

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**Programa de Doctorado en Ingeniería en Energía**



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

---

---

**Hidrógeno verde a partir de energía eólica en el  
distrito de Rázuri, región La Libertad**

---

---

**Tesis para optar el grado de Doctor en  
Ingeniería en Energía**

**Autor:**

**Mg. Inciso Vásquez, Jorge Antonio**  
**Código ORCID: 0000-0001-8798-1283**

**Asesor:**

**Dr. Aranguri Cayetano, Denis Javier**  
**DNI. N° 42009679**  
**Código ORCID: 0000-0002-6119-2072**

**Línea de Investigación:**  
**Energía Renovable**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2026**



## CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dr. Arangurí Cayetano, Denis Javier**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis de Doctorado titulada: **“Hidrógeno verde a partir de energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad”**, elaborado por el **Mg. Jorge Antonio Inciso Vásquez**, para obtener el Grado de **Doctor en Ingeniería en Energía**, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

---

**Dr. Arangurí Cayetano, Denis Javier**

**Asesor**

DNI N° 42009679

Código ORCID: 0000-0002-6119-2072



## AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis de Doctorado titulada: **“Hidrógeno verde a partir de energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad”**, elaborado por el Mg. Jorge Antonio Inciso Vásquez.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

---

**Dr. Luján Guevara, Gilmer Juan**  
Presidente  
DNI N° 32823443  
Código ORCID: 0000-0003- 4619-3795

---

**Dr. Ascurra Valle, Víctor Alejandro**  
Secretario  
DNI N° 17866619  
Código ORCID 0000-0001-5755-5267

---

**Dr. Arangurí Cayetano, Denis Javier**  
Vocal/Asesor  
DNI N° 42009679  
Código ORCID: 0000-0002-6119-2072



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veinte y un días del mes de noviembre del año 2025, siendo las 11:00 horas, en el aula P-02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 736-2025-EPG-UNS de fecha 08.08.2025, conformado por los docentes: Dr. Gilmer Juan Luján Guevara (Presidente), Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle (Secretario), Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: "**HIDRÓGENO VERDE A PARTIR DE ENERGIA EÓLICA EN EL DISTRITO DE RAZURI, REGIÓN LA LIBERTAD**"; presentado por el tesista **Jorge Antonio Inciso Vásquez**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería en Energía.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 904-2025-EPG-UNS de fecha 10 de noviembre de 2025.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Aprobado, asignándole la calificación de 17 (Diecisiete).

Siendo las 12:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

**Dr. Gilmer Juan Luján Guevara**  
Presidente

**Dr. Víctor Alejandro Ascurra Valle**  
Secretario

**Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano**  
Vocal/Asesor

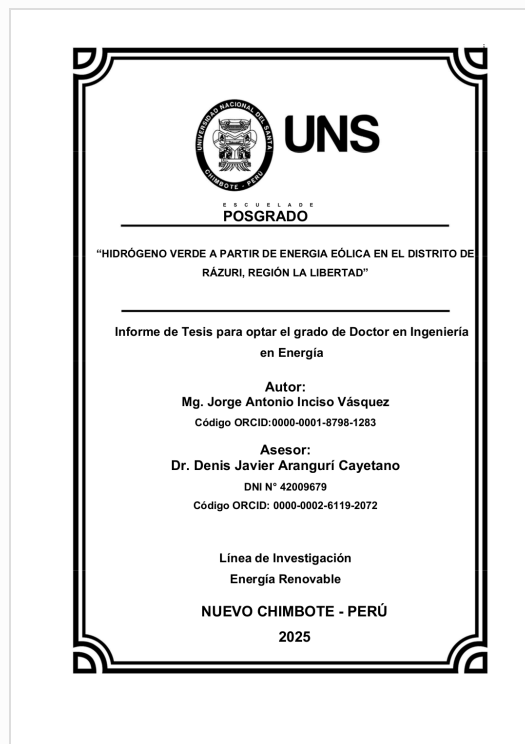


## Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: CARLOS ALEXIS ALVARADO SILVA  
Assignment title: Variados  
Submission title: TESIS DOCTORAL VER 12.docx  
File name: TESIS\_DOCTORAL\_VER\_12.docx  
File size: 4.41M  
Page count: 138  
Word count: 26,394  
Character count: 139,933  
Submission date: 12-Mar-2026 09:10AM (UTC-0500)  
Submission ID: 2901244813



# TESIS DOCTORAL VER 12.docx

## ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	5%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	3%
3	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	1%
6	Submitted to Universidad Nacional del Santa Student Paper	<1%
7	<a href="http://esdocs.com">esdocs.com</a> Internet Source	<1%
8	<a href="http://repositorio.uss.cl">repositorio.uss.cl</a> Internet Source	<1%
9	<a href="http://oa.upm.es">oa.upm.es</a> Internet Source	<1%

## **Dedicatoria y Agradecimiento.**

*Agradezco a Dios y al dulce nombre de Jesús, por permitirme finalizar un gran esfuerzo plasmado en esta investigación.*

*Dedico la presente Investigación a la memoria de mis padres Segundo Mercedes y María Antonia, así como la de mi hermano Carlos Wilde que, aunque ya no están con nosotros, Siempre los tenemos en nuestra memoria y nuestros corazones Por sus enseñanzas que iluminan nuestras vidas.*

*A mi hermana Lidia Gabriela, con todo el cariño del mundo.*

## ÍNDICE GENERAL

Carátula.....	i
Hoja de conformidad del asesor .....	ii
Hoja de Conformidad del Jurado .....	iii
Acta de sustentación.....	iv
Acta de Aprobación de originalidad.....	v
Declaración Jurada de autoría .....	vi
Recibo turnitin .....	vii
Reporte porcentual de turnitin .....	viii
Dedicatoria y Agradecimiento.....	ix
Índice general.....	x
índice de tablas.....	xii
Índice De Figuras .....	xiii
Índice De Anexos .....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Descripción del problema.....	17
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Objetivos .....	19
1.4. Formulación de hipótesis .....	19
1.5. Justificación e importancia .....	20
1.5.1. Conveniencia:.....	20
1.5.2. Relevancia social:.....	20
1.5.3. Valor teórico:.....	20
1.5.4. Importancia práctica: .....	21
1.5.5. Utilidad metodológica:.....	21
II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Marco conceptual .....	24
III. METODOLOGÍA .....	34
3.1. Método .....	34
3.2. Diseño de la investigación .....	34
3.3. Población .....	34
3.4. Muestra .....	34

3.5.	Variables del estudio.....	34
3.6.	Operacionalización de las variables.....	35
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	36
3.8.	Técnicas de análisis de resultados.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1.	Resultados.....	37
4.2.	Discusión de resultados: .....	47
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
5.1.	Conclusiones.....	51
5.2.	Recomendaciones.....	52
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
VII.	ANEXOS .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Rugosidad en cada tipo de terreno .....	31
<b>Tabla 2</b>	Tabla de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	36
<b>Tabla 3</b>	Potencia útil de salida en base a los datos de NASA Power .....	40
<b>Tabla 4</b>	Potencia útil de salida en base a las mediciones recolectadas .....	44
<b>Tabla 5</b>	Características técnicas del generador de hidrógeno .....	45
<b>Tabla 6</b>	Cálculo de la cantidad de máquinas necesarias .....	45
<b>Tabla 7</b>	Condiciones de producción de hidrógeno a máxima capacidad.....	46
<b>Tabla 8</b>	Precio del hidrógeno verde en el mercado.....	46
<b>Tabla 9</b>	Costos y beneficios del proyecto propuesto.....	47
<b>Tabla 10</b>	Cuadro comparativo de las características del viento calculadas.....	48
<b>Tabla 11</b>	Comparación de la potencia generada .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de flujo de viento a través de un área constante.....	25
<b>Figura 2</b>	Velocidad del viento promedio anual a 100 metros de altura.....	28
<b>Figura 3</b>	Esquema de la matriz energética.....	32
<b>Figura 4</b>	Comparación de los niveles de ruido.....	33
<b>Figura 5</b>	Tendencia del flujo de viento mensual en función a cada año.....	37
<b>Figura 6</b>	Gráfico de la densidad de potencia obtenida por distribución probabilística .....	38
<b>Figura 7</b>	Nivel de ruido en función a la distancia a la turbina.....	41
<b>Figura 8</b>	Radio de exposición del ruido generado por la turbina .....	42
<b>Figura 9</b>	Nivel de ruido de los equipos y maquinarias en función a la distancia .....	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Matriz de Consistencia.....	58
<b>Anexo 2</b> Instrumento Ficha De Registro Meteorológico.....	59
<b>Anexo 3</b> Cálculos y otras evidencias.....	61
<b>Anexo 4</b> Central Eólica Cupisnique (ubicada en el distrito de Cupisnique, provincia de Pacasmayo, región La Libertad, Perú) .....	146
<b>Anexo 5</b> Proyección anunciada de hidrógeno de bajas emisiones (Mt/año) para 2030 — comparación LatAm vs Perú.....	147
<b>Anexo 6</b> Estado de proyectos de hidrógeno en América Latina (participación aproximada por etapa). .....	148

## RESUMEN

En el presente estudio se estableció como objetivo la producción de hidrógeno verde a partir de energía eólica y con el proceso de hidrólisis. en el distrito de Rázuri. Para ello se consideró una metodología de tipo aplicada y no experimental. Entre los hallazgos, se resalta que la velocidad de viento promedio en el distrito de Razuri es de 8.37 m/s según las mediciones realizadas, las cuales indican que el potencial es de 20 846.64 MWh. Con lo que se podría obtener un caudal de hidrogeno de 300 000 kg H<sub>2</sub>O/día. siendo el costo de 2.10 dólares el kilogramo y catalogándose como una planta productora de hidrógeno verde de pequeña escala. Además, desde el aspecto medioambiental, las fuentes de ruido durante el periodo de construcción y puesta en marcha del proyecto no son significativos como para alterar las comunidades adyacentes. En el aspecto económico, la venta de la energía eléctrica de la turbina simboliza una recuperación de la inversión en cinco años, pero al considerar únicamente la venta de hidrógeno al mercado, la recuperación desciende hasta seis meses. Por lo tanto, la planta de hidrógeno verde representa una mejoría de la implementación de turbinas en el distrito de Rázuri.

### **Palabras clave:**

Hidrogeno verde, Energía eólica, Hidrolisis

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to produce green hydrogen from wind energy using the hydrolysis process in the Rázuri district. An applied, non-experimental methodology was used. Among the findings, it is highlighted that the average wind speed in the Razuri district is 8.37 m/s according to measurements, which indicate a potential of 20,846.64 MWh. This would result in a hydrogen flow rate of 300,000 kg H<sub>2</sub>O/day, with a cost of \$2.10 per kilogram and classified as a small-scale green hydrogen production plant. Furthermore, from an environmental perspective, noise sources during the construction and commissioning period of the project are not significant enough to disrupt the surrounding communities. Economically, the sale of the turbine's electrical energy represents a return on investment in five years, but considering only the sale of hydrogen to the market, the return drops to six months. The green hydrogen plant therefore represents an improvement in the implementation of turbines in the Rázuri district.

### **Keywords:**

Green hydrogen, Wind energy, Hydrolysis

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En tiempos modernos, la definición de sostenibilidad en los países, se basa en la capacidad que dispone cada país para producir la energía que consumen sin perjudicar severamente el ecosistema. No obstante, cuando el consumo supera la producción, generalmente se recurre a combustibles fósiles para compensar esta deficiencia, ocasionando un desafío importante para el desarrollo sostenible. Esta situación no solo provoca inestabilidad en los precios energéticos, sino que también agrava el daño ambiental. Por lo tanto, es crucial replantear las estrategias energéticas hacia enfoques más sustentables para garantizar un desarrollo económico estable y mitigar los impactos negativos en el medio ambiente (Knez et al., 2022).

Además, se tiene que resaltar que durante la crisis sanitaria provocada por la pandemia del COVID-19, se registró un retroceso en las inversiones destinadas a la generación de energía por fuentes renovables. A nivel global, el progreso en estas inversiones disminuyó en un 28%, principalmente debido a la priorización de recursos hacia los sectores más vulnerables y la búsqueda de la reactivación económica. Esta situación plantea un riesgo significativo para los acuerdos y políticas establecidos, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que se comprometen a promover la generación de energía limpia y el consumo responsable (Clemente et al., 2022).

A pesar de ello, se ha demostrado la eficacia de las energías renovables al sustituir el carbón de las matrices energéticas de diversos países. Sin embargo, el desafío ideal radica en sustituir todas las fuentes energéticas que utilicen combustibles fósiles para la electrificación. Además, se tiene que considerar las cargas que son difíciles de electrificar mediante fuentes renovables, como lo son el transporte pesado a larga distancia y de alto consumo. Para superar este desafío, algunas industrias al propuesto el hidrógeno verde como fuente para suplir la demanda de electrificación mediante fuentes renovables (IEA, 2021).

Actualmente, la Unión Europea, Japón, Corea del sur y California han desarrollado políticas de incentivos y marcos regulatorios para liderar proyectos con el uso del hidrógeno verde para las industrias en general. Debido a que el hidrógeno verde presenta ventajas como la integración de energías renovables intermitentes como la

eólica para la fabricación del mismo, el uso que tiene como combustible con emisiones cero para el transporte pesado, la descarbonización de la industria al ser un recurso químico renovable y la versatilidad que dispone para la comercialización entre países (Maraví, 2021).

Además, se ha documentado que la NASA ya utilizaba hidrógeno líquido como propulsor desde los años 1960, y que desde finales del siglo XIX el hidrógeno ha sido empleado como materia prima química. Las tecnologías de producción han madurado con el tiempo, razón por la que hoy en día se le reconoce como una alternativa de solución energética limpia (Araújo et al., 2025).

Específicamente en el Perú, se ha establecido una política energética nacional 2010 – 2040, en la que establece las directrices para tener una matriz energética diversificada orientadas a fuentes renovables, buscando magnificar la eficiencia energética y garantizar la electrificación de la nación (Vásquez & Tamayo, 2022).

Piura tiene un alto potencial para la producción de hidrógeno verde, especialmente aprovechando su recurso solar; esto posiciona a la región como candidata para proyectos pilotos y de escala comercial. Hidrógeno como vector de almacenamiento: la producción de H<sub>2</sub> puede ayudar a gestionar la intermitencia de renovables y ofrecer alternativas para usos locales (transporte, industria) y potencia de exportación a futuro. Recomendaciones: inversión en infraestructura (electrolizadores, almacenamiento, compresión), estudios de impacto ambiental localizados, y análisis económico-financiero para determinar LCOH bajo escenarios reales de costos y financiamiento. (Caravantes et al., 2023)

No obstante, los esfuerzos por el Perú para incorporar energías renovables dentro de su matriz energética han tenido adelantos en algunos proyectos, pero también ha sufrido retrocesos debido al abandono de otros proyectos por diversos factores (Quintanilla, 2022, p. 10). Además, la nación aún tiene pendiente el fomento de políticas públicas para el uso de biocombustibles limpios, como lo puede ser el hidrógeno verde. (Vásquez & Tamayo, 2022).

Según el contexto planteado, se puede mencionar para este caso el distrito de Rázuri, ubicado en la región La Libertad de Perú. La zona en cuestión dispone de potencial

eólico sin aprovechar, el cual podría ser explotado como medio para la producción de hidrógeno verde en la localidad.

El Estado peruano ha reconocido el desarrollo del hidrógeno verde como un tema de interés nacional mediante la Ley N.º 31992. Asimismo, el Decreto Legislativo N.º 1629 establece directrices para la promoción de proyectos de hidrógeno verde en el país. Estas normas buscan fomentar la inversión, establecer estándares de certificación y aprovechar el potencial de recursos renovables del territorio nacional. La política energética peruana al 2050 busca una matriz diversificada, segura y baja en carbono (Ministerio de Energía y Minas, 2023).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la factibilidad técnica y económica de generar hidrógeno verde a partir de energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad?

## **1.3. OBJETIVOS**

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

Determinar el nivel de factibilidad de generar hidrógeno verde mediante la energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad.

### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- Determinar el potencial eólico del distrito de Rázuri.
- Calcular la cantidad de energía eléctrica aprovechable en el distrito de Rázuri.
- Calcular los costos de generación de la energía eléctrica.
- Determinar la tecnología adecuada para la generación de hidrógeno verde.
- Calcular la cantidad de hidrógeno verde a producir.
- Calcular los costos de producción del hidrógeno verde.

## **1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

**Hipótesis general:** Es técnica y económicamente factible generar hidrógeno verde mediante la energía eólica en el distrito de Rázuri.

### **Hipótesis específicas:**

H1: El potencial eólico en Rázuri es suficiente para la generación de hidrógeno verde.

H2: Existen tecnologías viables para la producción de hidrógeno verde en el distrito.

1. H3: La producción de hidrógeno verde resulta rentable en el contexto de Rázuri.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La investigación sobre la factibilidad técnica y económica de generar hidrógeno verde mediante energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad, se sustenta de acuerdo a:

### **1.5.1. Conveniencia:**

La investigación sobre la factibilidad técnica y económica de generar hidrógeno verde mediante energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad es conveniente porque permite explorar alternativas energéticas sostenibles en un contexto global marcado por la crisis climática y la urgente necesidad de transición hacia fuentes limpias de energía. Rázuri, con su potencial eólico debido a sus características geográficas y climáticas, representa una oportunidad estratégica para el desarrollo de tecnologías emergentes como la producción de hidrógeno verde, posicionando a la región como pionera en innovación energética en el norte del Perú.

### **1.5.2. Relevancia Social:**

Desde una perspectiva social, esta investigación contribuye al desarrollo sostenible del distrito de Rázuri y sus comunidades cercanas, fomentando la creación de empleo local, la diversificación de la matriz energética y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. Además, plantea un modelo replicable en otras zonas del país, lo que podría generar un impacto positivo a nivel regional y nacional en términos de acceso a energía limpia y desarrollo económico inclusivo.

