidad de Potencia del punto C*

height	Weibull k	Weibull A (m/s)	Power Density (W/m <sup>2</sup> )
5	2.638	4.185	44.05
10	2.6	4.658	51.21
20	2.69	4.930	59.74
30	2.678	5.185	66.91
40	2.657	5.376	72.76
50	2.638	5.532	44.05

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer

En las tablas 8,9 y 10 se muestra la densidad de potencia en cada uno de los tres puntos, donde el punto B tiene la densidad de potencia más alta de 123,46 W/m<sup>2</sup> a una altura de 50 metros esto es debido a que se encuentra en un lugar más alto que las demás estando a 4,214 m.s.n.m. La densidad mas baja se observa en el punto A debido a que se encuentra en una parte mas baja de los dos puntos anteriores.

#### 4.2.3. Simulación de Energía Eléctrica

Basado en la velocidad media del viento de los tres puntos cada uno diferente, las tablas muestran una comparación del rendimiento de tres modelos de turbinas eólicas instaladas a una altura de 50 metros en la Península de

Capachica. Los modelos que se han analizado son: Vestas V100 – 1.8 MW 50Hz, Siemens SWT-2.3-108 y Gamesa G114-2.0 MW.

**Tabla 11**

*Simulación de Producción de Energía Eléctrica del punto A*

<b>Turbina</b>	<b>Mean (m/s)</b>	<b>Net Power (kW)</b>	<b>Net AEP (kWh/yr)</b>
Vestas V100 - 1.8 MW 50Hz (50m)	3.94	111.5	976,645
Siemens SWT-2.3-108 (50m)	3.94	125.9	1,102,963
Gamesa G114-2.0 MW (50m)	3.94	173.9	1,523,337

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer

En la tabla 11, Las turbinas eólicas Vestas V100 - 1.8 MW 50Hz, Siemens SWT-2.3-108 y Gamesa G114-2.0 MW, operando a una altura de 50 metros y con una velocidad media del viento de 3.94 m/s, demuestran variaciones notables en su rendimiento energético. La Vestas V100, produce una potencia neta media de 111.5 kW, resultando en una generación anual de energía de 976,645 kWh. En comparación, la Siemens SWT-2.3-108, genera una potencia neta de 125.9 kW y un AEP de 1,102,963 kWh. La Gamesa G114-2.0 MW, sobresale al producir 173.9 kW de potencia neta y un AEP de 1,523,337 kWh.

**Tabla 12**

*Simulación de Producción de Energía Eléctrica del punto B*

<b>Turbina</b>	<b>Mean (m/s)</b>	<b>Net Power (kW)</b>	<b>Net AEP (kWh/yr)</b>
Vestas V100 - 1.8 MW 50Hz (50m)	6.07	344.4	3,017,117
Siemens SWT-2.3-108 (50m)	6.07	435.2	3,812,338
Gamesa G114-2.0 MW (50m)	6.07	506.3	4,435,060

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer

La tabla 12, Bajo condiciones de viento con una velocidad media de 6.07 m/s y una altura de operación de 50 metros, las turbinas eólicas Vestas V100 - 1.8 MW 50Hz, Siemens SWT-2.3-108 y Gamesa G114-2.0 MW presentan desempeños distintos en términos de potencia neta y producción anual de energía (AEP). La Vestas V100, genera una potencia neta promedio de 344.4 kW y una AEP de 3,017,117 kWh/año. La Siemens SWT-2.3-108, proporciona una potencia neta de 435.2 kW y alcanza una AEP de 3,812,338 kWh/año. Por su parte, la Gamesa G114-2.0 MW, destaca con una potencia neta de 506.3 kW y una AEP de 4,435,060 kWh/año, liderando en términos de capacidad de generación bajo las mismas condiciones de viento.

**Tabla 13**

*Simulación de Producción de Energía Eléctrica del punto C*

<b>Turbina</b>	<b>Mean (m/s)</b>	<b>Net Power (kW)</b>	<b>Net AEP (kWh/yr)</b>
Vestas V100 - 1.8 MW 50Hz (50m)	4.91	198.7	1,740,274
Siemens SWT-2.3-108 (50m)	4.91	236.8	2,074,323
Gamesa G114-2.0 MW (50m)	4.91	299.7	2,625,035

Nota: Elaboración propia obtenida mediante Windographer

En la tabla 13, las turbinas eólicas Vestas V100 - 1.8 MW 50Hz, Siemens SWT-2.3-108 y Gamesa G114-2.0 MW muestran diferentes niveles de rendimiento cuando se operan a una altura de 50 metros con una velocidad media del viento de 4.91 m/s. La Vestas V100, ofrece una potencia neta promedio de 198.7 kW y produce 1,740,274 kWh anualmente. La Siemens SWT-2.3-108, genera una potencia neta de 236.8 kW y una AEP de 2,074,323 kWh. La Gamesa G114-2.0 MW, se destaca al producir una potencia neta de 299.7 kW y una AEP de 2,625,035 kWh.

### 4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A pesar de que el estudio de Quiñonez et al. (2019) se centró en Juliaca, cerca de la Península de Capachica, donde se encontraron velocidades de viento superiores a 3 m/s y una densidad de potencia media anual de 15.91 W/m<sup>2</sup>. En contraste, los datos de Capachica muestran que las velocidades de viento promedio aumentan con la altura, con densidades de potencia de 506.3 kW y una AEP de 4,435,060 kWh respectivamente. Esto indica que Capachica tiene un mayor potencial eólico, particularmente en las zonas elevadas.

Si bien el estudio de Jimenes (2018) en Ventilla Alto Puno encontró un promedio anual de velocidad de viento de 8.58 m/s, Capachica presenta un potencial eólico considerable, especialmente a mayores alturas. Los datos muestran velocidades medias anuales de 6.069 m/s a 50 metros, junto con una densidad de potencia adecuada para la instalación de aerogeneradores. A pesar de tener velocidades de viento algo más bajas que Ventilla Alto Puno, Capachica se presenta como una zona viable para la explotación de energía eólica, aunque a una escala menor que la propuesta por Jimenes.

En el estudio de Quiñonez et al. (2019), llevado a cabo en Juliaca, se encontró que el viento principalmente se dirigía hacia el oeste, aunque también había una cantidad significativa que se dirigía hacia el este. Sin embargo, Jimenes (2018) encontró en Ventilla Alto Puno una dirección predominante Oeste-Noroeste, así como una gran cantidad de viento del este. Por otro lado, Capachica tiene una dirección predominante hacia el noreste en el punto más alto, lo que contrasta con los patrones observados en estudios anteriores que son casi el opuesto.



## V. CONCLUSIONES

- El análisis detallado de los datos de velocidad del viento en la Península de Capachica muestra un considerable potencial para la generación de energía eólica. Con velocidades medias del viento de 6,069 m/s a 50 metros la parte más alta seleccionada, la región es favorable para la instalación de aerogeneradores, la más destacada Gamesa G114-2.0 MW con 506.3 kW y una AEP de 4,435,060 kWh. Esta capacidad eólica puede contribuir significativamente a satisfacer las demandas energéticas locales y a promover el desarrollo sostenible en la región.
- El análisis de la rosa de vientos muestra que la dirección predominante es hacia el noreste, específicamente (NE). La Península de Capachica experimenta las velocidades de viento más altas durante los meses de verano y primavera (enero-marzo y octubre-diciembre), con una tendencia a recuperarse en agosto y septiembre.
- La implementación de proyectos de energía eólica en la Península de Capachica no solo tiene el potencial de cubrir las necesidades energéticas locales, sino también de apoyar el crecimiento económico de la comunidad. Con la región posicionándose como un destino turístico, la energía eólica puede proporcionar una fuente confiable y sostenible de electricidad para hoteles y casas vivenciales, mejorando la infraestructura y atrayendo más visitantes.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo continuo del viento. Esto permitirá maximizar la producción de energía durante períodos de alta y baja velocidad del viento, lo que garantizará una generación de energía más consistente.
- Con el aumento del turismo en la Península de Capachica, se recomienda enfocar el uso de energía eólica para abastecer la creciente demanda energética de hoteles y casas vivenciales. La energía eólica puede proporcionar una fuente de electricidad limpia y sostenible, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y minimizando el impacto ambiental.
- Integrar la energía eólica como parte de la oferta turística, promoviendo Capachica como un destino comprometido con la sostenibilidad. Esto puede incluir la construcción de parques eólicos que también actúen como atracciones turísticas y la oferta de tours educativos sobre energía renovable.



## VII. REFERENCIAS

- Achuma Chunga, E. R. (2019). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el distrito de San Jerónimo, Cusco – 2019* [UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4204?show=full>
- Aldaz Gomez, L. J., & Lopez Bustamante, J. Y. (2022). *Aprovechamiento del potencial eólico para generar energía eléctrica en pampas de Reque, Chiclayo-2022* [UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111536>
- Aragón Moreno, J. A., Serna Castaño, E. D., & Solano Romero, D. S. (2019). Estudio climatológico de los vientos para la ciudad de Bogotá en el periodo 2010 – 2016. *Entramado*, 15(2), 286–307. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.5733>
- Argüello Moreno, I. (2019). *Estudio del recurso eólico, implantación preeliminar y viabilidad económica de un parque eólico de 30 Mw en Aranguren (Navarra)* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID]. <https://oa.upm.es/57270/>
- Artillo García, M. (2017). *Estudio del potencial eólico y viabilidad de parque eólico en Andalucía* [UNIVERSIDAD DE SEVILLA]. <https://idus.us.es/handle/11441/65467>
- Artur Viacava, K. (2023). *Estudo do potencial eólico em dom pedrito/rs através do software WASP* [UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. ESCOLA DE ENGENHARIA. CURSO DE ENGENHARIA MECANICA]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266184>
- Benites, L. (2022, abril 5). ▷ *Distribución de Weibull y análisis de Weibull en 2024* → STATOLOGOS®. Distribución de Weibull y análisis de Weibull. <https://statologos.com/distribucion-de-weibull/>



- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2011). *WIND ENERGY HANDBOOK* (John Wiley & Sons, Eds.).
- Chavesta León, E. J., & Elorreaga Ramos, J. G. (2021). *Metodología para estimar el potencial eólico en una determinada zona para el diseño de aerogeneradores, Salaverry – La Libertad* [UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/81730>
- De Ávila Solano, A., Pérez, D., & Jiménez Cardozo, J. (2022). Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos. *LADDEE*, 3(1), 40–46. <https://doi.org/10.17981/ladee.03.01.2022.4>
- El Kihel, B., El Kadri Elyamani, N. E., & Chillali, A. (2023). Evaluation of Wind Energy Utilisation and Analysis of Turbines in the Fes Meknes Region, Kingdom of Morocco. *E3S Web of Conferences*, 469. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346900025>
- Escobar Gaspar, S. B., Esplana Esteban, S. F., Alvarez Ticllasuca, A., & Toribio Román, F. M. (2020). Medición del potencial recurso eólico en los distritos de Huancavelica, Paucarbamba, Pampas, Acobamba y Lircay. *Ciencia & Desarrollo*, 27, 99–110. <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.27.1000>
- García Domínguez, J., Azuara Jiménez, J., López García, A., & González Ramírez, I. (2017, noviembre 9). Caracterización del recurso eólico utilizando el software Windographer. *Artículo Revista de Prototipos Tecnológicos Diciembre*, 3(10), 29–36. [www.ecorfan.org/spain](http://www.ecorfan.org/spain)
- Guerreros Valdivia, E. A., Sotelo Valer, F., & Lopez Cordova, J. (2020). Cálculo del Potencial Eólico en las pampas de La Joya. Arequipa - Perú. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*.





[https://www.academia.edu/90214282/C%C3%A1lculo\\_del\\_Potencial\\_E%C3%B3lico\\_en\\_las\\_pampas\\_de\\_La\\_Joya\\_Arequipa\\_Per%C3%BA](https://www.academia.edu/90214282/C%C3%A1lculo_del_Potencial_E%C3%B3lico_en_las_pampas_de_La_Joya_Arequipa_Per%C3%BA)

Ifanda, I., Amiral, A., & Ahmad, F. (2023). Optimizing Turbine Siting and Wind Farm Layout in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 13(3). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i3.14070.g8806>

Jimenes Cutipa, R. (2018). *Estudio de viabilidad técnica de un mini parque eólico de 9 kw conectado a la red eléctrica Puno, en el sector de Ventilla Alto Puno - Departamento de Puno* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9216>

Luque Salas, J. P. (2018). *Evaluación de la viabilidad del aprovechamiento del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el Distrito de Chiguata – Arequipa, 2018* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6362>

Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., & Herman, R. L. (2018). *The Atmosphere An Introduction to Meteorology Fourteenth Edition* (TASA, Ed.; 14th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us.html>

Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* (John Wiley & Sons, Eds.; Second Edition). Wiley.