### **1.5.3. Valor teórico:**

En el ámbito académico, este estudio aporta al cuerpo teórico existente sobre energías renovables, específicamente en la producción de hidrógeno verde y su viabilidad en contextos locales con características específicas. Asimismo, ofrece un marco analítico que integra variables técnicas, económicas y geográficas, enriqueciendo la comprensión interdisciplinaria de este campo emergente y abriendo nuevas líneas de investigación sobre energías alternativas en Latinoamérica.

#### **1.5.4. Importancia Práctica:**

En términos prácticos, la investigación tiene el potencial de orientar la toma de decisiones tanto del sector público como privado respecto a inversiones en infraestructura energética. Los resultados podrían ser utilizados por autoridades regionales, municipalidades, empresas energéticas y organismos internacionales interesados en promover proyectos piloto o inversiones sostenibles. Además, se podrían sentar las bases para la formulación de políticas públicas orientadas a la producción y uso de hidrógeno verde en el país.

#### **1.5.5. Utilidad Metodológica:**

Metodológicamente, el estudio propone un enfoque integrador que puede servir de referencia para futuras investigaciones sobre la factibilidad de energías renovables en otras zonas con potencial eólico. La combinación de análisis técnico, económico y ambiental, así como el uso de herramientas de evaluación multicriterio y georreferenciación, proporciona un modelo metodológico replicable y adaptable a distintos contextos territoriales.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Celis et al. (2022), en su estudio enfocado en la evaluación de la transición energética en el Perú y perspectiva del hidrógeno verde, muestran que la nación peruana tiene un potencial eólico de 20 GW, donde solo explota el 1.18% de dicho valor. Entre los resultados recopilados, los autores muestran que el flujo de viento en la costa peruana se encuentra en un rango entre 6 m/s a 12 m/s para 100 metros de altitud, específicamente para el departamento de La Libertad, se dispone de un potencial energético de 1185 MW, pero de los cuales solo 921 MW son usables, ya que el restante se encuentra en zonas de interés público o zonas inadecuadas. Los autores concluyen que bajo este contexto la nación dispone de una gran oportunidad para convertirse en un país clave en el mercado energético a futuro, debido al gran potencial que tiene para la explotación del recurso energético renovable a lo largo de la costa, cumpliendo con todas las condiciones para generar hidrógeno verde a gran escala.

Cacciuttolo et al. (2024), en su estudio enfocado a la evaluación del potencial eólico *offshore* y *onshore*, analiza las ventajas y restricciones para la implementación de turbinas eólicas en el Perú. Entre los resultados hallados, los autores manifiestan que, debido a la presencia de zonas montañosas en el centro del país, solo es viable la explotación del recurso eólico a lo largo de la costa de la nación, donde el flujo de viento varía en un rango entre 6 m/s hasta 12 m/s a 100 metros de altura. Los autores concluyen que, en la nación existe un interés y motivación en la instalación de turbinas eólicas *onshore*, lo cual es una oportunidad para diversificar la matriz energética del país por intermedio del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Akhtar et al. (2021), en su estudio enfocado en el análisis de la instalación de turbinas eólicas *offshore* en Europa, con el objetivo de incentivar la explotación de los recursos renovables para detener el cambio climático y lidiar con el constante incremento de la demanda eléctrica. Entre los resultados, se evidenció que el flujo de viento está en función a la altura, variando de 7.50 m/s cerca de la superficie hasta 8.50 m/s a una altura cercana a los 100 m. Los autores concluyen que, para las condiciones analizadas en el estudio, guarda relevancia la selección de una turbina de 90 metros de longitud de la torre, 126 metros del rotor, con un flujo de viento de 3 m/s, flujo de corte de 25 m/s y flujo nominal de 12 m/s.

Araneda (2022), en la investigación titulada “Estudio Técnico y Económico de Una Planta de Producción de Hidrógeno Verde Para Exportación a Países Industrializados (sic)”, desarrollado en el vecino país de Chile, manifiesta que, entre diversas formas de producir hidrógeno, la que mejor destaca es la electrolización, debido a que no produce emisiones de CO<sub>2</sub> por sí misma, desde el punto de vista medioambiental. Entre los resultados de la investigación, el autor señala que la Tasa de Interés (TIR) del proyecto indica que es factible económicamente. Además, el autor logró estimar un valor para venta de 7 USD por cada kilo de hidrógeno verde producido. Finalmente, el autor hace la sugerencia que sería interesante en un trabajo futuro incluir el análisis de un escenario con préstamo como modo de financiamiento.

Arias-Fernández (2017), en su investigación titulada “Generación de hidrógeno en buques GNL”, manifiesta que el almacenamiento del hidrógeno bajo presión en tanques es simple y de bajo costo. Los motores de combustión interna pueden admitir como combustible una mezcla de 70% de Metano (CH<sub>4</sub>) y 30% de Hidrógeno (H<sub>2</sub>) sin hacer modificaciones al sistema de inyección. Además, los motores al usar hidrógeno como combustible disminuyen su potencia en un 15%, esto es por los contenidos de energías por unidades de volumen, para evitar esta disminución, el hidrógeno debe ser inyectado comprimido o en estado licuado.

International Energy Agency (2022), en su investigación titulada “Hidrógeno en Latinoamérica de oportunidades a cortos plazos a los despliegues a grandes escalas” manifiesta que la electrolisis puede ser realizada mediante la utilización de energías renovables, para lograr descomponer el agua para obtener producir hidrógeno de baja emisiones de carbono. Debido a que el sector industrial y de transporte representan las mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, en comparación con otros sectores, ambos son sectores prioritarios para el despliegue y uso de hidrógeno verde. Además, el autor resalta que las aplicaciones de hidrógeno verde específicamente en el transporte han despertado interés en los últimos años, ya que la utilización del combustible, derivados del petróleo, representan más del 85% en dicho sector.

Vargas (2021), en su investigación titulada “Análisis de los costos productivos del hidrógeno verde en zonas del Caribe de Colombia”, donde el autor manifiesta que, para el sistema de pequeña escala, el costo comercial del hidrógeno verde fue de 3.07 USD por kilogramo producido, siendo este resultado al menos 18% mayor a las

proyecciones de los precios de combustibles alternos. No obstante, para el caso de gran escala, con una producción de al menos 50 000 kg/día, el costo comercial se proyectaría en 1.81 USD por kilogramo, ubicándose por abajo del combustible Diésel y la propia gasolina.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

Hidrógeno verde: Hidrógeno obtenido por electrólisis del agua utilizando electricidad generada por fuentes renovables, sin emisiones directas de CO<sub>2</sub>. Energía eólica es la energía obtenida del movimiento del aire mediante aerogeneradores que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica. Electrolizador es el equipo que realiza la separación del agua en hidrógeno y oxígeno mediante corriente eléctrica. Factibilidad técnica es la capacidad de un proyecto para ser desarrollado con éxito, considerando tecnología, infraestructura y recursos disponibles. Factibilidad económica es la evaluación de los costos y beneficios de un proyecto, que determina su viabilidad financiera. (IEA, 2022).

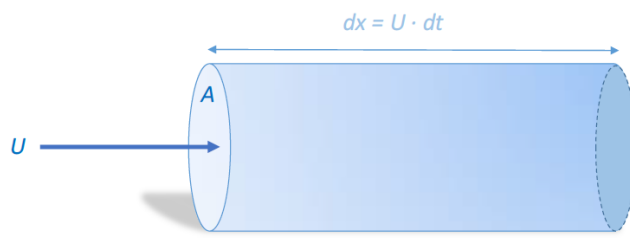
La atmósfera está compuesta por diversas capas horizontales, donde los vientos superficiales se generan en las capas más bajas, específicamente en la troposfera, que tiene un espesor de aproximadamente 8 km en los polos y 16 km en el ecuador. Sin embargo, el interés para la generación de energía eólica se centra en los vientos creados a metros sobre la superficie terrestre, en las partes inferiores de la troposfera (MINEM, 2016)

Los movimientos del aire son causados por las variaciones en la gradiente horizontal de presiones dentro de esta capa atmosférica, las cuales son consecuencia de la radiación solar recibida por la Tierra. La atmósfera funciona como una gran maquinaria térmica, donde las diferencias de temperatura entre los polos y el ecuador proporcionan la energía necesaria para las circulaciones atmosféricas (MINEM, 2016)

Para registrar los parámetros físicos del flujo de viento existen instrumentos de medición, entre los cuales se puede mencionar el anemómetro que permite medir las velocidades del viento. Así como también la veleta que puede indicar la dirección del viento. Además, el termohigrómetro que mide la humedad relativa del aire y la temperatura. También, el barómetro que puede medir las presiones atmosféricas ambientales. Sin embargo, otro método para determinar los parámetros del viento

podría ser mediante la extracción de información en base de datos digitales en estaciones meteorológicas (MINEM, 2016)

Para el estudio del movimiento de las masas de aire, se plantea la Ley de Betz, siendo un principio que nos ayuda a calcular la máxima potencia que puede contener un flujo de viento uniforme en un área específica. Para entenderlo mejor, podemos imaginar tubos de corriente con secciones rectas que forman parte de un campo de viento uniforme, con velocidades constantes (MINEM, 2016)



**Figura 1**

*Esquema de flujo de viento a través de un área constante.*

*Nota: La figura muestra el flujo constante de viento en función del tiempo a través de un túnel de viento con área constante. Tomado del Atlas Eólico (p. 32), por Ministerio de Energías y Minas del Perú, 2016.*

Utilizando como base la Figura 1, se puede plantear la siguiente ecuación para determinar el flujo masivo de aire a velocidad constante y área uniforme.

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A \cdot U \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del viento,  $A$  es el área por donde fluye el viento y  $U$  es la velocidad del viento. Resaltando que la densidad del aire en condiciones estándares es de  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .

Combinando la fórmula de la energía cinética en la ecuación (2.1), se obtiene la ecuación para calcular el potencial eólico en una determinada zona (Manwell, MCGowan y Rogers, 2009, p.33, p.34).

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3 \dots \dots \dots (2.2)$$

Pasando el área a dividir la variable potencia, se obtiene la densidad de potencia eólica, la cual se utiliza como indicio para determinar el nivel de factibilidad de aprovechamiento eólico en una determinada zona.

Según Manwell, Mcgowan y Rogers (2009, p.33 – p.34), sí la densidad de potencia eólica promedio es menor de 100 W/m<sup>2</sup>, se considera un bajo nivel de potencia disponible en la zona. No obstante, sí es alrededor de 400 W/m<sup>2</sup> una adecuada potencia disponible, pero sí sobrepasa los 700 W/m<sup>2</sup> se considera una gran potencia disponible de la zona en cuestión.

Para la evaluación del recurso eólico, se utiliza la estadística matemática clásica, entre las cuales se puede encontrar la distribución de Weibull, la cual a su vez se divide en dos ecuaciones, la función de densidad probabilística de Weibull y la función de distribución acumulativa. Para utilizar cada función es fundamental determinar el parámetro de forma “*k*” y el parámetro de escala “*c*”, ambos en función de la velocidad del viento  $\bar{U}$  (Manwell, Mcgowan y Rogers, 2009, p.57 ~ p.59).

A continuación, en la ecuación (2.20) se puede observar la función de densidad probabilística de Weibull.

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde *k* es el parámetro de forma, *c* el parámetro de escala y *U* es la velocidad del viento.

De la misma manera, en la ecuación (2.21) se puede observar la función de distribución acumulativa.

$$F(U) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right] \dots \dots \dots (2.4)$$

El método para determinar el parámetro de forma y escala se puede utilizar las frecuencias estadísticas. Donde primero se debe elaborar el histograma de frecuencias relativas y mediante el ajuste de mínimos cuadrados a la ecuación (2.4), se obtendrían los parámetros deseados (Villarrubia López, 2013, p.73, p.74).

Utilizando el logaritmo neperiano a la ecuación (2.4), se obtiene la siguiente fórmula para aplicar el ajuste de mínimos cuadrados.

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \times \ln(v) + (-k \times \ln(c)) \dots \dots \dots (2.5)$$

Teniendo en cuenta que para el ajuste de mínimos cuadrados es necesario plasmar como base la ecuación de la recta pendiente.

$$y = m \cdot x + B \dots \dots \dots (2.6)$$

Donde  $y$  sería representada por el fragmento  $\ln[-\ln(1 - F(v))]$ , la variable  $x$  sería el fragmento  $\ln(v)$  y la variable  $B$  sería  $-k \times \ln(c)$ .

Por último, para calcular el parámetro de escala, se puede utilizar la ecuación (2.7) que se observa a continuación.

$$c = \exp^{-(B/k)} \dots \dots \dots (2.7)$$

Resaltando que la pendiente de la ecuación (2.6) sería el valor del parámetro de forma, la cual se puede calcular con la ecuación de mínimos cuadrados (Cochancela & Astudillo, 2012, p. 60).

$$m = k = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Donde  $\bar{x}$  son valores promedios para el logaritmo natural del flujo de viento,  $\bar{y}$  es promedio del doble logaritmo natural de la frecuencia acumulada,  $x_i$  es cada dato registrado de la variable  $\bar{x}$ ,  $y_i$  es cada dato registrado de la variable  $\bar{y}$ .

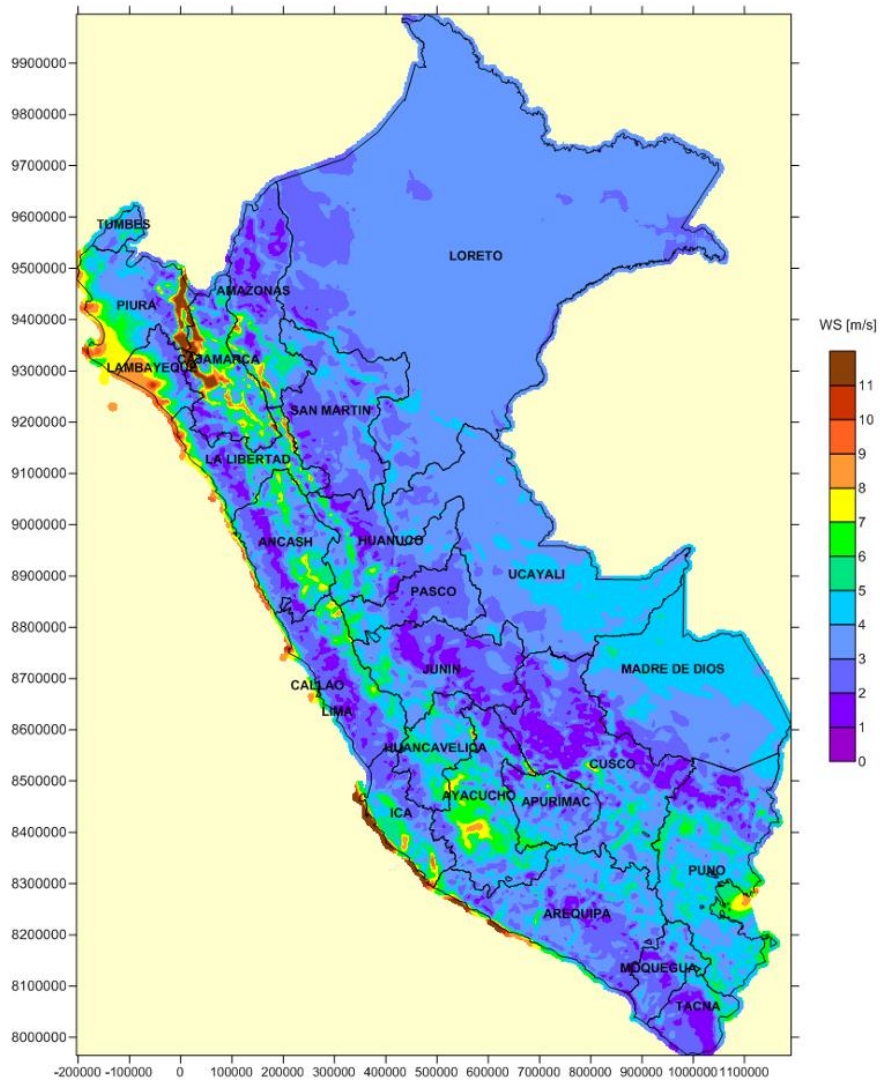
Es necesario resaltar que el intervalo de la velocidad del viento recomendado para análisis estadístico es de 0.50 m/s. (Villarrubia López, 2013, p.233).

En contraste, el intercepto de la ecuación recta pendiente se puede calcular despejando dicha variable de la ecuación (2.6).

$$B = \bar{y} - k \times \bar{x} \dots \dots \dots (2.9)$$

Otro método para poder obtener los parámetros de forma y escala mediante la ecuación recta pendiente, es utilizando el Microsoft Excel o cualquier otro software de análisis estadístico. Donde, mediante una gráfica de puntos de dispersión, se crea una línea de tendencia y se genera la ecuación (2.6) y el coeficiente de correlación  $R^2$ . El autor (Wei Tong, 2010, p. 63) expone que, al momento de ejecutar una regresión lineal de datos estadísticos, el valor de  $R^2$  entre cada dato registrado, no debe ser menor de 0.70.

El Ministerio de Energías y Minas (2016), muestra, mediante un estudio especializado, las características del flujo de viento y los parámetros de la distribución de Weibull, donde se ordena para diferentes periodos de tiempo y diferentes niveles de altura. Por lo tanto, como se muestra en la Figura 2, se dispone del flujo de viento promedio anual a 25 metros de altura sobre todo el territorio peruano.



**Figura 2**  
*Velocidad del viento promedio anual a 100 metros de altura*

*Nota: Tomado del Atlas Eólico (p. 131), por Ministerio de Energías y Minas del Perú, 2016*

Hidrógeno verde: Hidrógeno obtenido por electrólisis del agua utilizando electricidad generada por fuentes renovables, sin emisiones directas de CO<sub>2</sub> (IEA, 2022).