Meteo Pirineos. (2022, diciembre 28). *La presión atmosférica y el viento* | METEO PIRINEOS. La presión atmosférica y el viento. <https://meteopirineos.es/reportajes/la-presion-atmosferica-y-el-viento/>

Meteopedia. (2023). *¿Qué es el viento? Tipos, cómo se forma y efectos* | Clima.com. Viento. <https://www.clima.com/meteopedia/viento>



- Moreto Gómez, N. (2020). *Estimación del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías - Ayabaca* [UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE].  
<https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/799>
- Portillo, G. (2023, junio 20). *Efecto Coriolis: qué es, en qué consiste y ejemplos - Resumen*. Efecto Coriolis. <https://www.ecologiaverde.com/efecto-coriolis-que-es-en-que-consiste-y-ejemplos-4463.html>
- Quiñonez Choquecota, J., Huanca Callata, E., & Holguino Huarza, A. (2019). Caracterización del recurso eólico en la ciudad de Juliaca. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(1), 57–68.  
<https://doi.org/10.18271/ria.2019.445>
- Rojas Maita, C. P. (2020). *Evaluación de los recursos eólicos para la generación de energía eléctrica a pequeña escala en el distrito de Huachac* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ].  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6337>
- Ropero Portillo, S. (2023, julio 20). *Qué es la ENERGÍA EÓLICA, cómo funciona y ejemplos - Resumen y VÍDEO*. Que es la energía eólica.  
<https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-energia-eolica-como-funciona-y-ejemplos-2715.html>
- Stull, R. B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology* (Springer Science & Business Media, Eds.; Vol. 13). Atmospheric Sciences Library.
- Tavares Lira, M. A., Moita Neto, J. M., Lopes de Loiola, J. V., Mariano Da Silva, E., & Brabo Alves, J. M. (2017). Caracterização do Regime de ventos no piauí para o aproveitamento de energia eólica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(1).  
<https://doi.org/10.1590/0102-778632120150712>



Vera González, G. A. (2019). *Estudio para la implementación de un parque eólico en la costa norte colombiana* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA].  
<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7114>

## ANEXOS

### ANEXO 1: Información de SENAMHI

#### Figura 1.1

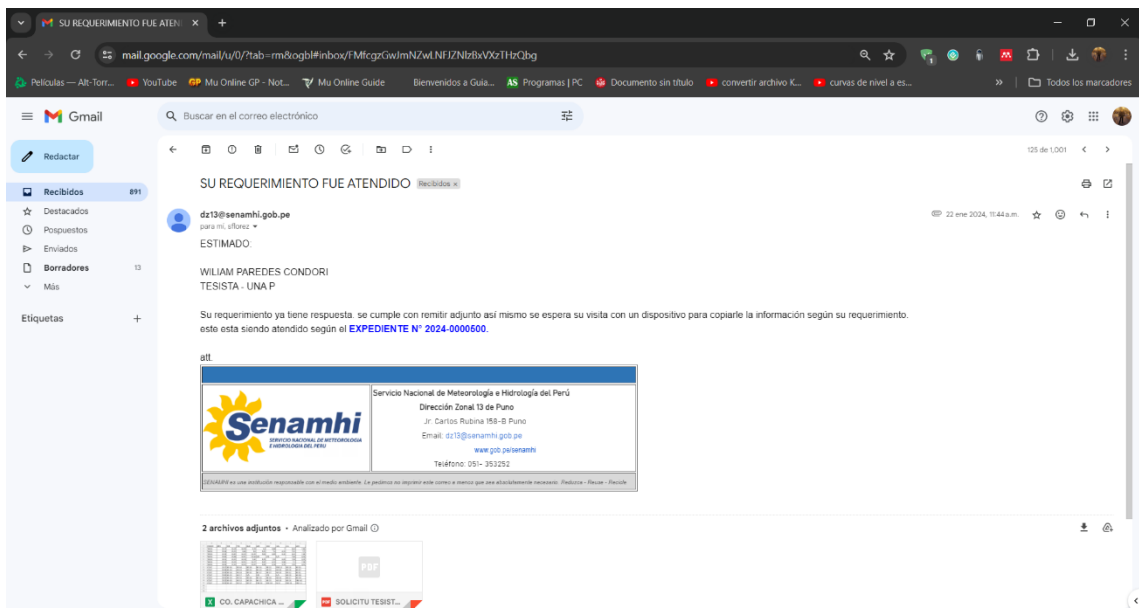
*Estación Meteorológica de Capachica*



Nota: propia

#### Figura 1.2

*Data de la Estación Meteorológica*



Nota: propia

**Tabla 1.1**

*Datos de SENAMHI – Muestra*

Leyenda: * S/D = Sin Datos.			
* T = Trazas (Precipitación < 0.1 mm/día).			
Estación: CAPACHICA			
Departamento: PUNO, Provincia: PUNO, Distrito: CAPACHICA			
Latitud: 15°36'48.4", Longitud:69°50'32", Altitud: 3822, msnm.			
Tipo: CO, -Meteorológica, Código:100021			
TM101	Temperatura Media diaria (°C)		
VT107	Dirección y velocidad media diaria (m/s)		
Fecha	Velocidad	Dirección	TM101
1/1/2019	3.4	45	7.7
2/1/2019	3.1	67.5	7.25
3/1/2019	3.8	45	6.79
4/1/2019	3.1	67.5	6.49
5/1/2019	4	45	6.23
6/1/2019	3.4	45	6.53
7/1/2019	2	45	8.36
8/1/2019	3.2	45	10.65
9/1/2019	3.04	45	13.23
10/1/2019	3.52	67.5	15.37
11/1/2019	3.44	45	16.91
12/1/2019	4.38	45	17.99
13/1/2019	3.72	45	18.46
14/1/2019	4.16	45	18.39
15/1/2019	3.62	45	17.73
16/1/2019	4.54	45	16.63
17/1/2019	4.48	67.5	15.09
18/1/2019	4.08	67.5	13.29
19/1/2019	3.68	45	11.75
20/1/2019	5.32	45	11.01
21/1/2019	5.16	45	10.39
22/1/2019	4.01	67.5	9.79
23/1/2019	2.84	67.5	9.44
24/1/2019	2.28	45	8.87
25/1/2019	2.66	45	8.52
26/1/2019	3.6	45	8.15
27/1/2019	3.52	45	7.89



28/1/2019	4.2	45	7.61
29/1/2019	3.62	45	7.4
30/1/2019	3.02	67.5	7.74
31/1/2019	2.71	45	9.83
1/2/2019	3.85	45	11.33
2/2/2019	4.56	45	12.98
3/2/2019	3.5	45	14.65
4/2/2019	4.12	45	16.23
5/2/2019	3.98	45	17.51
6/2/2019	3.92	45	18.09
7/2/2019	3.61	45	18.23
8/2/2019	4.21	45	17.93
9/2/2019	4.12	45	17.06
10/2/2019	3.14	67.5	15.82
11/2/2019	3.97	67.5	14.19
12/2/2019	3.96	45	12.02
13/2/2019	4.16	45	10.98
14/2/2019	3.98	67.5	10.2
15/2/2019	4.25	67.5	9.51
16/2/2019	3.58	45	8.78
17/2/2019	4.16	45	8.13
18/2/2019	3.52	67.5	7.55
19/2/2019	3.47	67.5	7.06
20/2/2019	3.62	45	6.45
21/2/2019	4.25	45	6.05
22/2/2019	5.2	67.5	5.9
23/2/2019	4.81	67.5	6.51
24/2/2019	4.35	45	9.12
25/2/2019	3.88	67.5	11.08
26/2/2019	3.93	45	12.76
27/2/2019	3.93	45	14.28
28/2/2019	3.97	45	15.69
1/3/2019	3.16	45	16.87
2/3/2019	2.3	45	17.69
3/3/2019	2.41	45	18.02
4/3/2019	2.9	45	17.74
5/3/2019	3.18	45	16.81
6/3/2019	2.19	45	15.44
7/3/2019	3.15	45	13.65
8/3/2019	2.63	45	11.31
9/3/2019	3.45	45	10.34
10/3/2019	3	67.5	9.59
11/3/2019	3.22	67.5	8.94
12/3/2019	3.4	67.5	8.39
13/3/2019	2.65	45	8.2



14/3/2019	3.3	45	7.76
15/3/2019	2.88	45	7.38
16/3/2019	2.6	45	7.1
17/3/2019	3.01	45	6.85
18/3/2019	3.22	45	6.83
19/3/2019	3.17	45	7.23
20/3/2019	3.23	45	8.78
21/3/2019	2.75	45	10.01
22/3/2019	2.66	67.5	11.62
23/3/2019	1.96	67.5	13.68
24/3/2019	1.85	67.5	15.62
25/3/2019	2.39	45	16.86
26/3/2019	3.12	45	17.25
27/3/2019	2.38	45	17
28/3/2019	3.14	45	16.23
29/3/2019	2.45	45	15.1
30/3/2019	2.82	45	13.66
31/3/2019	2.23	45	12.16
1/4/2019	1.82	45	10.95
2/4/2019	1.92	45	10.45
3/4/2019	2.29	45	10.17
4/4/2019	2.54	45	9.85
5/4/2019	2.45	45	9.44
6/4/2019	3.5	67.5	8.96
7/4/2019	2.12	67.5	8.26
8/4/2019	2.64	67.5	7.6
9/4/2019	2.37	67.5	7.12
10/4/2019	2.41	67.5	6.73
11/4/2019	2.66	45	6.54
12/4/2019	3.17	45	6.44
13/4/2019	3.1	67.5	7.15
14/4/2019	2.15	45	8.82
15/4/2019	2.95	45	11.48
16/4/2019	2.88	45	14.23
17/4/2019	1.8	45	16.36
18/4/2019	1.7	45	17.72
19/4/2019	3.32	45	18.33
20/4/2019	2.71	45	17.92
21/4/2019	3.1	45	15.09
22/4/2019	2.99	45	10.06
23/4/2019	2.25	45	8.36
24/4/2019	2.4	45	8.49
25/4/2019	2.1	45	8.71
26/4/2019	1.78	67.5	8.57

Nota: SENAMHI 2023

## ANEXO 2: información de la NASA

**Tabla 2.1**

*Datos de NASA - Muestra*

-BEGIN HEADER-								
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Daily Data								
Dates (month/day/year): 01/01/2017 through 12/31/2023								
Location: Latitude -15.6136 Longitude -69.8426								
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region =4214 meters								
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999								
Parameter(s):								
PS MERRA-2 Surface Pressure (kPa)								
WS10M MERRA-2 Wind Speed at 10 Meters (m/s)								
WS20M MERRA-2 Wind Speed at 20 Meters (m/s)								
WS40M MERRA-2 Wind Speed at 40 Meters (m/s)								
WS50M MERRA-2 Wind Speed at 50 Meters (m/s)								
-END HEADER-								
YEAR	MO	DY	WS5M	WS10M	WS20M	WS30M	WS40M	WS50M
2019	1	1	3.009	3.88	3.284	3.37	3.431	3.48
2019	1	2	2.976	4.17	3.281	3.376	3.445	3.5
2019	1	3	2.768	3.89	3.026	3.106	3.164	3.21
2019	1	4	2.518	3.92	2.707	2.765	2.807	2.84
2019	1	5	2.725	4.44	2.876	2.921	2.954	2.98
2019	1	6	3.549	3.7	3.837	3.925	3.99	4.04
2019	1	7	4.613	2.08	4.889	4.973	5.033	5.08
2019	1	8	4.966	3.23	5.211	5.285	5.338	5.38
2019	1	9	4.779	3.05	4.964	5.019	5.059	5.09
2019	1	10	4.703	4.03	4.88	4.933	4.97	5
2019	1	11	5.226	4.45	5.454	5.522	5.572	5.61
2019	1	12	5.71	4.38	5.977	6.057	6.115	6.16
2019	1	13	5.915	3.72	6.191	6.274	6.333	6.38
2019	1	14	6.121	4.17	6.405	6.491	6.552	6.6
2019	1	15	6.59	3.62	6.922	7.022	7.094	7.15
2019	1	16	7.236	4.54	7.675	7.809	7.905	7.98
2019	1	17	7.932	4.48	8.513	8.691	8.819	8.92
2019	1	18	8.416	4.38	9.173	9.407	9.576	9.71
2019	1	19	8.517	3.68	9.471	9.77	9.988	10.16
2019	1	20	8.667	5.32	9.672	9.988	10.218	10.4
2019	1	21	8.397	5.16	9.407	9.724	9.956	10.14
2019	1	22	7.822	4.29	8.793	9.099	9.323	9.5
2019	1	23	6.758	2.85	7.682	7.975	8.189	8.36
2019	1	24	5.771	2.28	6.621	6.892	7.091	7.25





2019	1	25	5.333	2.66	6.157	6.421	6.615	6.77
2019	1	26	5.106	3.69	5.883	6.132	6.314	6.46
2019	1	27	4.755	4.92	5.458	5.683	5.849	5.98
2019	1	28	4.394	4.23	5.008	5.203	5.346	5.46
2019	1	29	4.128	3.62	4.661	4.829	4.952	5.05
2019	1	30	3.898	3.03	4.34	4.479	4.58	4.66
2019	1	31	4.029	2.75	4.248	4.315	4.363	4.4
2019	2	1	4.238	3.73	4.423	4.479	4.519	4.55
2019	2	2	4.566	3.04	4.747	4.801	4.84	4.87
2019	2	3	4.859	2.98	5.044	5.099	5.139	5.17
2019	2	4	5.129	3.12	5.314	5.369	5.409	5.44
2019	2	5	5.422	3.98	5.611	5.668	5.708	5.74
2019	2	6	5.878	3.64	6.093	6.158	6.204	6.24
2019	2	7	6.441	3.31	6.708	6.788	6.845	6.89
2019	2	8	7.144	4.09	7.497	7.604	7.68	7.74
2019	2	9	7.793	3.54	8.258	8.399	8.5	8.58
2019	2	10	8.248	2.98	8.837	9.018	9.148	9.25
2019	2	11	8.36	3.52	9.126	9.363	9.535	9.67
2019	2	12	8.284	3.31	9.289	9.606	9.837	10.02
2019	2	13	8.556	4.01	9.634	9.974	10.223	10.42
2019	2	14	8.69	3.86	9.794	10.143	10.398	10.6
2019	2	15	8.458	4.19	9.523	9.859	10.105	10.3
2019	2	16	8.032	3.56	9.037	9.355	9.586	9.77
2019	2	17	7.876	3.16	8.873	9.188	9.418	9.6
2019	2	18	7.807	2.52	8.786	9.095	9.321	9.5
2019	2	19	7.648	2.47	8.631	8.942	9.17	9.35
2019	2	20	7.2	3.62	8.158	8.462	8.684	8.86
2019	2	21	6.277	4.25	7.148	7.426	7.629	7.79
2019	2	22	5.392	5.2	6.117	6.348	6.516	6.65
2019	2	23	4.902	4.81	5.486	5.67	5.804	5.91
2019	2	24	4.727	4.35	5.093	5.205	5.286	5.35
2019	2	25	4.584	3.8	4.876	4.965	5.03	5.08
2019	2	26	4.843	3.73	5.084	5.157	5.209	5.25
2019	2	27	5.226	2.7	5.454	5.522	5.572	5.61
2019	2	28	6.049	3.97	6.346	6.435	6.5	6.55
2019	3	1	6.749	3.16	7.128	7.243	7.325	7.39
2019	3	2	7.068	2.46	7.477	7.601	7.69	7.76
2019	3	3	6.953	2.41	7.37	7.497	7.588	7.66
2019	3	4	6.244	2.9	6.666	6.794	6.887	6.96
2019	3	5	5.795	3.55	6.273	6.42	6.526	6.61
2019	3	6	4.792	3.58	5.167	5.282	5.365	5.43
2019	3	7	3.548	4.55	3.854	3.948	4.016	4.07
2019	3	8	2.725	3.63	3.03	3.125	3.195	3.25
2019	3	9	2.736	3.45	3.006	3.091	3.152	3.2
2019	3	10	3.009	4	3.244	3.334	3.399	3.45