Según el informe técnico de impacto ambiental realizado para el proyecto del Parque Eólico de Malabrigo, se ha analizado todos los factores intervinientes para la posible instalación de 09 aerogeneradores de 5900 kW cada uno, con una altura de 148 metros y un diámetro del rotor de 163 m. Donde, el proyecto indica que la velocidad de funcionamiento de la turbina es de 3.50 m/s, pero se debe disponer de una velocidad nominal de 11 m/s, sin sobrepasar la velocidad máxima de 25 m/s. Además, el inicio de la fase de operación sería para el primer semestre del 2025, con una vida útil del proyecto de 30 años y una inversión total de 80 millones de dólares americanos (Acciona Energía, 2023).

Para determinar la energía total producida en un periodo de tiempo, se puede utilizar la función de densidad de probabilidad y la función acumulativa, en conjunto con la ecuación (2.2) de la potencia eléctrica adaptada para aerogeneradores (Villarrubia López, 2013, p.232).

Para calcular la energía generada  $E_T$  por medio de la densidad probabilística, se utiliza la siguiente ecuación.

$$E_i = P_i \times n_i = N \times P_i \times p(U_i) \times \Delta v_i \dots \dots \dots (2.10)$$

Donde

$P_i$  es la potencia del aerogenerador en función del flujo de viento.

$n_i$  es el periodo de tiempo en horas.

$N$  es el número de horas en total en un periodo determinado.

$p(U_i)$  es la función de densidad de probabilidad.

$\Delta v_i$  es el intervalo de la velocidad del viento.

Despejando la ecuación (2.10) para determinar cómo calcular la variable  $n_i$ , se obtiene la siguiente ecuación.

$$n_i = N \times p(U_i) \times \Delta v_i \dots \dots \dots (2.11)$$

Finalmente, la fórmula para determinar la energía total generada es la siguiente.

$$E_T = \sum n_i P_i \dots \dots \dots (2.12)$$

El otro método es utilizar la función acumulativa, implementando la siguiente ecuación (Cochancela y Astudillo 2012, p. 80).

$$E = N \times \sum_{i=1}^N [F\langle U_i \rangle - F\langle U_{i-1} \rangle] \left( \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

Donde

$N$  es el número de horas en total en un periodo determinado.

$F\langle U_i \rangle$  es el valor de la función de probabilidad acumulada para una determinada magnitud del flujo de viento.

$F\langle U_{i-1} \rangle$  es el valor de la función de probabilidad acumulada para una determinada magnitud del flujo de viento anterior a la magnitud seleccionada.

$P_i$  es la potencia del aerogenerador para un valor determinado del flujo de viento.

$P_{i-1}$  es la potencia del aerogenerador para el valor del flujo de viento anterior al flujo de viento seleccionado.

Para determinar la viabilidad de cualquier proyecto eólico, se puede emplear la ecuación del periodo del retorno simple (SP), donde se compara los costos necesarios y el ingreso o beneficio económico que se pueda obtener del mismo, mediante la utilización del tiempo requerido para la recuperación de la inversión inicial, se determina la factibilidad, dicha ecuación se muestra a continuación. (Manwell, MCGowan & Rogers, 2009, p.546)

$$SP = \frac{C_c}{E_a P_e} \dots \dots \dots (2.14)$$

Donde  $SP$  es “Simple Payback” en años,  $C_c$  es la variable del costo del proyecto en dólares,  $E_a$  es el precio de venta de la generación de energía en dólar por cada kWh y  $P_e$  es el beneficio económico del proyecto en kWh por año.

Sin embargo, para determinar la generación de energía eléctrica útil de salida en la turbina eólica, se debe considerar el coeficiente de potencia del aerogenerador y la eficiencia del sistema mecánico – eléctrico en la ecuación (2.2).

$$P_{salida} = \frac{1}{2} \rho A U^3 \eta_{turb} C_p \dots \dots \dots (2.15)$$

Donde  $\eta_{turb}$  es la eficiencia de la turbina eólica y el  $C_p$  es el coeficiente de potencia.

Para modelar el flujo de viento en función de la altura, se utiliza el método Power Law, para determinar la velocidad del viento para la altura donde se ubica el rotor de la turbina (Manwell, MCGowan & Rogers, 2009, p.546).

$$\frac{U(z)}{U(z_r)} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \dots \dots \dots (2.16)$$

Donde

$U(z)$  es la velocidad del viento a la altura  $z$  o altura del rotor

$U(z_r)$  es la velocidad del viento medida a la altura referencial  $z_r$  o altura del anemómetro

$\alpha$  es el exponente de cizalladura que depende de la rugosidad del terreno

Para calcular el exponente de cizalladura, se debe considerar el nivel de rugosidad del terreno en donde serán instalados los aerogeneradores.

$$\alpha = 0.096 \log_{10} z_0 + 0.016(\log_{10} z_0)^2 + 0.24 \dots \dots \dots (2.17)$$

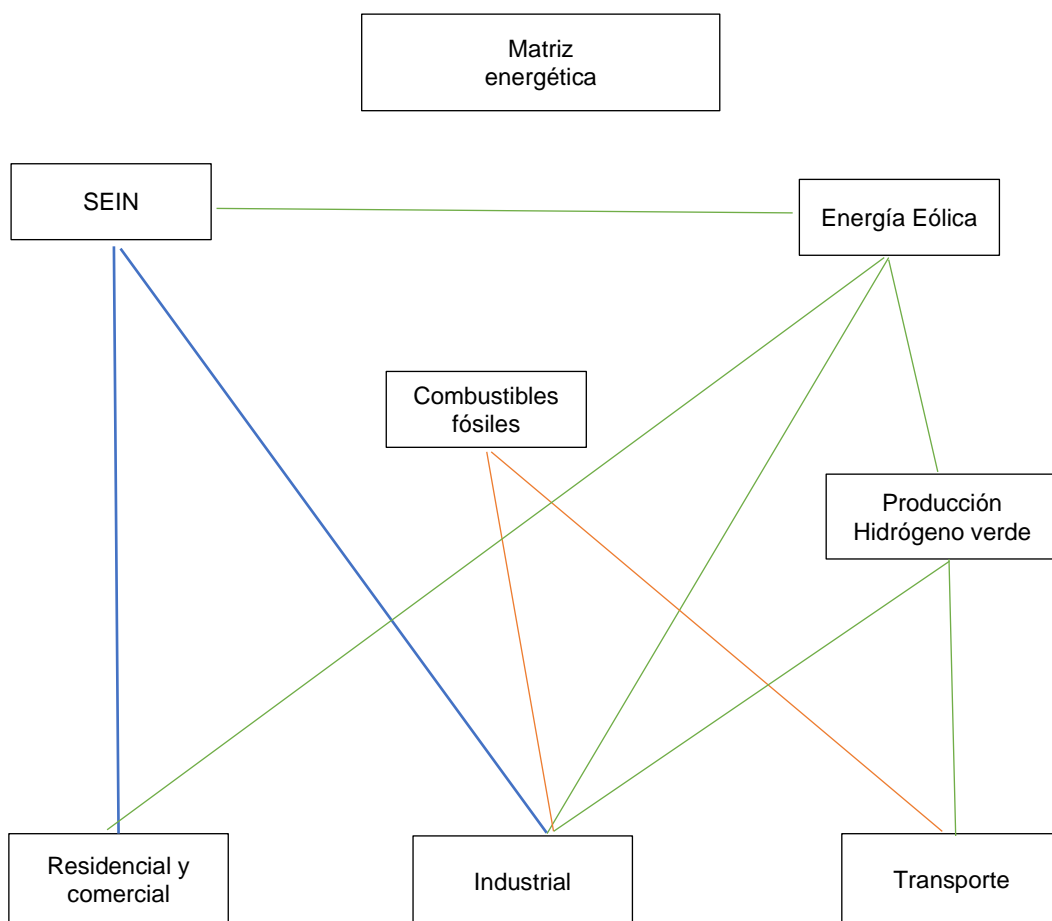
Como referencia, se puede emplear la Tabla 1 para obtener el nivel de rugosidad por cada tipo de terreno.

**Tabla 1**  
*Rugosidad en cada tipo de terreno*

<b>Tipo de Terreno</b>	<b><math>z_0</math> (mm)</b>
Suave, nevado o barro	0.01
Mar abierto calmado	0.20
Mar con oleaje fuerte	0.50
Cubierto de nieve	3.00
Pradera	8.00
Terreno de pasto rugoso	10.00
Campos infértiles o barbecho	30.00
Cultivos	50.00
Pocos árboles	100.00
Bosques	250.00
Selva o bosques densos	500.00
Suburbios	1500.00
Ciudades con edificaciones	3000.00

Fuente: Manwell, MCGowan y Rogers

En la Figura 3, se puede visualizar el esquema de la matriz energética de la nación peruana, la cual se desglosa según el tipo de energía utilizada y el tipo de carga para cada una.

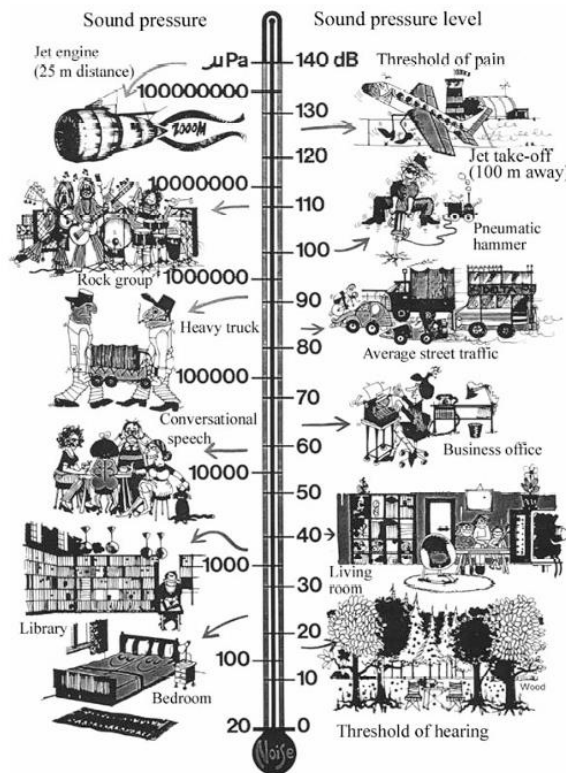


**Figura 3**  
*Esquema de la matriz energética*

El Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (2022), también denominado COES, ha publicado estadísticas de la producción energética anual sobre la nación peruana, donde la sección de energía eólica manifiesta que para la central eólica de Cupisnique se ha generado un total de 281.31 GWh durante todo el año. Donde, dicha central está compuesta por 45 turbinas de la marca Vestas, modelo V100/1800, la cual dispone de una potencia nominal de 1800 kW, diámetro del rotor de 100 m, altura de 100 m y un área de barrido de 7854 m<sup>2</sup>, la cual empieza a producir energía a un flujo de viento de 4 m/s, pero con un flujo nominal de viento necesario de 12 m/s y un flujo máximo de 20 m/s (The Wind Power, 2014).

Además, en el aspecto socioambiental, el umbral del ruido para causar dolor en el oído humano es de un nivel igual o superior a 140 dB o 200 Pa. Asimismo, las turbinas eólicas modernas generalmente producen ruido cercano a 45 dB, siendo el mismo un valor límite de la potencia sonora generada (Manwell, MCGowan & Rogers, 2009, p.546). Finalmente, según el expediente técnico de Acciona, el ruido producido durante la construcción del proyecto no superaría los 60 dB, siendo la fuente principalmente el tránsito de los vehículos necesarios para el transporte e instalación de los equipos y maquinarias (Acciona Energía Perú, 2023).

En la Figura 4, se puede apreciar el nivel de ruido en comparación con diferentes actividades o equipos que pueden ser fuentes del mismo.



**Figura 4**  
Comparación de los niveles de ruido

*Nota.* Niveles de ruido según la fuente generadora. Tomado de Wind Energy Explained: Theory, Design and Application (p. 564), por Manwell, MCGowan y Rogers, 2016.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. MÉTODO

El método corresponde a un enfoque cuantitativo, porque el estudio se centra en la recolección y análisis de datos medibles (velocidad del viento, potencial eólico, eficiencia de electrolizadores, costos de inversión, indicadores económicos). Además, es un método aplicado, ya que busca resolver un problema concreto de la realidad local (viabilidad del hidrógeno verde en Rázuri) y no solo generar teoría. Se puede clasificar también como descriptivo – explicativo: Descriptivo, porque caracteriza las condiciones técnicas (recursos eólicos, parámetros de turbinas, rendimientos energéticos). Explicativo, porque busca determinar la viabilidad y explicar bajo qué condiciones el proyecto es factible técnica y económicamente.

#### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño es **no experimental – transversal: No experimental**, porque no se manipulan las variables, solo se observan y analizan (datos de viento, precios, producción). **Transversal**, porque la factibilidad se evalúa en un periodo de tiempo definido (con datos históricos y proyectados a corto/mediano plazo). Además, por su propósito, se puede categorizar como un **estudio de factibilidad técnico-económica**.

#### 3.3. POBLACIÓN

Plantas de producción de hidrógeno verde en el mundo.

#### 3.4. MUESTRA

Producción de hidrógeno verde del distrito de Rázuri provincia de Ascope región La Libertad.

#### 3.5. VARIABLES DEL ESTUDIO

**Variable independiente:** Energía eólica en el distrito de Rázuri

**Variable dependiente:** Factibilidad técnico económica de la producción de hidrógeno verde.

### 3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable dependiente (resultado principal)

Factibilidad técnico-económica (variable compuesta / índice)

**Definición:** Evaluación integrada que combina la viabilidad técnica (suficiencia del recurso eólico y capacidad de generación y conversión) y la viabilidad económica (rentabilidad y competitividad del hidrógeno producido).

#### **Indicadores:**

- Índice de viabilidad técnica (IVT): función compuesta de potencia eólica aprovechable, factor de capacidad y producción anual de H<sub>2</sub>.
- Índice de viabilidad económica (IVE): función compuesta de LCOH (USD/kg H<sub>2</sub>), VAN, TIR, Payback.
- Decisión binaria final: Viable / No viable (según umbrales predefinidos: TIR > tasa mínima, Payback < horizonte aceptable, LCOH ≤ precio de mercado objetivo).
- **Unidad / escala:** Índices normalizados 0–100; LCOH (USD/kg), VAN (USD), TIR (%), Payback (años).
- **Fuente / instrumento:** Resultado de cálculos y modelos (RETScreen / Matlab / Homer / hojas de cálculo financieras).
- **Procedimiento:** Calcular IVT e IVE a partir de insumos (datos de viento, curva de potencia, eficiencia de electrolizadores, CAPEX/OPEX). Integrar en índice ponderado o aplicar criterios de decisión multi-criterio (AHP o ponderación técnica/económica).
- **Análisis:** Estadístico descriptivo; análisis de sensibilidad y escenarios; decisión multi-criterio.

### 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

**Tabla 2**

*Tabla de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos*

Técnica	Instrumento	Validación
Observación	Ficha de observación	Por expertos
Análisis documental	Ficha de registro	

*Nota.* El cuadro resumen muestra las técnicas, instrumentos y la validación de los mismos en la investigación.

Observación: ficha de observación para registrar los datos de los instrumentos de medición no generen información impresa. (como anemómetro)

Análisis documental: ficha registro para analizar los documentos históricos de energía eólica, en el atlas eólico, correspondiente a distrito de Rázuri.

### 3.8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la información obtenida de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos se procederá a elaborar un algoritmo de cálculo para el procesamiento de la información con ayuda del análisis computacional, para determinar la factibilidad tanto de la obtención de energía eléctrica de fuente eólica como para el análisis de costos de producción.

Con la información obtenida del análisis documental sobre el estado del arte de la generación de hidrógeno verde se procederá a elaborar un algoritmo de cálculo para el procesamiento de la información con ayuda del análisis computacional, para determinar la factibilidad tanto de la obtención hidrógeno verde, como para el análisis de costos de producción.

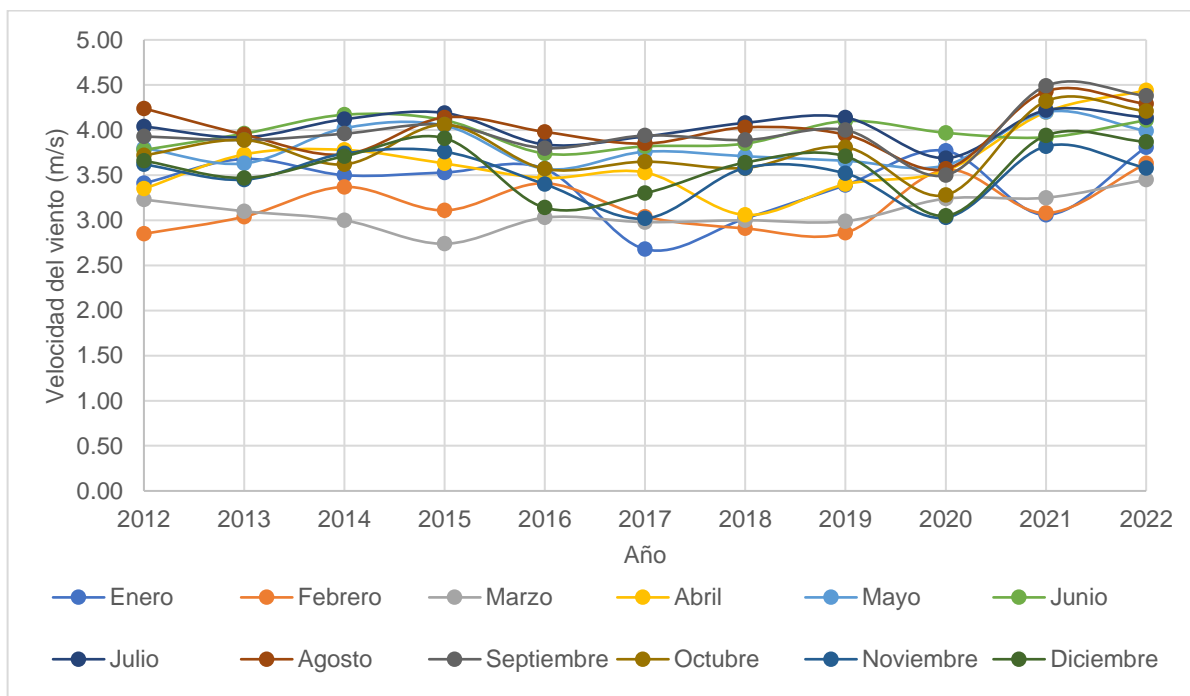
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### *Calculo del potencial eólico en el distrito de Rázuri*

Mediante la recolección de datos en la base de datos POWER – Data Access Viewer, provisto por la NASA, se ha recopilado el flujo de viento y dirección durante todo el periodo del 2012 hasta 2022.