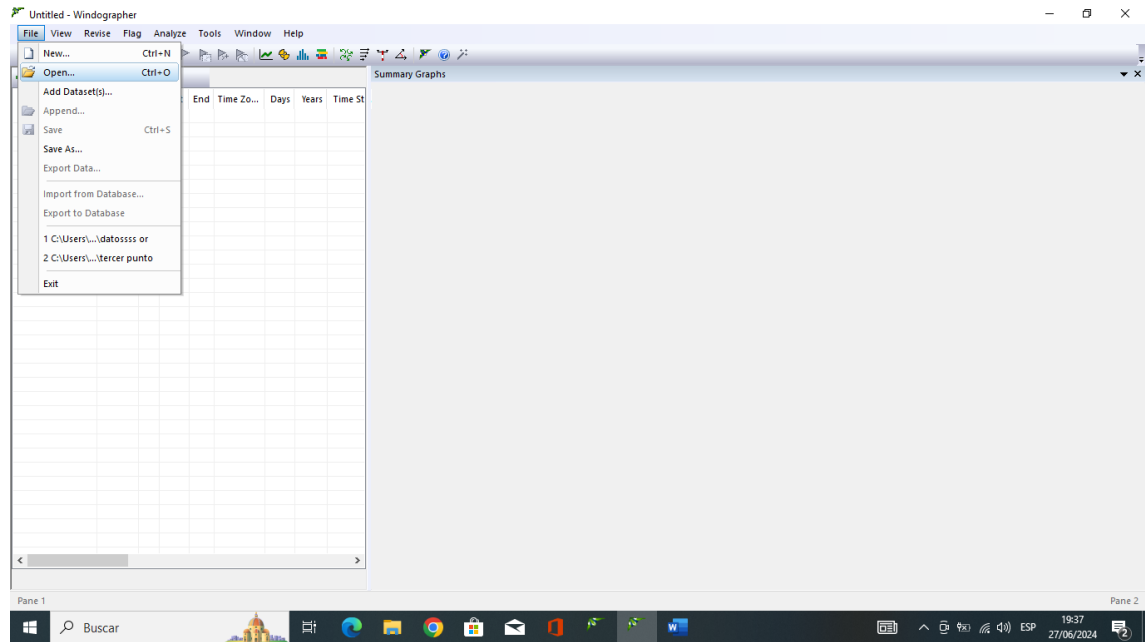
2019	3	11	2.976	4.22	3.693	3.805	3.886	3.95
2019	3	12	2.768	4.4	4.615	4.769	4.881	4.97
2019	3	13	2.518	4.65	5.7	5.899	6.045	6.16
2019	3	14	2.725	3.3	6.256	6.474	6.634	6.76
2019	3	15	3.549	2.88	6.162	6.378	6.535	6.66
2019	3	16	4.613	2.6	5.737	5.937	6.084	6.2
2019	3	17	4.966	3.01	5.466	5.654	5.791	5.9
2019	3	18	4.779	3.22	5.462	5.66	5.805	5.92
2019	3	19	4.703	3.57	5.536	5.724	5.861	5.97
2019	3	20	5.226	3.73	5.776	5.9	5.99	6.06
2019	3	21	5.71	3.75	6.196	6.312	6.395	6.46
2019	3	22	5.915	3.66	6.647	6.762	6.845	6.91
2019	3	23	6.121	1.96	6.871	6.984	7.066	7.13
2019	3	24	6.59	1.85	6.84	6.95	7.028	7.09
2019	3	25	7.236	2.39	6.659	6.765	6.841	6.9
2019	3	26	7.932	3.25	6.092	6.179	6.241	6.29
2019	3	27	8.416	3.38	5.332	5.393	5.436	5.47
2019	3	28	8.517	3.34	5.373	5.424	5.461	5.49
2019	3	29	8.667	2.45	6.663	6.754	6.819	6.87
2019	3	30	8.397	2.82	7.577	7.722	7.828	7.91
2019	3	31	7.822	2.63	6.908	7.053	7.158	7.24
2019	4	1	6.758	1.82	5.692	5.814	5.901	5.97
2019	4	2	5.771	1.95	4.674	4.773	4.844	4.9
2019	4	3	5.333	3.2	3.882	3.955	4.008	4.05
2019	4	4	5.106	3.1	3.249	3.294	3.325	3.35
2019	4	5	4.755	3.71	2.638	2.652	2.662	2.67
2019	4	6	4.394	3.5	2.192	2.183	2.175	2.17
2019	4	7	4.128	3.02	2.211	2.215	2.218	2.22
2019	4	8	3.898	2.54	2.526	2.559	2.582	2.6
2019	4	9	4.029	2.38	3.029	3.099	3.15	3.19
2019	4	10	4.238	2.91	3.667	3.777	3.857	3.92
2019	4	11	4.566	3.82	4.132	4.27	4.37	4.45
2019	4	12	4.859	3.47	4.34	4.479	4.58	4.66
2019	4	13	5.129	3.1	4.579	4.667	4.73	4.78
2019	4	14	5.422	2.95	4.504	4.581	4.636	4.68
2019	4	15	5.878	2.95	3.859	3.917	3.958	3.99
2019	4	16	6.441	2.88	2.726	2.759	2.782	2.8
2019	4	17	7.144	1.8	2.062	2.043	2.03	2.02
2019	4	18	7.793	1.7	3.161	3.156	3.153	3.15
2019	4	19	8.248	4.82	4.17	4.179	4.185	4.19
2019	4	20	8.36	2.71	4.982	5.008	5.026	5.04
2019	4	21	8.284	3.21	5.44	5.48	5.508	5.53
2019	4	22	8.556	2.99	5.573	5.625	5.661	5.69
2019	4	10	8.69	2.91	5.426	5.489	5.535	5.57