Posteriormente, se organizó cada dato recopilado por mes y se proyectó la tendencia del flujo de viento en función a los años transcurridos, así como se puede apreciar en la Figura 5.



**Figura 5**

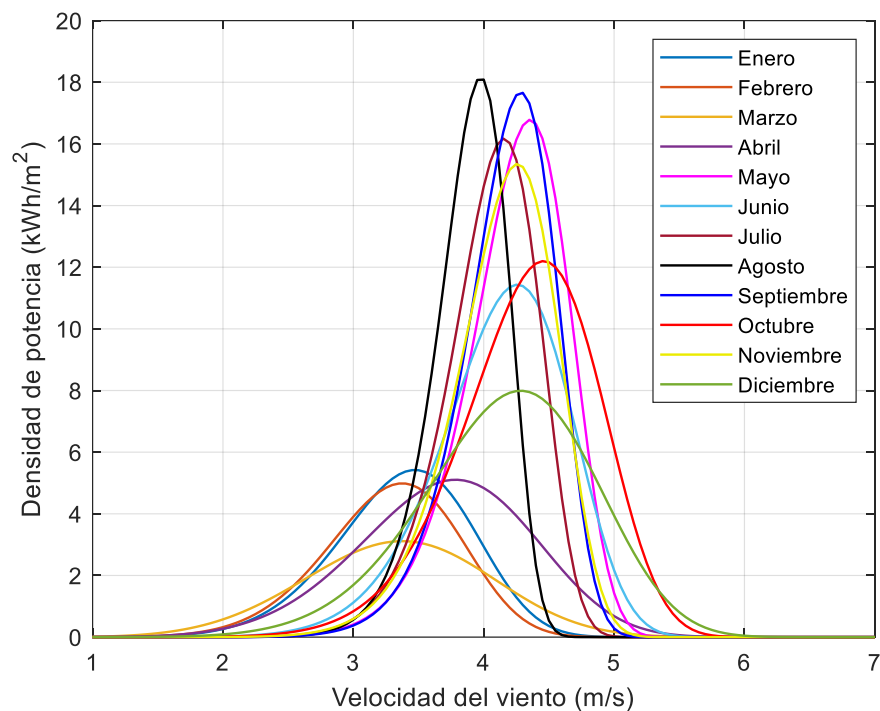
*Tendencia del flujo de viento mensual en función a cada año*

*Nota.* En la figura se puede apreciar la variación del flujo de viento por cada año recopilado, donde se puede inferir que la magnitud de la velocidad del viento no varía significativamente durante todo el periodo.

Una vez recopilada la data, se trató estadísticamente usando el programa Microsoft Excel. Posteriormente, mediante la utilización del programa Matlab se dimensionaron

las gráficas del potencial eólico por cada mes (Ver anexos A), aplicando la distribución de Weibull según la función probabilística y acumulada.

Empleando la ecuación (2.12) se procede a graficar el potencial eólico para cada mes del año mediante la función probabilística, considerando el número de horas anuales (8760 horas por año) y la probabilidad de ocurrencia de cada valor del viento.

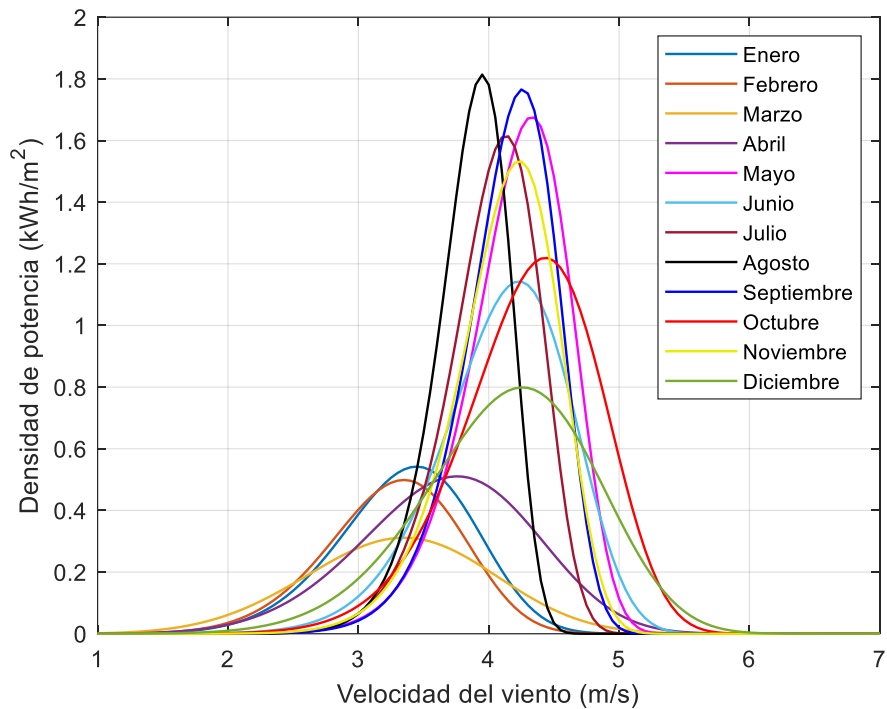


**Figura 6**

*Gráfico de la densidad de potencia obtenida por distribución probabilística*

*Nota.* La figura muestra la densidad de potencia eólica por cada mes del año, mediante la utilización de la función probabilística, se puede deducir que el último semestre del año presenta más probabilidad de que exista un potencial eólico más alto en comparación con el primer semestre.

Finalmente, utilizando la ecuación (2.13) se procede a graficar el potencial eólico para cada mes del año mediante la función acumulativa y la probabilidad de ocurrencia para cada valor del flujo de viento.



**Figura 6**

*Gráfico de la densidad de potencia obtenida por distribución acumulada*

*Nota.* La figura muestra la densidad de potencia eólica por cada mes del año, mediante la utilización de la función acumulativa, se puede deducir que el último semestre del año presenta mayor potencial eólico aprovechable en comparación con el primer semestre.

Los resultados hallados previamente, coinciden entre sus valores promedios con el dato resultante del programa RETScreen Expert. Donde el resultado calculado por el programa fue un promedio anual de 3.40 m/s (Ver Anexo A – 61) del flujo de viento captado por la turbina eólica.

### **Calculo la cantidad de energía eléctrica aprovechable en el distrito de Rázuri**

Para el cálculo de la potencia útil de salida en el aerogenerador, se escogió un modelo acuerdo a las condiciones del flujo de viento. Para el presente caso, se seleccionó el aerogenerador Nordex N100/2500 de origen alemán.

En base a los datos técnicos del aerogenerador seleccionado (Ver anexos B), se determina mediante la ecuación de cizalladura del viento el flujo de viento en el rotor de la turbina, considerando una rugosidad de 0.50 mm (Tabla 1).

$$\alpha = 0.096(\log_{10} 0.50) + 0.016(\log_{10} 0.50)^2 + 0.24 \approx 0.213$$

Empleando la ecuación (2.16), se puede estimar la velocidad del viento para la altura del rotor de la turbina. Por lo tanto, en base a la potencia calculada para cada valor del viento, se realizó la siguiente tabla resumen para determinar la potencia eléctrica útil anual.

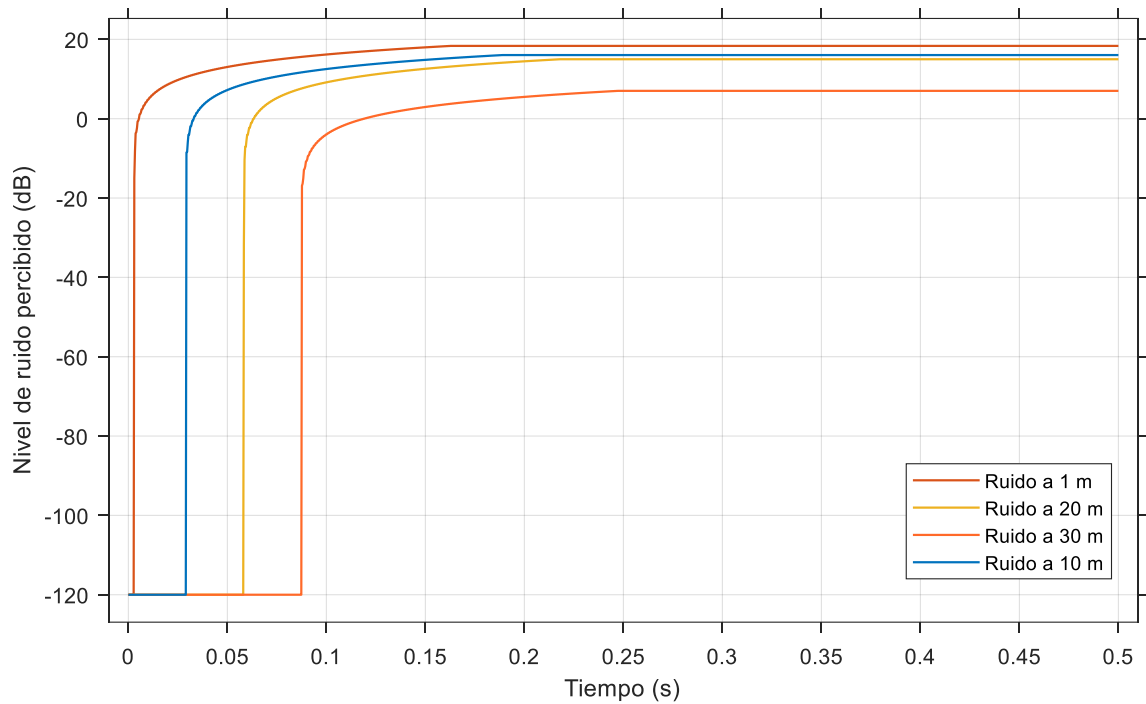
**Tabla 3**

*Potencia útil de salida en base a los datos de NASA Power*

<b>Mes</b>	<b>Potencia <math>p(u)</math> [kWh]</b>	<b>Potencia <math>f(u)</math> [kWh]</b>	<b>Promedio [kWh]</b>
Enero	26036.12	29514.83	27775.47
Febrero	19154.43	21923.95	20539.19
Marzo	20958.76	23281.15	22119.96
Abril	44383.02	47348.72	45865.87
Mayo	131199.87	133486.77	132343.32
Junio	102665.99	105616.36	104141.18
Julio	100360.15	103403.23	101881.69
Agosto	72438.26	81764.58	77101.42
Septiembre	117045.80	115726.87	116386.34
Octubre	134333.53	136994.99	135664.26
Noviembre	110214.01	110069.72	110141.87
Diciembre	98751.55	101802.75	100277.15
<b>Total</b>			<b>994237.71</b>

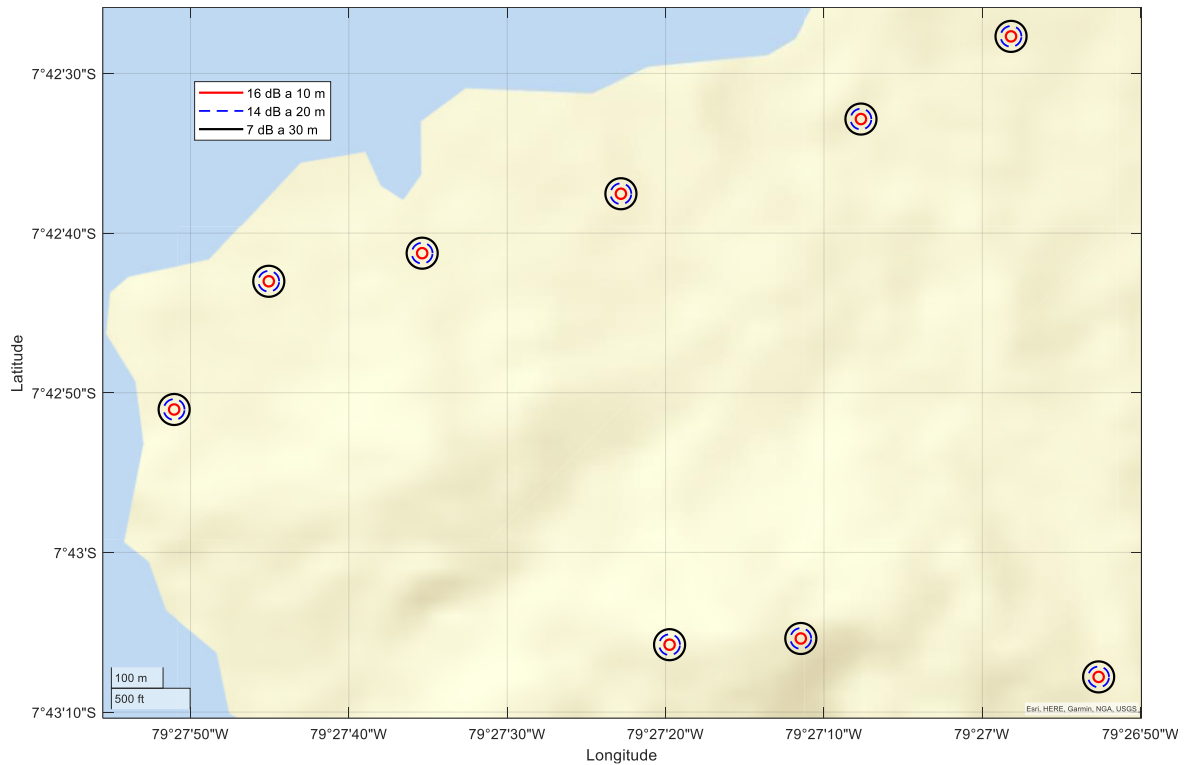
*Nota.* En la tabla resumen se muestra la potencia eléctrica útil saliente del aerogenerador durante todo el año 2023.

En contraste, para el aspecto medioambiental, se asume que el ruido producido por la operación de las turbinas eólicas asciende hasta 45 dB, según la teoría propuesta en el marco teórico. Por lo tanto, en la Figura 7 se puede visualizar el nivel de ruido respecto a la distancia a la turbina eólica.



**Figura 7**  
*Nivel de ruido en función a la distancia a la turbina*

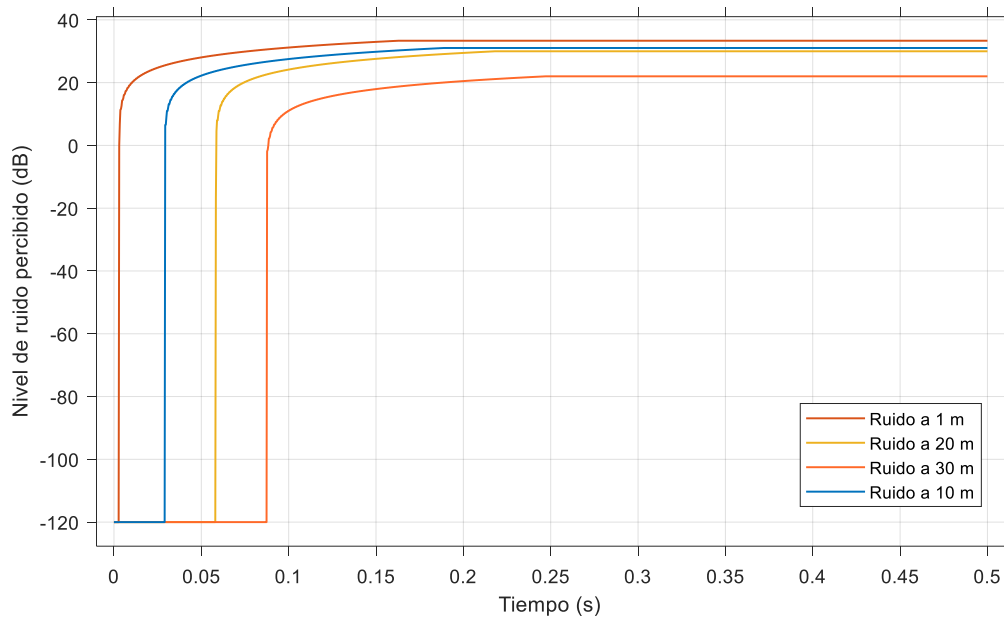
En la Figura 8, se puede visualizar el radio que abarca el nivel de ruido por cada turbina eólica instalada, según las coordenadas del expediente técnico de Acciona. En donde, podemos visualizar que, según la distancia y el nivel de ruido generado, no existirán perturbaciones considerables en las zonas rurales adyacentes a la instalación.



**Figura 8**  
*Radio de exposición del ruido generado por la turbina*

*Nota.* En la imagen se muestra que el nivel de ruido solo se percibiría significativamente cuando el receptor se encuentra cerca de la turbina eólica, específicamente a menos de 10 metros de distancia.