Nota: NASA

## ANEXO 3: Software Windographer

**Figura 3.1**

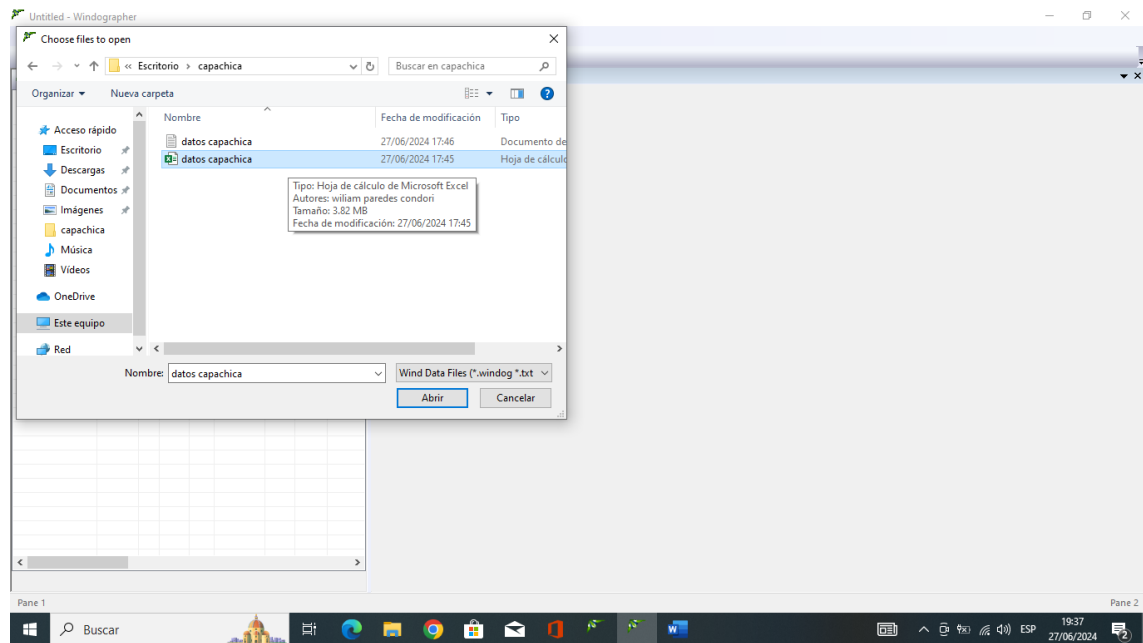
*Interfaz de Windographer*



Nota: abriendo el interfaz para poder insertar los datos de SENAMHY y NASA

### Figura 3.2

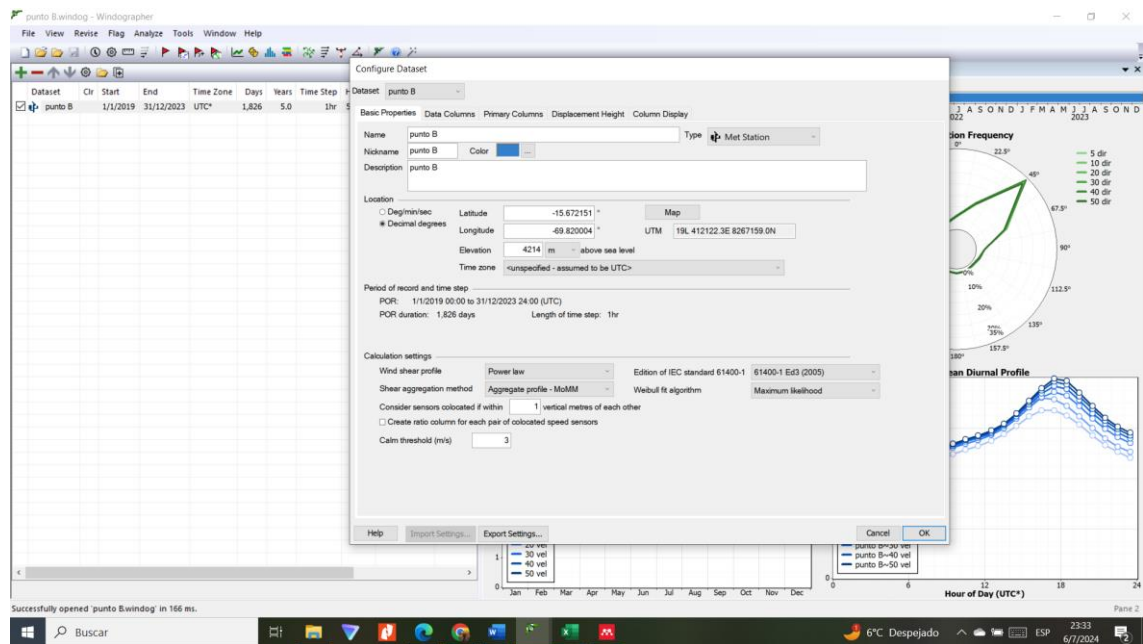
*introducción de datos*



Nota: insertando los datos recopilados

### Figura 3.3

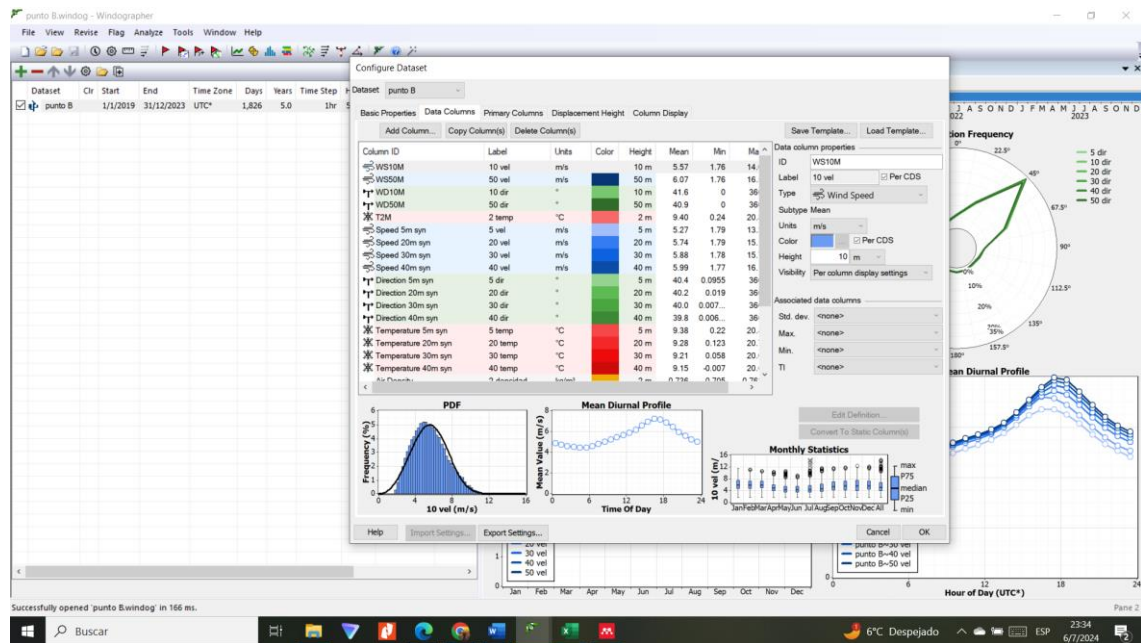
*Introducción de coordenadas*



Nota: poniendo datos de latitud, longitud y altitud.