Además, según el expediente técnico, durante la construcción del proyecto se produciría un nivel de ruido de hasta 60 dB. Por lo tanto, en la Figura 9, se puede observar el nivel de ruido percibido en función a la distancia de los vehículos y maquinarias generadoras de ruido durante la etapa de construcción e instalación de las turbinas eólicas.



**Figura 9**  
*Nivel de ruido de los equipos y maquinarias en función a la distancia*

### **Calculo de los costos de generación de la energía eléctrica**

Considerando las tendencias del mercado eólico en los últimos años (Véase anexo B – 53), entonces se podría determinar el periodo del retorno de la inversión únicamente para la hipotética instalación de una turbina en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que la potencia nominal de la turbina es de 2500 kW (Véase anexo B – 2), se calcula el costo total que representa la instalación del aerogenerador.

$$C_c = 2500 \text{ kW} \left( 3461 \frac{\text{USD}}{\text{kW}} \right) \approx 8\,652\,500 \text{ USD}$$

Aplicando la ecuación (2.14), se calcula en cuantos años retornaría la inversión necesaria  $C_c$ .

$$SP = \frac{8\,652\,500 \text{ USD}}{994237.71 \text{ kWh} \left( 0.081 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \right)} \approx 107 \text{ años}$$

Según la energía proyectada en base a los datos del flujo de viento mostrados públicamente por la NASA y el precio actual en el mercado de la energía generada por turbinas, se obtiene un periodo de 107 años para la recuperación de la inversión calculada.

No obstante, en la Tabla 4 se puede observar una potencia de salida mayor, empleando como base los datos recopilados en el lugar entre los meses de enero y agosto del año 2025, conformando un total de 5756 mediciones de la velocidad y dirección del viento.

**Tabla 4**

*Potencia útil de salida en base a las mediciones recolectadas*

Mes	Potencia p(u) [MWh]	Potencia F(u) [MWh]	Promedio [MWh]	k	c
Enero	1482.00	1478.10	1480.05	3.35	8.91
Febrero	1081.46	1079.87	1080.66	2.46	7.37
Marzo	1395.83	1392.59	1394.21	2.98	8.52
Abril	1560.58	1555.57	1558.07	4.31	9.81
Mayo	2247.31	2241.49	2244.40	4.41	9.53
Junio	2037.01	2031.88	2034.45	3.70	9.41
Julio	2159.16	2078.74	2118.95	3.85	8.79
Agosto	1989.29	1984.69	1986.99	3.28	9.32
<b>Promedio</b>	<b>1744.08</b>	<b>1730.37</b>	<b>1737.22</b>	<b>3.54</b>	<b>8.96</b>

*Nota.* En la tabla resumen se muestra la potencia eléctrica útil saliente del aerogenerador durante todo el año 2025.

$$SP = \frac{8\,652\,500\ USD}{1737.22 \frac{MWh}{mes} (12\ meses) \left(0.081 \frac{USD}{kWh}\right)} \approx 5\ años$$

### **Selección de la máquina generadora de hidrógeno verde**

Debido a la gran producción de energía eléctrica por la turbina, se requiere de una máquina que puede transformar dicha cantidad de energía en hidrógeno verde. Por lo tanto, en la Tabla 5 se puede apreciar los datos técnicos de la máquina seleccionada para la conversión.

**Tabla 5**  
*Características técnicas del generador de hidrógeno*

<b>Indicador</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia promedio requerida	7 kW
Voltaje requerido	200 VDC/VAC
Amperaje requerido	35 A
Flujo de agua requerida	132 L/h (34.80 gal/h)
Eficiencia	80.00%
Producción hidrógeno verde	1800 L/min (10 kg/h)
Peso bruto	1455 kg
Costo de la maquinaria	180 000 USD

*Nota.* Datos recopilados de Rix Industries, generador modelo M2H2 – 1800.

El agua requerida por la máquina podría ser suministrada por la comunidad local más próxima, como también por una máquina desalinizadora del agua de mar. Para ambos casos, se asume que la cantidad de agua no sería una variable a considerar del cálculo del hidrógeno verde.

**Tabla 6**  
*Cálculo de la cantidad de máquinas necesarias*

<b>Indicador</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia nominal de la turbina	2500 kW
Potencia requerida para el hidrógeno	7 kW/máquina
Máxima capacidad	360 máquinas

### ***Cálculo de la cantidad de hidrógeno verde generado***

En la Tabla 7, se puede visualizar las condiciones de operación de los equipos generadores de hidrógeno verde, así como también las características a considerar en el aspecto económico. Especificando, la cantidad total de agua, la energía requerida para operar y el caudal de hidrógeno saliente.

**Tabla 7***Condiciones de producción de hidrógeno a máxima capacidad*

<b>Indicador</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia requerida	2520 kW
Cantidad de agua requerida	1140.48 m <sup>3</sup> /día
Caudal de hidrógeno	86 400 kg H <sub>2</sub> /día
Amperaje requerido	12 600 A
Voltaje requerido	200 VDC/VAC
Costo total de la planta de hidrógeno	64 800 000 USD

***Cálculo de los costos de producción del hidrógeno verde***

Como se puede observar en la Tabla 8, los precios asociados a la venta de hidrógeno verde son variables, específicamente depende de la escala o magnitud de la planta productora. Por lo tanto, según el rango de precios, se selecciona un valor representativo para cada rango, pero proyectado a la producción a pequeña escala.

**Tabla 8***Precio del hidrógeno verde en el mercado*

<b>Entidad (Año)</b>	<b>Valor proyectado</b>
Fuel Cells Works (2024)	3.74 a 11.70 USD/kg
IRENA (2021)	2.10 a 5.10 USD/kg
Rocío Araneda (2022)	7.00 USD/kg
<b>Valor seleccionado</b>	<b>2.10 USD/kg</b>

El precio del hidrógeno verde para las condiciones dadas es de 2.10 USD/kg, principalmente porque se abarca una producción a pequeña escala. Por lo tanto, bajo estas nuevas condiciones, se proyectó el periodo del retorno de la inversión, incluyendo la reducción energética mensual que existiría desde la turbina al generador de hidrógeno, así como se puede visualizar en la Tabla 9.

**Tabla 9**  
*Costos y beneficios del proyecto propuesto*

<b>Indicador</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia generada (mediciones)	20846.64 MWh/año
Producción en la planta de hidrógeno	31 536 000 kg/año
Precio del hidrógeno	2.10 USD/kg
Costo de la planta eólica	8 652 500 USD
Costo de la planta de hidrógeno	64 800 000 USD

Aplicando la ecuación (2.14), se calcula en cuantos años retornaría la inversión ( $C_c$ ) para todo el proyecto.

$$SP = \frac{8\,652\,500\text{ USD} + 64\,800\,000\text{ USD}}{31\,536\,000\text{ kg} \left(2.10 \frac{\text{USD}}{\text{kg}}\right)} \approx 14\text{ meses}$$

#### **4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS:**

Para el primer objetivo propuesto, se logró determinar el potencial eólico mensual en el distrito de Rázuri. Donde, según los datos recopilados de NASA Power durante los meses del año 2012 al 2022, el flujo de viento promedio mensual varía entre 2.68 m/s a 4.38 m/s a 50 metros de altura sobre la superficie, obteniendo un promedio anual de 3.94 m/s. No obstante, según el Ministerio de Energías y Minas (2016), muestra en el Atlas Eólico del Perú que el flujo promedio anual del viento es alrededor de 7.00 m/s a 75 metros de altura. Asimismo, Cacciuttolo et al. (2024) y Cesar Celis et al. (2022), manifiestan que el flujo de viento promedio anual varía en un rango entre 6 m/s hasta 12 m/s a 100 metros de altura. Por lo tanto, se infiere que la data del viento extraída de la NASA no coincide con la realidad, ya que los valores son inferiores a los que otras fuentes académicas manifiestas. Por lo tanto, en la Tabla 10, se muestra un cuadro comparativo entre los resultados calculados mediante los datos de la NASA en conjunto con lo que muestra el Atlas Eólico y los antecedentes. Se recomienda a futuras investigaciones, recopilar un histórico de datos en el lugar de estudio y evitar la utilización de bases de datos de plataformas digitales, debido a la poca precisión de las mismas en las características meteorológicas.

**Tabla 10***Cuadro comparativo de las características del viento calculadas*

<b>Característica</b>	<b>NASA Power</b>	<b>Atlas Eólico</b>	<b>Mediciones</b>
Viento promedio anual	3.94 m/s	7.00 m/s	8.38 m/s
Altura de la medición	50 metros	75 metros	100 metros
Factor de forma anual	8.42	4.00	3.54
Factor de escala anual	3.86	8.00	8.96
Densidad de potencia	37.46 W/m <sup>2</sup>	210.09 W/m <sup>2</sup>	360.44 W/m <sup>2</sup>

En contraste, los autores Manwell, MCGowan y Rogers (2009), manifiestan que una densidad de potencia eólica instantánea menor a 100 W/m<sup>2</sup>, se considera un potencial eólico pobre en la zona en cuestión. Entonces, al considerar los 100 W/m<sup>2</sup> como un indicio de factibilidad, se puede deducir que cualquier nivel de potencia menor a 36.50 kWh/m<sup>2</sup> al año se catalogaría como no viable para su aprovechamiento. Por lo tanto, al visualizar la Figura 5 y Figura 6, podemos inferir que el proyecto no es factible en base a los datos provistos por la plataforma NASA Power.

Para el segundo objetivo de la investigación, se logró calcular la cantidad de energía eléctrica aprovechable en la zona de estudio, mediante la utilización de la función probabilística y acumulada. Para ello, se empleó un aerogenerador de 100 metros de diámetro del rotor y 100 metros de altura. Entonces, en la Tabla 11 se puede apreciar la potencia calculada generada anualmente en base a los datos de la NASA Power y el registro de mediciones en el lugar de estudio.

**Tabla 11***Comparación de la potencia generada*

<b>Característica</b>	<b>NASA Power</b>	<b>Mediciones</b>
Factor de forma anual	8.42	3.54
Factor de escala anual	3.86	8.91
Potencia generada anual	994.23 MWh	20846.64 MWh
Retorno de la inversión	107 años	1.2 años

En contraste, los autores Akhtar et al. (2021), en su estudio enfocado en el análisis de la instalación de turbinas eólicas *offshore* en Europa, se evidenció que, para las condiciones analizadas en el estudio, la selección de la turbina fue de 90 metros de

longitud de la torre, 126 metros del rotor, para un flujo de viento de 3 m/s, flujo de corte de 25 m/s y flujo nominal de 12 m/s, considerando un rango de flujo del viento entre 7.50 m/s a 8.50 m/s. Por lo tanto, la selección de la turbina actual es similar a la seleccionada por el autor y concuerda eficazmente con la tendencia de los datos del flujo de viento obtenido a partir de las mediciones de esta investigación.

Para el tercer objetivo, se pudo calcular los costos asociados a la generación eléctrica y el periodo de retorno de la inversión. Donde, primeramente, se obtuvo un costo total de 8 652 500 USD para la instalación y mantenimiento de las turbinas durante los veinte años. No obstante, se obtuvo un periodo de retorno de la inversión de 107 años en base a los datos provistos por la NASA, pero al considerar las mediciones físicas, se obtiene cinco años como periodo de retorno. Para ambos casos, se consideró el precio de la energía ofertada de 0.081 USD/kWh, según las tendencias del mercado actual. En contraste, el expediente técnico de la propuesta del parque eólico en dicho distrito, expedido por Acciona Energía (2023), muestra que cada aerogenerador instalado costaría 8 888 888 USD, con una vida útil proyectada de treinta años. Por lo tanto, se puede inferir que a pesar de que el costo por turbina del proyecto coincide aproximadamente.

Para el cuarto objetivo, se pudo dimensionar la máquina generadora de hidrógeno verde según la potencia asegurada por mes, bajo las condiciones dadas, se requiere de 7 kW de potencia y 132 L/h de agua para el funcionamiento de cada máquina. En contraste, la International Energy Agency (2022), en su investigación afirma que, para lograr descomponer el agua para producir hidrógeno de baja emisiones de carbono, se requiere de fuentes renovables. En conclusión, la potencia obtenida de la turbina seleccionada es suficiente como para suplir de energía hasta 360 máquinas generadoras de hidrógeno, las cuales también dispondrán de la cantidad de agua necesaria del centro poblado más cercano. En donde, al considerar un precio ofertado del hidrógeno equivalente a 2.10 USD/kg, se obtiene que el periodo de retorno es de 14 meses, mucho menor en comparación a la oferta de energía eléctrica directamente de la turbina. Además, considerando la investigación de Rocío Araneda (2022), señala que los proyectos destinados a hidrógeno verde son económicamente factibles, pero principalmente son adecuados, desde punto de vista medioambiental, para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmosfera. Por lo tanto, a pesar de que las máquinas de

hidrógeno verde son costosas, pueden influir directamente en el tiempo de esperar para el retorno de la inversión dada.

Para el quinto objetivo del estudio, se logró calcular la cantidad de hidrógeno verde producido, bajo las condiciones dadas, la producción de hidrógeno se proyecta a 300 000 kilogramos de hidrógeno verde por día al considerar toda la potencia saliente de la turbina. En contraste, el autor Ignacio Arias (2017), en su investigación, manifiesta que el almacenamiento del hidrógeno bajo presión en tanques es simple y de bajo costo, pero en caso de ser usado en vehículos de combustión, se requiere comprimir su volumen. Por lo tanto, en la presente investigación se consideró únicamente el costo de las máquinas generadoras de hidrógeno, pero no el costo del almacenamiento del mismo, porque según el autor previo, es un proceso simple a bajo costo. En conclusión, la cantidad de hidrógeno proyectada se podría almacenar para su posterior uso o almacenar directamente a alta presión para su uso como combustible en vehículos a base de hidrógeno.

Para el sexto objetivo, se logró calcular los costos asociados a la producción de hidrógeno verde, considerando también el costo total de la planta eólica, donde se obtuvo un total de 73 452 500 USD para la implementación de todo el proyecto descrito, el cual tiene un periodo de retorno de la inversión de catorce meses, considerando el flujo de viento registrado en las mediciones directas. En contraste, según Paola Vargas (2021), en su investigación manifiesta que, para el sistema de pequeña escala, el costo comercial del hidrógeno verde fue de 3.07 USD por kilogramo producido, siendo este resultado al menos 18% mayor a las proyecciones de los precios de combustibles alternos, pero para el caso de gran escala, con una producción de al menos 50 000 kg/día, el costo comercial se proyectaría en 1.81 USD por kilogramo, ubicándose por abajo del combustible Diésel y la propia gasolina. En conclusión, el proyecto propuesto se cataloga como una planta productora de hidrógeno verde de pequeña escala, con un adecuado periodo de retorno de la inversión.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

En cuanto al potencial eólico aprovechable en el distrito de Rázuri, se tomó hasta tres fuentes una la NASA Power, el ATLAS EÓLICO del Perú y las medidas realizadas para esta investigación, de lo podemos concluir que los datos de la NASA Power difieren tanto del ATLAS EOLICO del Perú, pero este no tiene mucha diferencia con los datos obtenidos en nuestras mediciones, los que nos dio en promedio 1737.22 MWh mensual.

En cuanto al cálculo de la cantidad de energía eléctrica aprovechable en el distrito de Rázuri se seleccionó una turbina de noventa metros de longitud de la torre, 100 metros del rotor, para un flujo mínimo de viento de 4 m/s, flujo de corte de 20 m/s y flujo nominal de 12,5 m/s, obteniendo una generación de 20846.64 MWh

En cuanto a los costos de generación de la energía eléctrica asociados a la generación y el periodo de retorno de la inversión. Donde, se obtuvo un costo total de 8 652 500 USD para la instalación y mantenimiento de las turbinas durante los veinte años. se obtiene cinco años como periodo de retorno. Para ambos casos, se consideró el precio de la energía ofertada de 0.081 USD/kWh, según las tendencias del mercado actual.

En lo que respecta a la selección de la tecnología adecuada para la generación de hidrógeno verde se consideró las características del generador de hidrógeno verde que se detalla en la tabla N° 05 cuyas especificaciones técnicas son: potencia promedio requerida 7 kW, Voltaje requerido 200 VDC/VAC, Amperaje requerido 35 A, Flujo de agua requerida 132 L/h (34.80 gal/h), Eficiencia 80.00%, Producción hidrógeno verde 1800 L/min (10 kg/h), Peso bruto 1455 kg, Costo de la maquinaria 180 000 USD (Datos recopilados de Rix Industries, generador modelo M2H2 – 1800) aun cuando la tecnología sea costosa el valor más importante radica en reducción de la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmosfera.

En lo que corresponde a la cantidad de hidrógeno verde producido, bajo las condiciones del proyecto, se obtuvo 300 000 kilogramos por día al considerando toda la potencia saliente de la turbina.

Los costos asociados a la producción de hidrógeno verde, considerando también el costo total de la planta eólica, obtuvo un total de 73 452 500 USD para la implementación de todo el proyecto descrito, representando un periodo de retorno de la inversión de catorce meses, siendo el costo de 2.10 dólares el kilogramo y catalogándose como una planta productora de hidrógeno verde de pequeña escala, con un adecuado periodo de retorno de la inversión.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

En cuanto al potencial eólico aprovechable en el distrito de Rázuri Se recomienda a futuras investigaciones, recopilar un histórico de datos en el lugar de estudio y evitar la utilización de bases de datos de plataformas digitales, debido a la poca precisión de las mismas en las características meteorológicas.

En lo que concierne al cálculo de la cantidad de energía eléctrica aprovechable en el distrito de Rázuri Se recomienda a futuras investigaciones, emplear programas de simulación CAD para analizar el comportamiento aerodinámico de la turbina.

En los costos de generación de la energía eléctrica Se recomienda a futuras investigaciones, considerar el costo de la repotenciación de los aerogeneradores para extender la vida útil.