**Figura 3.4**

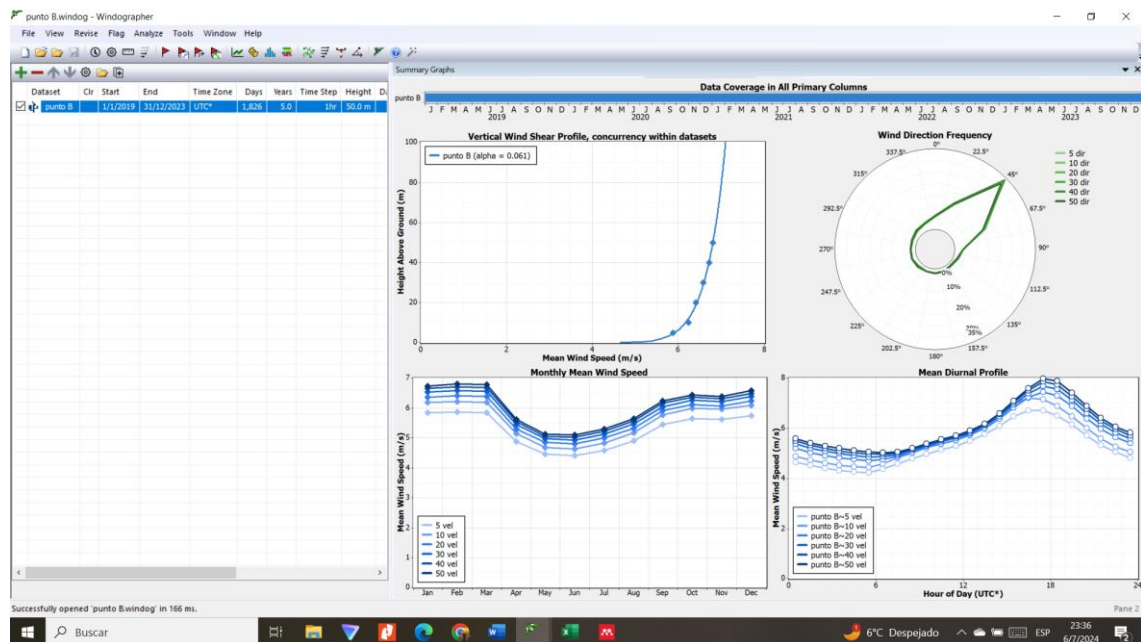
*Revisión de datos*



Nota: ordenando y observando si las alturas están completas.

**Figura 3.5**

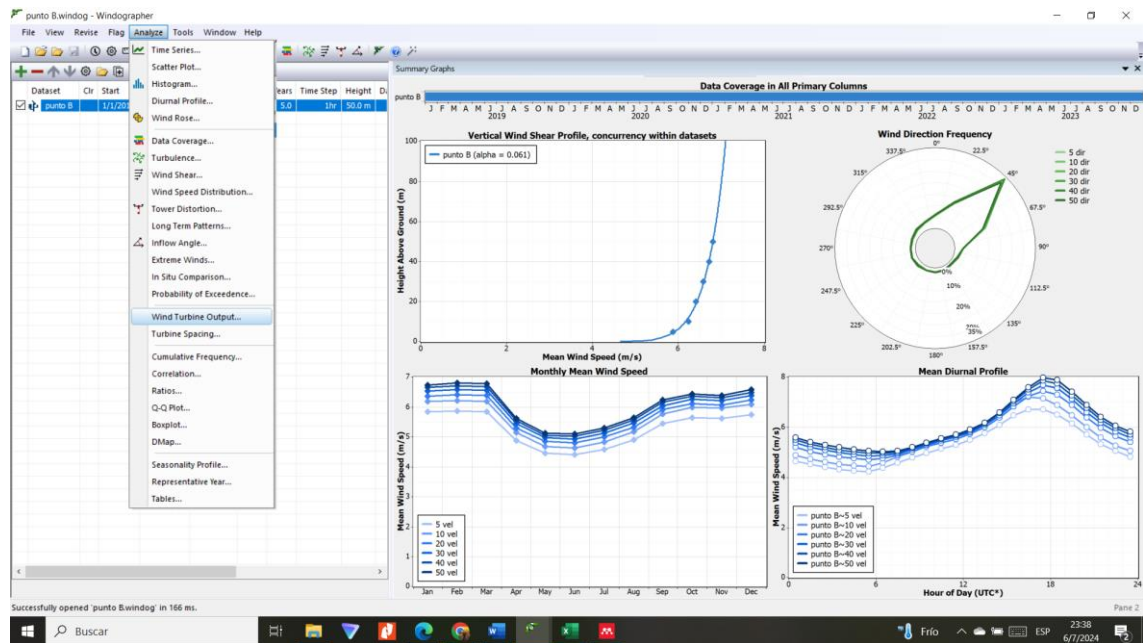
*Datos ya completamente introducidos*



Nota: datos ya cargados en el programa Windographer

**Figura 3.6**

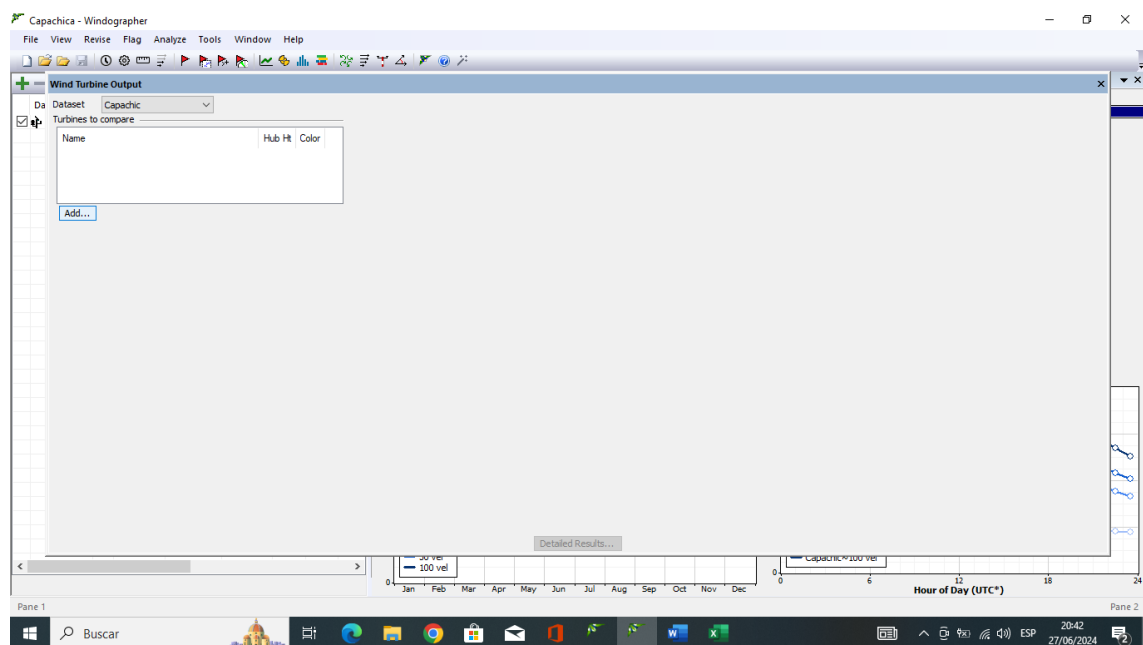
*Entrando a la simulación de energía*



Nota: simulación de energía eléctrica

**Figura 3.7**

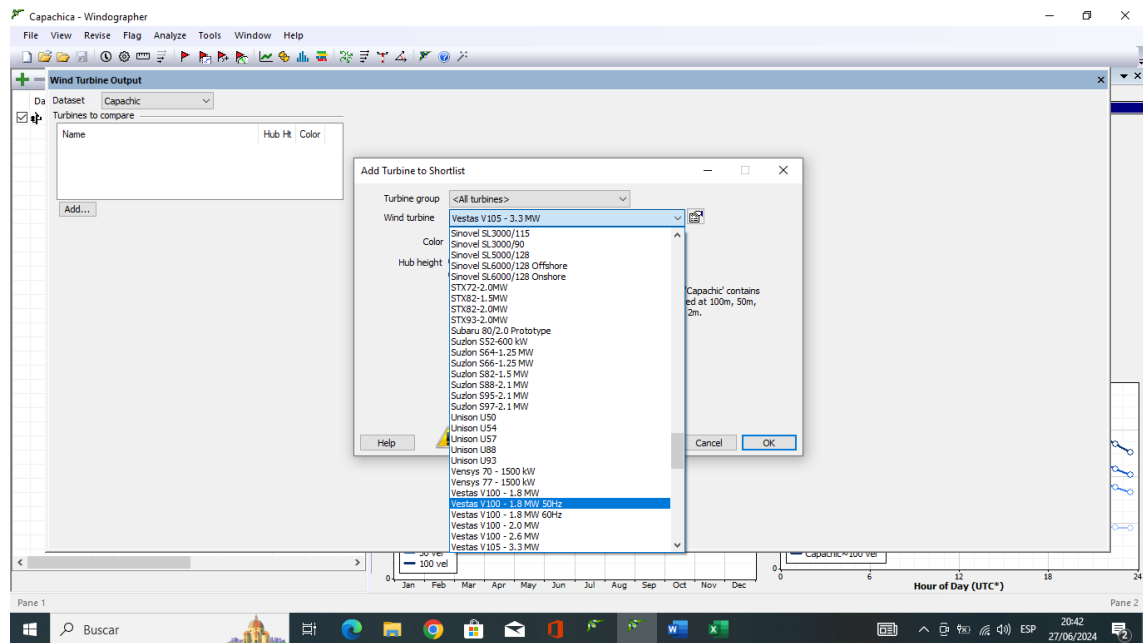
*Panel de simulación de energía*



Nota: panel de simulación de energía eléctrica

**Figura 3.8**

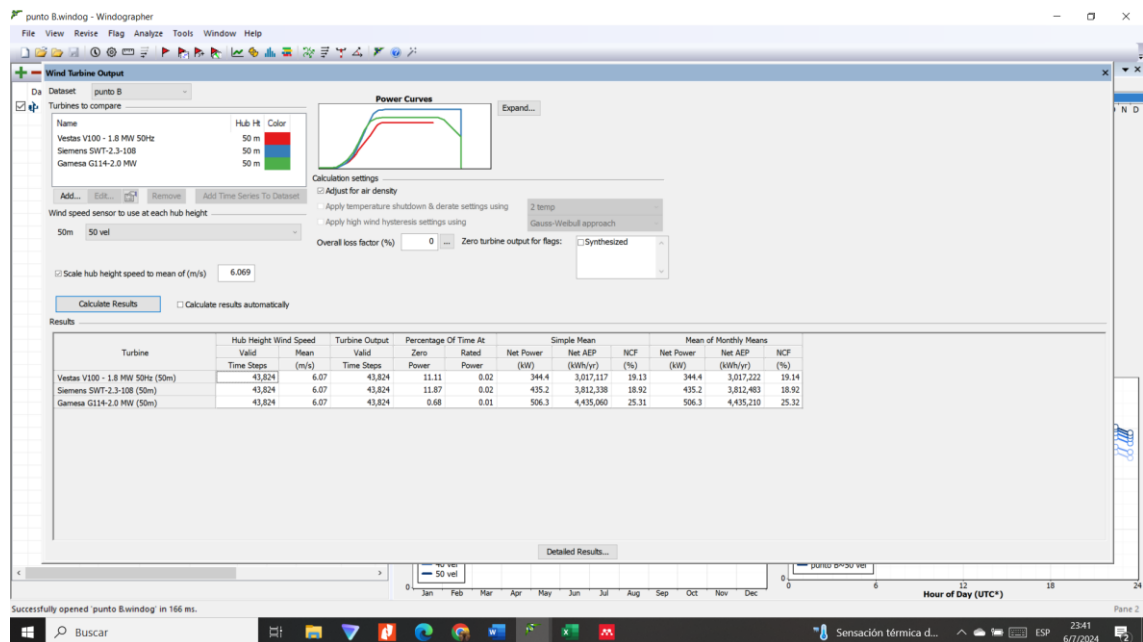
*Selección de aerogeneradores*



Nota: escogiendo los aerogeneradores deseados.

**Figura 3.9**

*Resultados obtenidos*



Nota: resultados dados de la simulación de energía eléctrica.





## Figura 3.9

### Declaración jurada de Autenticidad de tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

#### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo WILIAM PAREDES CONDORI  
identificado con DNI 47717294 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
“ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD  
DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PENÍNSULA  
DE CAPACHICA 2024”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de julio del 2024.



FIRMA (obligatoria)



Huella





## Figura 3.10

### Autorización para el Depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

#### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo WILIAM PAREDES CONDORI,  
identificado con DNI 47717294 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD  
DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PENÍNSULA  
DE CAPACHICA 2024”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de julio del 2024.

FIRMA (obligatoria)



Huella