En lo que corresponde a la selección de los generadores de hidrógeno se recomienda a futuras investigaciones tomar siempre los equipos de última generación ya que es todavía una tecnología en desarrollo. Así como considerar un precio de venta del hidrógeno verde en función a la oferta y demanda del mercado peruano, así como también a la infraestructura del país.

Tomando en cuenta la cantidad de hidrógeno verde producido Se recomienda en una segunda etapa del proyecto el estudio del almacenamiento directamente a alta presión, para su uso como combustible en vehículos a base de hidrógeno. Así como la evaluación de los beneficios que aporta el hidrógeno verde por encima de otros combustibles como el GNV o gasolina, de forma que se incentiven los proyectos relacionados a la producción de hidrógeno por energías renovables.

Lo referente al costo de producción del hidrogeno verde, se recomienda a futuras investigaciones, proponer plantas eólicas y solar productoras de hidrógeno verde a

gran escala, para obtener mejores precios por kilogramo de hidrógeno verde de tal manera que se incentive al cambio de la matriz energética de nuestro país.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrea, v. v. (2021). análisis de costo de producción del hidrógeno verde en la zona del caribe colombiano, una aplicación al sector industrial. Cali, Colombia.
- Agencia Internacional de Energía. (2022). \*Global Hydrogen Review 2022\*. París: IEA.
- Akhtar, N., Geyer, B., Rockel, B., Sommer, P. S., & Schrum, C. (2021). *Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials*. *Scientific Reports*, 11, Article 11826. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91283-3>
- Araneda Orellana, R. A. (2022). *Estudio técnico y económico de una planta de producción de hidrógeno verde para exportación a países industrializados* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/186625>
- Arias-Fernández, I. (2017). Generación de hidrógeno en buques GNL. *Repositorio Universidade Coruña*, <http://hdl.handle.net/2183/19253>.
- Araújo, K., Potter, E., Kouts, A., Newman, O., Milarvie, M., Carcas, F., Koerner, C., & Placido, J. (2025). *An international review of hydrogen technology and policy developments, with a focus on wind- and nuclear power-produced hydrogen and natural hydrogen*. *Energies*, 18(17), 4619. <https://doi.org/10.3390/en18174619>
- Cacciuttolo, C., Cano, D., Guardia, X., & Villicaña, E. (2024). *Renewable energy from wind farm power plants in Peru: Recent advances, challenges, and future perspectives*. *Sustainability*, 16(4), 1589. <https://doi.org/10.3390/su16041589>.
- Caravantes, D., Carbajal, J., Celis, C., & Marcelo-Aldana, D. (2023). Estimation of hydrogen production potential from renewable resources in northern Peru.
- Celis, C., Mas, R., Marcelo-Aldana, D., & Huamani, M. (2022). *Clean energy transition in Peru: A green hydrogen perspective*. *Revista Brasileira de Energia*, 28(3), 174-203. <https://doi.org/10.47168/rbe.v28i3.782>
- Chica Nuñez, A., & Fernandez Carretero, A. (2020). Tecnologías del Hidrógeno. *Dialnet*, Pp 30-37.

- Clemente Suarez, V. J., Rodriguez Besteiro, S., Cabello-Eras , J. J., & Bustamante Sanchez , A. (2022). Sustainable Development Goals in the COVID-19 Pandemic: A Narrative Review. *Sustainability*, 14 -13. doi: <https://doi.org/10.3390/su14137726>
- Cochancela, J. S., & Astudillo, A. J. (2012). *Estimación de energía eléctrica mediante energía eólica* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2272>
- Comite tecnico del MINEM. (2016). *Atlas eolico del Perú* . Ministerio de energia y minas, Lima. Lima: Comite de calidad para la implementacion en la web del MINEM. Recuperado el 15,16 de Julio de 2022
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Hydrogen: Making the clean energy transition happen*. Paris: IEA. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/hydrogen>
- International Energy Agency. (16 de Junio de 2022). *De las oportunidades a corto plazo al despliegue a gran escala*. Obtenido de Hidrógeno en América Latina: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)
- International Energy Agency. (16 de Junio de 2022). *Hydrogen is an increasingly important piece of the net zero emissions by 2050*. Obtenido de Hydrogen : <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydrogen>
- Knez, S., Simic, G., & Milanovic, A. (2022). Prices of conventional and renewable energy as determinants of sustainable and secure energy development: regression model analysis. *Energ Sustain Soc*, 12-6. doi:<https://doi.org/10.1186/s13705-022-00333-9>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind energy explained: Theory, design and application* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119994367>
- Maraví, J. (2021, 20 de septiembre). *Geopolítica y Estrategias Gubernamentales para el Desarrollo del Hidrógeno Verde*. Lima: H2 Perú / Exergy Corporation.

Recuperado de [https://h2.pe/uploads/H2-Peru-Geopolitica-y-Estrategias-Gubernamentales-para-el-Desarrollo-del-Hidrogeno-Verde\\_-VDEF.pdf](https://h2.pe/uploads/H2-Peru-Geopolitica-y-Estrategias-Gubernamentales-para-el-Desarrollo-del-Hidrogeno-Verde_-VDEF.pdf)

Martín Municio, Á. (16 de Junio de 2022). *Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica*. Obtenido de Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España: <https://rac.es/ficheros/doc/00350.pdf>.

Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2021). *Boletín RER Ene 2021 – Dirección General de Eficiencia Energética*. Recuperado de [https://eficienciaenergetica.minem.gob.pe/Content/fileman/Uploads/Documents/boletin/boletin%202021/Boletin%20RER\\_ENE%202021.pdf](https://eficienciaenergetica.minem.gob.pe/Content/fileman/Uploads/Documents/boletin/boletin%202021/Boletin%20RER_ENE%202021.pdf)

Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2022). Balance nacional de energía 2021. MINEM. <https://www.gob.pe/minem>

Ministerio de Energía y Minas. (2023). \*Plan Energético Nacional al 2050\*. Lima: MINEM.

Morales Ramos, A. C. (2017). Energías y el Hidrógeno: un para prometedor en la transición energética del Mexico. *Investigación y Ciencia*., PP 92-101.

Otamendi-Irizar,, I., Arias, A., Pennese, C., & Hernandez, R. (2022). How can local energy communities promote sustainable development in European cities?., *Energy Research & Social Science*., 84. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102363>

Quintanilla, E. (16 de Junio de 2022). *Perú: Soluciones para un mercado eléctrico de alto crecimiento - Promoción de energías renovables... y competitivas*. Obtenido de Osinergmin: <https://www.osinergmin.gob.pe/Paginas/ARIAE-XX/uploads/Energias-renovables-competitivas-ARIAE.pdf>

The Wind Power. (2014). *Vestas V100/1800 – Turbine specifications*. The Wind Power. [https://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_552\\_vestas\\_v100-1800.php](https://www.thewindpower.net/turbine_en_552_vestas_v100-1800.php)

Tong, W. (2010). *Wind power generation and wind turbine design*. WIT Press. <https://doi.org/10.2495/9781845642051>

Vargas Vigoya, P. A. (2021). *Análisis del costo de producción del hidrógeno verde en la zona del Caribe colombiano, una aplicación al sector industrial* [Tesis de

maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/56967>

Vásquez Cordano Arturo L. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú*. Osinergmin, Lima. Lima: Osinergmin. Recuperado el 18, 19 de junio de 2022

Vasquez Cordano, A. I., & Tamayo Pacheco, J. F. (16 de Junio de 2022). *la industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Obtenido de Osinergmin: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)

Villarrubia López, J. (2013). *Energía eólica y otras energías renovables*

Hydrogen Council; McKinsey & Company. (2024). *Hydrogen Insights 2024* (Informe).

OLADE. (2025). *Prospects for low-emission hydrogen in Latin America and the Caribbean* (Nota técnica).

ISA-GHIC. (s. f.). *Peru country hub hydrogen investment facts and estimates*. (web).

International Energy Agency (IEA). (2024). *Global Hydrogen Review 2024* — secciones sobre América Latina.

Hydrogen Council — *Hydrogen Insights 2024* (resumen regional sobre proyectos anunciados).

Informes y noticias sobre proyectos en Perú (Horizonte de Verano — Verano Energy / Reuters / HydrogenInsight / FuelCellsWorks). Ej.: Horizonte de Verano ≈ **85,000 t H<sub>2</sub>/año** en su etapa plena (anunciado).

LAC Green Hydrogen Action (censo de proyectos) / resúmenes sectoriales que cifran >140 proyectos anunciados en la región.

## VII. ANEXOS

### Anexo 1

#### Matriz de Consistencia

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>¿Es técnicamente y económicamente factible generar hidrógeno verde mediante energía eólica en el distrito de Rázuri, región La Libertad?</p>	<p><b>General:</b> Determinar la factibilidad técnica y económica de generar hidrógeno verde mediante la energía eólica en el distrito de Rázuri.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analizar el potencial eólico en el distrito de Rázuri.</li> <li>2. Evaluar la tecnología disponible para producir hidrógeno verde.</li> <li>3. Estimar los costos y beneficios de la producción de hidrógeno verde.</li> </ol>	<p><b>Hipótesis general:</b> Es técnica y económicamente factible generar hidrógeno verde mediante la energía eólica en el distrito de Rázuri.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <p>H1: El potencial eólico en Rázuri es suficiente para la generación de hidrógeno verde.</p> <p>H2: Existen tecnologías viables para la producción de hidrógeno verde en el distrito.</p> <p>H3: La producción de hidrógeno verde resulta rentable en el contexto de Rázuri.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Potencial de generación de energía eólica.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Factibilidad técnica y económica de la producción de hidrógeno verde.</p> <p><b>Dimensiones/Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica: velocidad del viento, capacidad instalada, eficiencia.</li> <li>- Económica: inversión, costos operativos, retorno económico.</li> </ul>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada.</p> <p><b>Diseño:</b> No experimental, transversal, descriptivo–correlacional.</p> <p><b>Población y muestra:</b> Datos meteorológicos, estudios de tecnología e informes económicos.</p> <p><b>Técnicas:</b> Revisión documental, modelado técnico–económico.</p> <p><b>Instrumentos:</b> Fichas de registro, software de simulación y hojas de cálculo.</p>

## Anexo 2

### Instrumento Ficha De Registro Meteorológico

<b>Proyecto:</b> Factibilidad técnica y económica de generar hidrógeno verde mediante energía eólica en el distrito de Rázuri, La Libertad <b>Lugar de medición:</b> _____ <b>Altitud:</b> _____ msnm <b>Fecha de inicio del registro:</b> ___ / ___ / 20__ <b>Fecha de fin del registro:</b> ___ / ___ / 20__ <b>Fuente de datos:</b> ( ) Estación meteorológica local ( ) SENAMHI ( ) Otra: _____

#### 1. Datos generales

Variable	Unidad	Instrumento / Fuente	Observaciones
Velocidad del viento	m/s	Anemómetro / Base SENAMHI	Registrar promedio y máximos
Dirección del viento	° (grados)	Veleta digital	N, NE, E, SE, S, SO, O, NO
Temperatura ambiente	°C	Termómetro digital	Promedio diario
Humedad relativa	%	Higrómetro	Influye en densidad del aire
Presión atmosférica	hPa	Barómetro	Opcional
Radiación solar	W/m <sup>2</sup>	Piranómetro / Base de datos	Opcional (energía híbrida)

#### 2. Registro diario

Fecha Hora	Vel. viento promedio (m/s)	Vel. viento máx. (m/s)	Dirección (°/puntos cardinales)	Temp. (°C)	Humedad (%)	Observaciones

### 3. Síntesis mensual

<b>Mes</b>	<b>Vel. viento promedio (m/s)</b>	<b>Vel. viento máx. (m/s)</b>	<b>Dirección predominante</b>	<b>Temp. promedio (°C)</b>	<b>Observaciones</b>
Ene					
Feb					
...					

### Anexo 3

#### Cálculos y otras evidencias

#### Anexos A: Datos del primer objetivo de la investigación:

Tabla A – 1

Características del flujo de viento en el mes de enero de NASA Power

ENERO		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	4.52	165.94
2	3.95	173.62
3	3.05	183.88
4	4.15	163.31
5	3.79	175.25
6	3.47	183.19
7	3.37	184.75
8	3.71	167.75
9	3.17	163.31
10	2.54	167.12
11	3.56	157.06
12	3.66	165.62
13	3.06	175.19
14	3.48	163.25
15	2.59	166.94
16	3.11	164.12
17	3.51	174
18	3.27	163.12
19	1.91	167.56
20	2.84	175.25
21	3.60	163.88
22	2.83	161.69
23	3.87	168.94
24	3.98	172.5
25	3.29	167.38
26	2.68	176.19
27	3.55	174.62
28	4.01	158.5
29	3.48	165.75
30	2.19	206.5
31	2.22	199.56
<b>Promedio</b>	<b>3.30</b>	<b>171.48</b>

Nota. Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 2***Análisis del flujo de viento en el mes de enero según NASA Power*

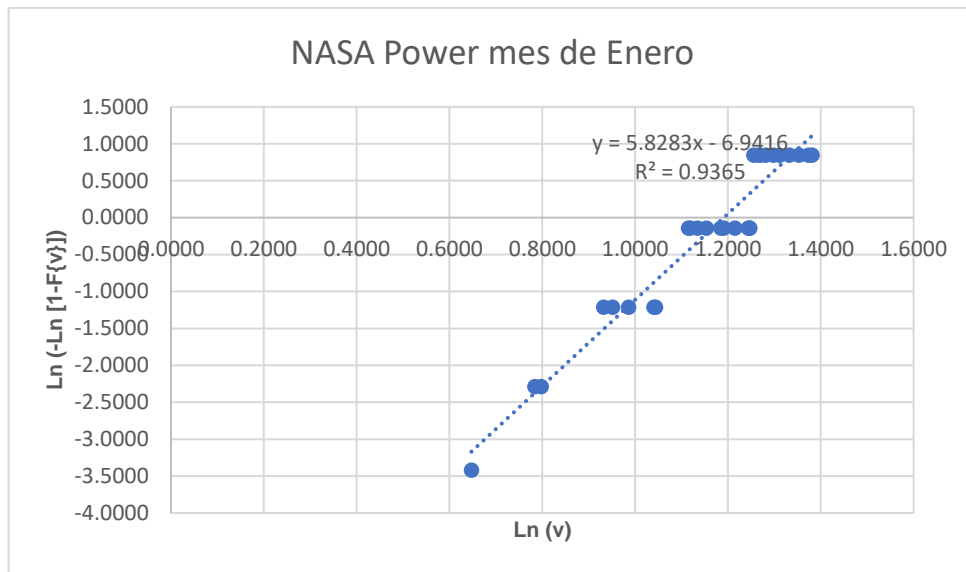
Nº	DATA TRANSFORMADA				PRODUCTOS				
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	1.91	0.0323	0.0323	-3.4176	0.6471	-0.5013	0.2513	-3.1693	1.5888
2	2.19	0.0645	0.0968	-2.2849	0.7839	-0.3645	0.1329	-2.0365	0.7423
3	2.22	0.0645	0.0968	-2.2849	0.7975	-0.3509	0.1231	-2.0365	0.7146
4	2.54	0.1613	0.2581	-1.2090	0.9322	-0.2162	0.0468	-0.9606	0.2077
5	2.59	0.1613	0.2581	-1.2090	0.9517	-0.1967	0.0387	-0.9606	0.1890
6	2.68	0.1613	0.2581	-1.2090	0.9858	-0.1626	0.0264	-0.9606	0.1562
7	2.83	0.1613	0.2581	-1.2090	1.0403	-0.1081	0.0117	-0.9606	0.1039
8	2.84	0.1613	0.2581	-1.2090	1.0438	-0.1046	0.0109	-0.9606	0.1005
9	3.05	0.3226	0.5806	-0.1404	1.1151	-0.0333	0.0011	0.1080	-0.0036
10	3.06	0.3226	0.5806	-0.1404	1.1184	-0.0300	0.0009	0.1080	-0.0032
11	3.11	0.3226	0.5806	-0.1404	1.1346	-0.0138	0.0002	0.1080	-0.0015
12	3.17	0.3226	0.5806	-0.1404	1.1537	0.0053	0.0000	0.1080	0.0006
13	3.27	0.3226	0.5806	-0.1404	1.1848	0.0364	0.0013	0.1080	0.0039
14	3.29	0.3226	0.5806	-0.1404	1.1909	0.0425	0.0018	0.1080	0.0046
15	3.37	0.3226	0.5806	-0.1404	1.2149	0.0665	0.0044	0.1080	0.0072
16	3.47	0.3226	0.5806	-0.1404	1.2442	0.0958	0.0092	0.1080	0.0103
17	3.48	0.3226	0.5806	-0.1404	1.2470	0.0986	0.0097	0.1080	0.0107
18	3.48	0.3226	0.5806	-0.1404	1.2470	0.0986	0.0097	0.1080	0.0107
19	3.51	0.3226	0.9032	0.8482	1.2556	0.1072	0.0115	1.0965	0.1176
20	3.55	0.3226	0.9032	0.8482	1.2669	0.1185	0.0141	1.0965	0.1300
21	3.56	0.3226	0.9032	0.8482	1.2698	0.1214	0.0147	1.0965	0.1331
22	3.60	0.3226	0.9032	0.8482	1.2809	0.1325	0.0176	1.0965	0.1453
23	3.66	0.3226	0.9032	0.8482	1.2975	0.1491	0.0222	1.0965	0.1634
24	3.71	0.3226	0.9032	0.8482	1.3110	0.1626	0.0264	1.0965	0.1783
25	3.79	0.3226	0.9032	0.8482	1.3324	0.1840	0.0338	1.0965	0.2017
26	3.87	0.3226	0.9032	0.8482	1.3533	0.2049	0.0420	1.0965	0.2246
27	3.95	0.3226	0.9032	0.8482	1.3737	0.2253	0.0508	1.0965	0.2471
28	3.98	0.3226	0.9032	0.8482	1.3813	0.2329	0.0542	1.0965	0.2554
29	4.01	0.0968	1.0000						
30	4.15	0.0968	1.0000						
31	4.52	0.0968	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.2484</b>	<b>1.1484</b>	<b>Suma</b>	<b>0.9675</b>	<b>0.0000</b>	<b>5.6391</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

En base a la Tabla A – 2, se gráfica los puntos de distribución entre la frecuencia acumulada y la velocidad del viento.

**Figura A – 3**

*Ecuación recta pendiente para el mes de enero*



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de enero

Visualizando la Figura A – 3, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 5.8283x - 6.9416$$

De la ecuación previa, obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-6.94/5.82)} = 3.30$$

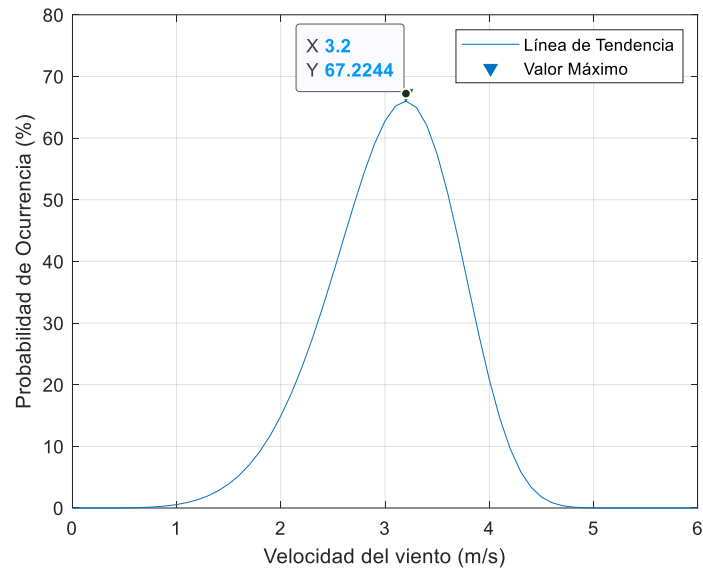
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8) y a la Tabla A – 2.

$$m = k = \frac{5.6391}{0.9675} = 5.8285$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 4**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

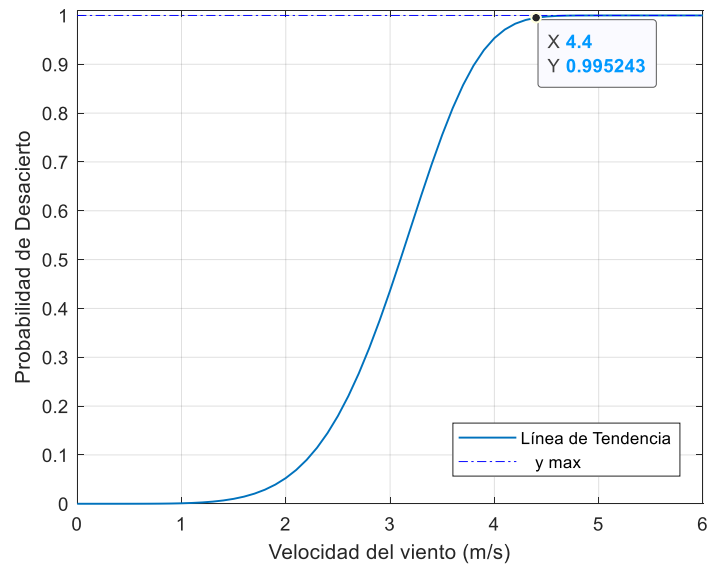


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 5**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 6***Características del flujo de viento en el mes de febrero de NASA Power*

<b>FEBRERO</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	3.31	169.44
2	3.80	166.50
3	4.04	168.44
4	3.80	175.19
5	3.38	176.44
6	3.92	167.12
7	4.17	167.62
8	3.61	172.56
9	2.57	171.75
10	3.05	167.31
11	2.91	178.25
12	3.40	178.75
13	3.70	190.62
14	1.95	183.38
15	2.41	184.31
16	2.70	181.00
17	2.64	179.31
18	2.88	161.31
19	3.51	182.44
20	3.03	181.56
21	2.29	191.12
22	2.88	171.38
23	3.78	178.19
24	4.64	173.69
25	4.84	173.31
26	3.17	182.19
27	3.35	173.62
28	3.59	168.75
<b>Promedio</b>	<b>3.33</b>	<b>175.56</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 7***Análisis del flujo de viento en el mes de febrero según NASA Power*

Nº	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	1.95	0.0357	0.0357	-3.3141	0.6678	-0.4648	0.2161	-2.9313	1.3626
2	2.29	0.0714	0.1071	-2.1775	0.8286	-0.3041	0.0925	-1.7947	0.5458
3	2.41	0.0714	0.1071	-2.1775	0.8796	-0.2531	0.0640	-1.7947	0.4541
4	2.57	0.2143	0.3214	-0.9474	0.9439	-0.1888	0.0356	-0.5646	0.1066
5	2.64	0.2143	0.3214	-0.9474	0.9708	-0.1619	0.0262	-0.5646	0.0914
6	2.70	0.2143	0.3214	-0.9474	0.9933	-0.1394	0.0194	-0.5646	0.0787
7	2.88	0.2143	0.3214	-0.9474	1.0578	-0.0749	0.0056	-0.5646	0.0423
8	2.88	0.2143	0.3214	-0.9474	1.0578	-0.0749	0.0056	-0.5646	0.0423
9	2.91	0.2143	0.3214	-0.9474	1.0682	-0.0645	0.0042	-0.5646	0.0364
10	3.03	0.2500	0.5714	-0.1657	1.1086	-0.0241	0.0006	0.2171	-0.0052
11	3.05	0.2500	0.5714	-0.1657	1.1151	-0.0175	0.0003	0.2171	-0.0038
12	3.17	0.2500	0.5714	-0.1657	1.1537	0.0211	0.0004	0.2171	0.0046
13	3.31	0.2500	0.5714	-0.1657	1.1969	0.0643	0.0041	0.2171	0.0140
14	3.35	0.2500	0.5714	-0.1657	1.2090	0.0763	0.0058	0.2171	0.0166
15	3.38	0.2500	0.5714	-0.1657	1.2179	0.0852	0.0073	0.2171	0.0185
16	3.40	0.2500	0.5714	-0.1657	1.2238	0.0911	0.0083	0.2171	0.0198
17	3.51	0.2857	0.8571	0.6657	1.2556	0.1229	0.0151	1.0485	0.1289
18	3.59	0.2857	0.8571	0.6657	1.2782	0.1455	0.0212	1.0485	0.1525
19	3.61	0.2857	0.8571	0.6657	1.2837	0.1510	0.0228	1.0485	0.1584
20	3.70	0.2857	0.8571	0.6657	1.3083	0.1757	0.0309	1.0485	0.1842
21	3.78	0.2857	0.8571	0.6657	1.3297	0.1970	0.0388	1.0485	0.2066
22	3.80	0.2857	0.8571	0.6657	1.3350	0.2023	0.0409	1.0485	0.2121
23	3.80	0.2857	0.8571	0.6657	1.3350	0.2023	0.0409	1.0485	0.2121
24	3.92	0.2857	0.8571	0.6657	1.3661	0.2334	0.0545	1.0485	0.2447
25	4.04	0.1429	1.0000						
26	4.17	0.1429	1.0000						
27	4.64	0.1429	1.0000						
28	4.84	0.1429	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.3828</b>	<b>1.1327</b>	<b>Suma</b>	<b>0.7612</b>	<b>0.0000</b>	<b>4.3241</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

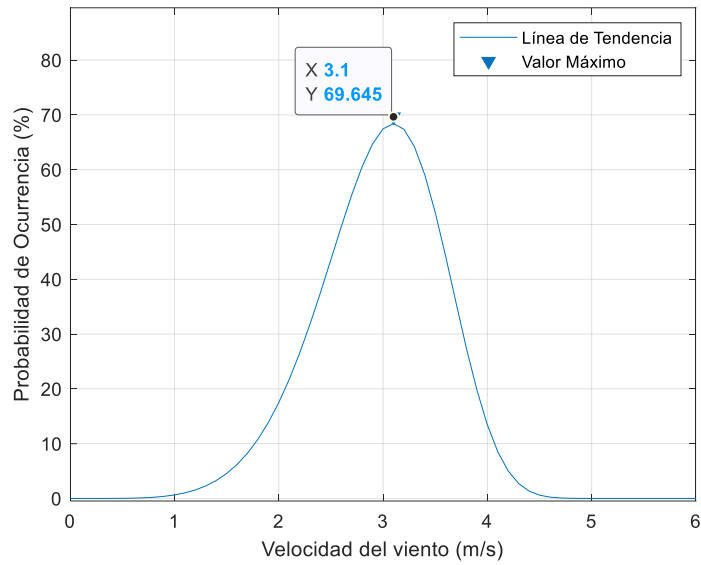
En base a la Tabla A – 7, se gráfica los puntos de distribución entre la frecuencia acumulada y la velocidad del viento.

**Figura A – 8***Ecuación recta pendiente para el mes de febrero*



### Figura A – 9

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

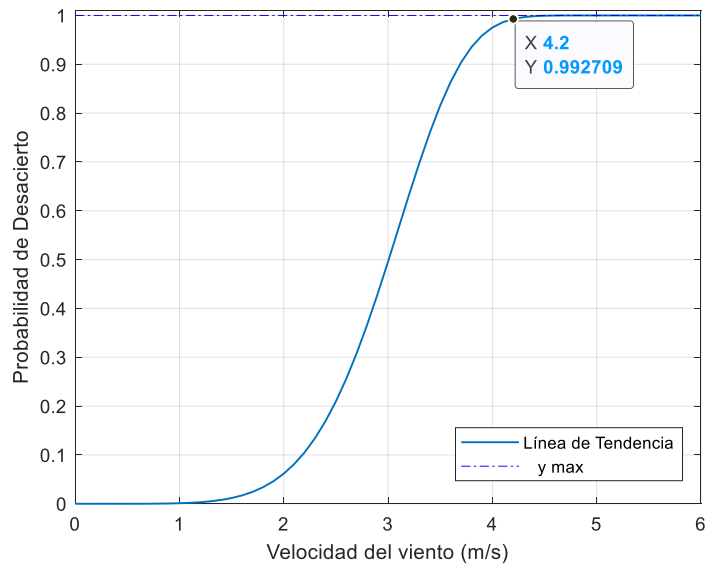


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

### Figura A – 10

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 11***Características del flujo de viento en el mes de marzo de NASA Power*

<b>MARZO</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	4.19	178.69
2	3.76	178.06
3	3.43	181.31
4	2.70	209.00
5	2.85	169.56
6	2.83	166.25
7	2.48	174.81
8	2.76	162.75
9	1.80	172.19
10	1.85	191.81
11	1.69	196.44
12	1.85	184.75
13	2.93	211.06
14	2.57	169.69
15	2.66	177.81
16	2.65	170.44
17	2.80	177.38
18	2.79	178.62
19	2.66	195.31
20	3.30	179.00
21	4.02	177.50
22	3.84	191.81
23	4.02	201.12
24	3.09	201.12
25	3.90	177.62
26	3.95	168.88
27	3.88	188.69
28	3.45	202.38
29	3.15	195.75
30	2.40	182.94
31	3.11	219.19
<b>Promedio</b>	<b>3.01</b>	<b>184.90</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 12***Análisis del flujo de viento en el mes de marzo según NASA Power*

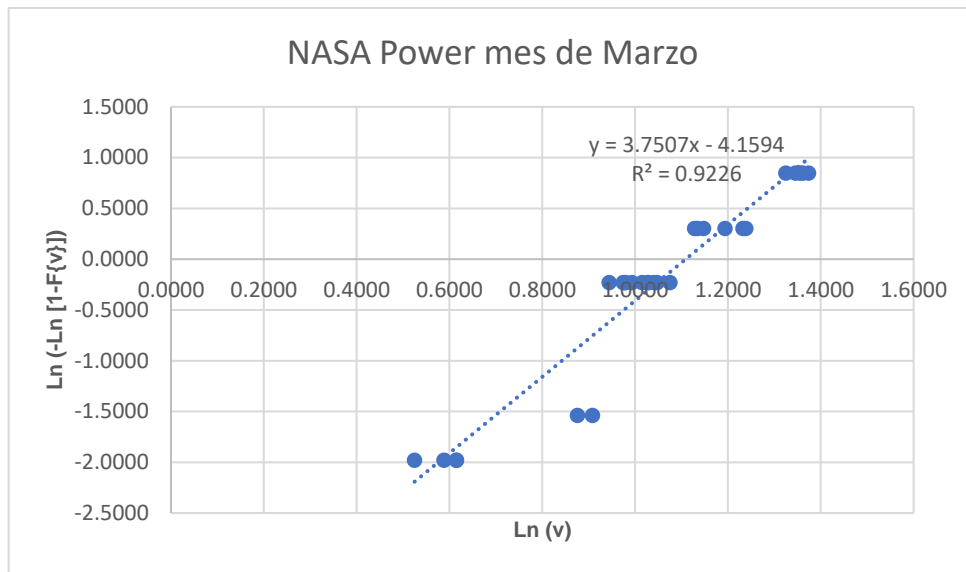
Nº	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	1.69	0.1290	0.1290	-1.9794	0.5247	-0.5133	0.2634	-1.7132	0.8793
2	1.80	0.1290	0.1290	-1.9794	0.5878	-0.4502	0.2027	-1.7132	0.7713
3	1.85	0.1290	0.1290	-1.9794	0.6152	-0.4228	0.1788	-1.7132	0.7244
4	1.85	0.1290	0.1290	-1.9794	0.6152	-0.4228	0.1788	-1.7132	0.7244
5	2.40	0.0645	0.1935	-1.5366	0.8755	-0.1625	0.0264	-1.2704	0.2065
6	2.48	0.0645	0.1935	-1.5366	0.9083	-0.1297	0.0168	-1.2704	0.1648
7	2.57	0.3548	0.5484	-0.2295	0.9439	-0.0941	0.0089	0.0367	-0.0035
8	2.65	0.3548	0.5484	-0.2295	0.9746	-0.0634	0.0040	0.0367	-0.0023
9	2.66	0.3548	0.5484	-0.2295	0.9783	-0.0597	0.0036	0.0367	-0.0022
10	2.66	0.3548	0.5484	-0.2295	0.9783	-0.0597	0.0036	0.0367	-0.0022
11	2.70	0.3548	0.5484	-0.2295	0.9933	-0.0447	0.0020	0.0367	-0.0016
12	2.76	0.3548	0.5484	-0.2295	1.0152	-0.0228	0.0005	0.0367	-0.0008
13	2.79	0.3548	0.5484	-0.2295	1.0260	-0.0120	0.0001	0.0367	-0.0004
14	2.80	0.3548	0.5484	-0.2295	1.0296	-0.0084	0.0001	0.0367	-0.0003
15	2.83	0.3548	0.5484	-0.2295	1.0403	0.0023	0.0000	0.0367	0.0001
16	2.85	0.3548	0.5484	-0.2295	1.0473	0.0093	0.0001	0.0367	0.0003
17	2.93	0.3548	0.5484	-0.2295	1.0750	0.0370	0.0014	0.0367	0.0014
18	3.09	0.1935	0.7419	0.3035	1.1282	0.0902	0.0081	0.5697	0.0514
19	3.11	0.1935	0.7419	0.3035	1.1346	0.0966	0.0093	0.5697	0.0550
20	3.15	0.1935	0.7419	0.3035	1.1474	0.1094	0.0120	0.5697	0.0623
21	3.30	0.1935	0.7419	0.3035	1.1939	0.1559	0.0243	0.5697	0.0888
22	3.43	0.1935	0.7419	0.3035	1.2326	0.1946	0.0379	0.5697	0.1108
23	3.45	0.1935	0.7419	0.3035	1.2384	0.2004	0.0402	0.5697	0.1141
24	3.76	0.1613	0.9032	0.8482	1.3244	0.2864	0.0820	1.1144	0.3192
25	3.84	0.1613	0.9032	0.8482	1.3455	0.3075	0.0945	1.1144	0.3426
26	3.88	0.1613	0.9032	0.8482	1.3558	0.3178	0.1010	1.1144	0.3542
27	3.90	0.1613	0.9032	0.8482	1.3610	0.3230	0.1043	1.1144	0.3599
28	3.95	0.1613	0.9032	0.8482	1.3737	0.3357	0.1127	1.1144	0.3741
29	4.02	0.0968	1.0000						
30	4.02	0.0968	1.0000						
31	4.19	0.0968	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.2662</b>	<b>1.0380</b>	<b>Suma</b>	<b>1.5175</b>	<b>0.0000</b>	<b>5.6917</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

En base a la Tabla A – 12, se gráfica los puntos de distribución entre la frecuencia acumulada y la velocidad del viento.

**Figura A – 13**

*Ecuación recta pendiente para el mes de marzo*



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de marzo

Visualizando la Figura 4, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 3.7507x - 4.1594$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-4.1594/3.7507)} = 3.01$$

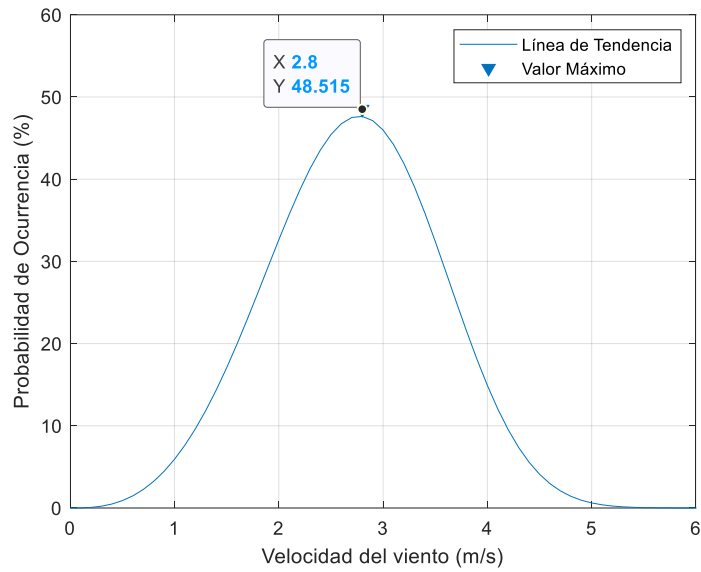
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{5.6917}{1.5175} = 3.7507$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 14**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

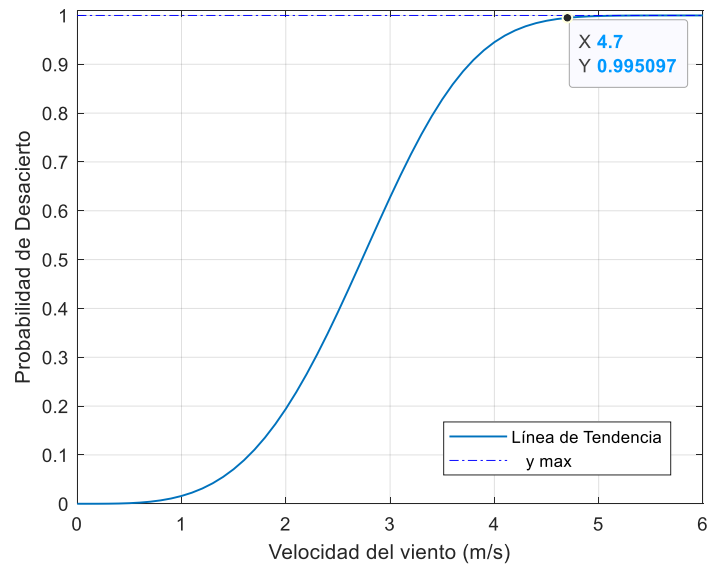


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 15**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 16***Características del flujo de viento en el mes de abril de NASA Power*

<b>ABRIL</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	3.22	185.44
2	3.24	212.75
3	3.71	189.25
4	1.82	191.5
5	3.00	169.81
6	3.42	189.75
7	3.04	177.81
8	3.20	184.88
9	4.44	182.88
10	4.13	197.12
11	3.44	195.94
12	3.95	172.19
13	4.43	186.31
14	4.34	183
15	4.41	183.81
16	3.41	176.38
17	3.38	164
18	3.83	162.19
19	3.62	170
20	3.56	166.94
21	2.02	159.5
22	2.20	168.88
23	2.53	167.19
24	4.30	163.62
25	3.09	165.62
26	3.95	162.31
27	3.72	175.19
28	3.85	170.5
29	3.26	168.56
30	4.38	167.25
<b>Promedio</b>	<b>3.50</b>	<b>177.02</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 17***Análisis del flujo de viento en el mes de abril según NASA Power*

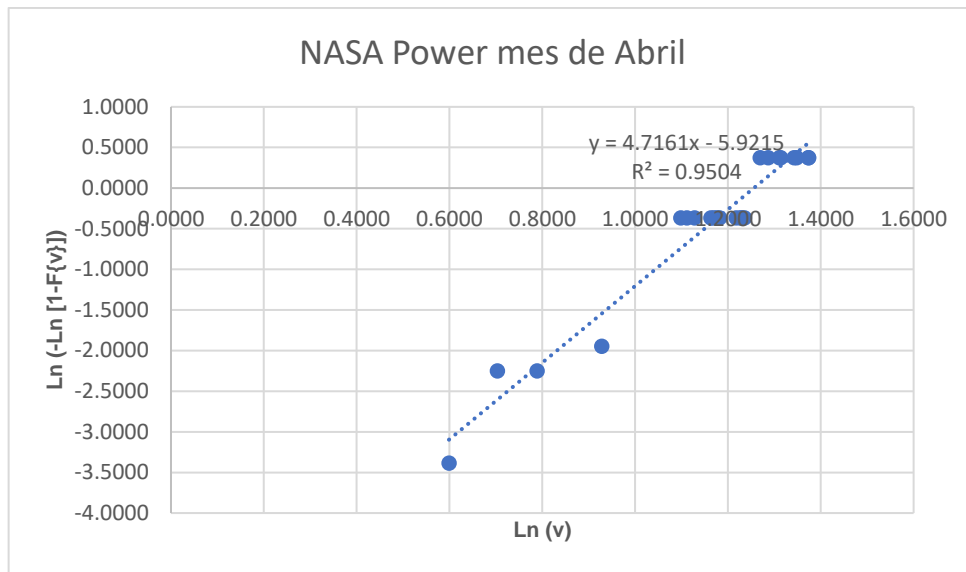
Nº	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	1.82	0.0333	0.0333	-3.3843	0.5988	-0.5566	0.3099	-2.9122	1.6210
2	2.02	0.0667	0.1000	-2.2504	0.7031	-0.4524	0.2047	-1.7782	0.8044
3	2.20	0.0667	0.1000	-2.2504	0.7885	-0.3670	0.1347	-1.7782	0.6527
4	2.53	0.0333	0.1333	-1.9442	0.9282	-0.2273	0.0516	-1.4721	0.3345
5	3.00	0.3667	0.5000	-0.3665	1.0986	-0.0569	0.0032	0.1056	-0.0060
6	3.04	0.3667	0.5000	-0.3665	1.1119	-0.0436	0.0019	0.1056	-0.0046
7	3.09	0.3667	0.5000	-0.3665	1.1282	-0.0273	0.0007	0.1056	-0.0029
8	3.20	0.3667	0.5000	-0.3665	1.1632	0.0077	0.0001	0.1056	0.0008
9	3.22	0.3667	0.5000	-0.3665	1.1694	0.0139	0.0002	0.1056	0.0015
10	3.24	0.3667	0.5000	-0.3665	1.1756	0.0201	0.0004	0.1056	0.0021
11	3.26	0.3667	0.5000	-0.3665	1.1817	0.0262	0.0007	0.1056	0.0028
12	3.38	0.3667	0.5000	-0.3665	1.2179	0.0624	0.0039	0.1056	0.0066
13	3.41	0.3667	0.5000	-0.3665	1.2267	0.0712	0.0051	0.1056	0.0075
14	3.42	0.3667	0.5000	-0.3665	1.2296	0.0742	0.0055	0.1056	0.0078
15	3.44	0.3667	0.5000	-0.3665	1.2355	0.0800	0.0064	0.1056	0.0084
16	3.56	0.2667	0.7667	0.3752	1.2698	0.1143	0.0131	0.8473	0.0968
17	3.62	0.2667	0.7667	0.3752	1.2865	0.1310	0.0172	0.8473	0.1110
18	3.71	0.2667	0.7667	0.3752	1.3110	0.1555	0.0242	0.8473	0.1318
19	3.72	0.2667	0.7667	0.3752	1.3137	0.1582	0.0250	0.8473	0.1341
20	3.83	0.2667	0.7667	0.3752	1.3429	0.1874	0.0351	0.8473	0.1588
21	3.85	0.2667	0.7667	0.3752	1.3481	0.1926	0.0371	0.8473	0.1632
22	3.95	0.2667	0.7667	0.3752	1.3737	0.2182	0.0476	0.8473	0.1849
23	3.95	0.2667	0.7667	0.3752	1.3737	0.2182	0.0476	0.8473	0.1849
24	4.13	0.2333	1.0000						
25	4.30	0.2333	1.0000						
26	4.34	0.2333	1.0000						
27	4.38	0.2333	1.0000						
28	4.41	0.2333	1.0000						
29	4.43	0.2333	1.0000						
30	4.44	0.2333	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.4721</b>	<b>1.1555</b>	<b>Suma</b>	<b>0.9759</b>	<b>0.0000</b>	<b>4.6023</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

En base a la Tabla A – 17, se gráfica los puntos de distribución entre la frecuencia acumulada y la velocidad del viento.

**Figura A – 18**

*Ecuación recta pendiente para el mes de abril*



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de abril

Visualizando la Figura A – 18, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 4.7161x - 5.9215$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-5.9215/4.7161)} = 3.51$$

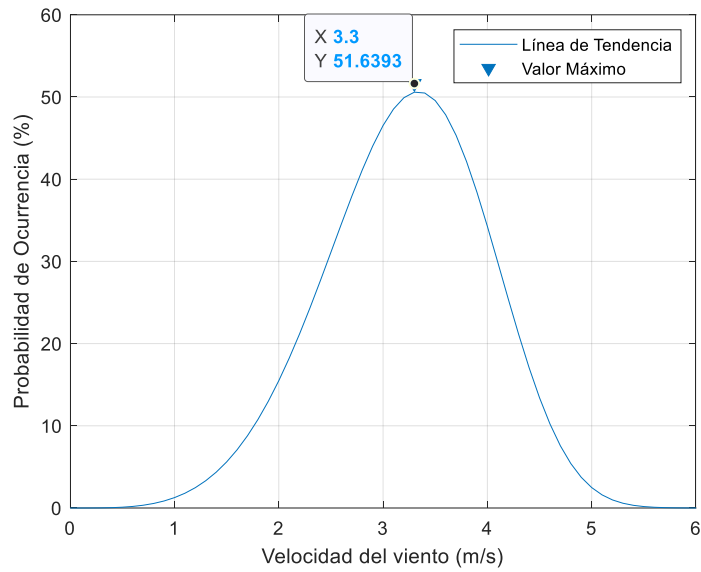
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{4.6023}{0.9759} = 4.7159$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 19**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

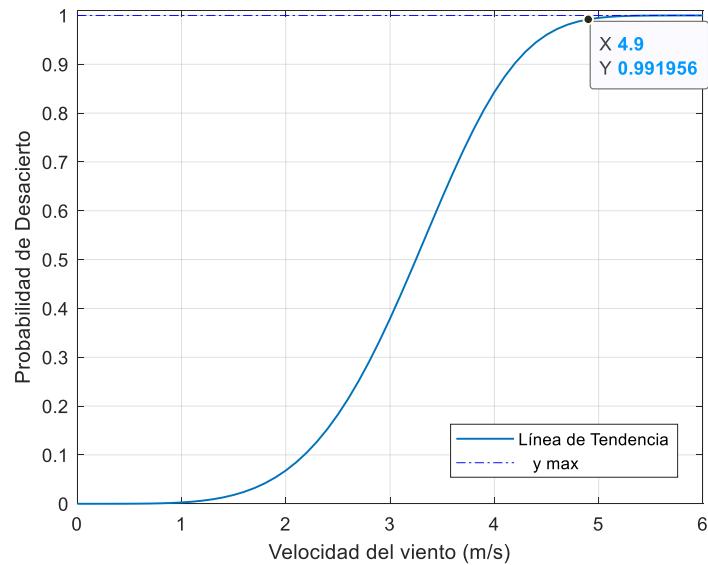


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 20**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 21***Características del flujo de viento en el mes de mayo de NASA Power*

<b>MAYO</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	4.37	170.06
2	4.91	173.31
3	4.61	172.19
4	4.30	179.69
5	4.41	172.06
6	4.39	178.44
7	4.79	175.94
8	4.38	172.56
9	4.27	173.56
10	4.14	173.81
11	3.82	181
12	3.96	182.38
13	3.84	188.12
14	4.02	181.31
15	3.97	176.44
16	4.04	175.12
17	4.80	176.69
18	4.97	176.94
19	5.15	177.88
20	4.52	177.88
21	3.98	185.81
22	4.07	185.44
23	3.91	181
24	4.77	178
25	4.22	182.06
26	4.26	178.19
27	4.64	176.69
28	4.81	175.38
29	4.98	182.06
30	4.30	182.75
31	4.03	195.19
<b>Promedio</b>	<b>4.38</b>	<b>178.64</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 22***Análisis del flujo de viento en el mes de mayo según NASA Power*

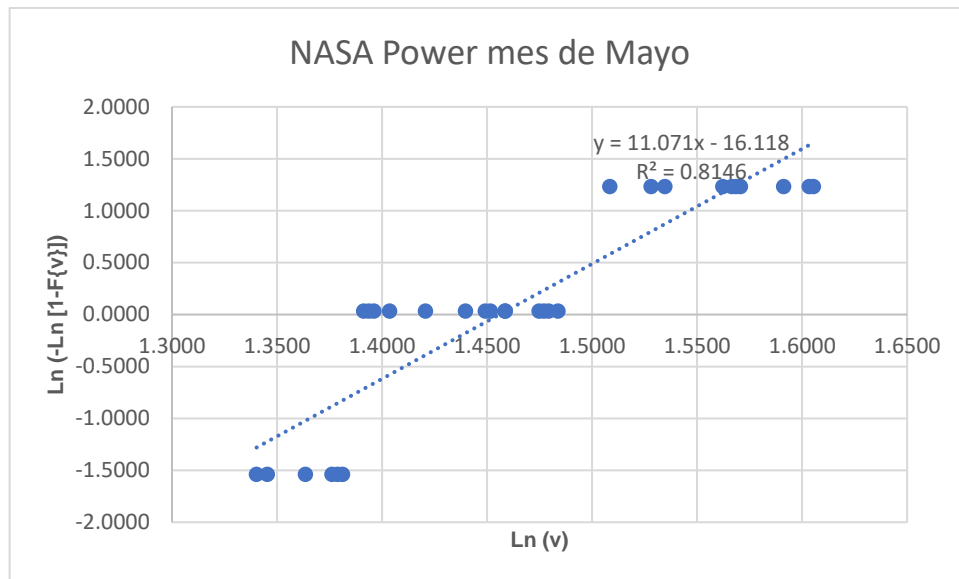
Nº	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	(xi-x)	(xi-x) <sup>2</sup>	(yi-y)	(xi-x)*(yi-y)
1	3.82	0.1935	0.1935	-1.5366	1.3403	-0.1265	0.0160	-1.6571	0.2097
2	3.84	0.1935	0.1935	-1.5366	1.3455	-0.1213	0.0147	-1.6571	0.2010
3	3.91	0.1935	0.1935	-1.5366	1.3635	-0.1033	0.0107	-1.6571	0.1711
4	3.96	0.1935	0.1935	-1.5366	1.3762	-0.0906	0.0082	-1.6571	0.1501
5	3.97	0.1935	0.1935	-1.5366	1.3788	-0.0880	0.0077	-1.6571	0.1459
6	3.98	0.1935	0.1935	-1.5366	1.3813	-0.0855	0.0073	-1.6571	0.1417
7	4.02	0.4516	0.6452	0.0355	1.3913	-0.0755	0.0057	-0.0850	0.0064
8	4.03	0.4516	0.6452	0.0355	1.3938	-0.0730	0.0053	-0.0850	0.0062
9	4.04	0.4516	0.6452	0.0355	1.3962	-0.0706	0.0050	-0.0850	0.0060
10	4.07	0.4516	0.6452	0.0355	1.4036	-0.0632	0.0040	-0.0850	0.0054
11	4.14	0.4516	0.6452	0.0355	1.4207	-0.0461	0.0021	-0.0850	0.0039
12	4.22	0.4516	0.6452	0.0355	1.4398	-0.0270	0.0007	-0.0850	0.0023
13	4.26	0.4516	0.6452	0.0355	1.4493	-0.0175	0.0003	-0.0850	0.0015
14	4.27	0.4516	0.6452	0.0355	1.4516	-0.0152	0.0002	-0.0850	0.0013
15	4.30	0.4516	0.6452	0.0355	1.4586	-0.0082	0.0001	-0.0850	0.0007
16	4.30	0.4516	0.6452	0.0355	1.4586	-0.0082	0.0001	-0.0850	0.0007
17	4.37	0.4516	0.6452	0.0355	1.4748	0.0080	0.0001	-0.0850	-0.0007
18	4.38	0.4516	0.6452	0.0355	1.4770	0.0103	0.0001	-0.0850	-0.0009
19	4.39	0.4516	0.6452	0.0355	1.4793	0.0125	0.0002	-0.0850	-0.0011
20	4.41	0.4516	0.6452	0.0355	1.4839	0.0171	0.0003	-0.0850	-0.0015
21	4.52	0.3226	0.9677	1.2337	1.5085	0.0417	0.0017	1.1133	0.0464
22	4.61	0.3226	0.9677	1.2337	1.5282	0.0614	0.0038	1.1133	0.0684
23	4.64	0.3226	0.9677	1.2337	1.5347	0.0679	0.0046	1.1133	0.0756
24	4.77	0.3226	0.9677	1.2337	1.5623	0.0955	0.0091	1.1133	0.1064
25	4.79	0.3226	0.9677	1.2337	1.5665	0.0997	0.0099	1.1133	0.1110
26	4.80	0.3226	0.9677	1.2337	1.5686	0.1018	0.0104	1.1133	0.1134
27	4.81	0.3226	0.9677	1.2337	1.5707	0.1039	0.0108	1.1133	0.1157
28	4.91	0.3226	0.9677	1.2337	1.5913	0.1245	0.0155	1.1133	0.1386
29	4.97	0.3226	0.9677	1.2337	1.6034	0.1366	0.0187	1.1133	0.1521
30	4.98	0.3226	0.9677	1.2337	1.6054	0.1386	0.0192	1.1133	0.1543
31	5.15	0.0323	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>0.1205</b>	<b>1.4668</b>	<b>Suma</b>	<b>0.1925</b>	<b>0.0000</b>	<b>2.1316</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

En base a la Tabla 5, se gráfica los puntos de distribución entre la frecuencia acumulada y la velocidad del viento.

**Figura A – 23**

*Ecuación recta pendiente para el mes de mayo*



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de mayo

Visualizando la Figura A – 23, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 11.071x - 16.118$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-16.118/11.071)} = 4.29$$

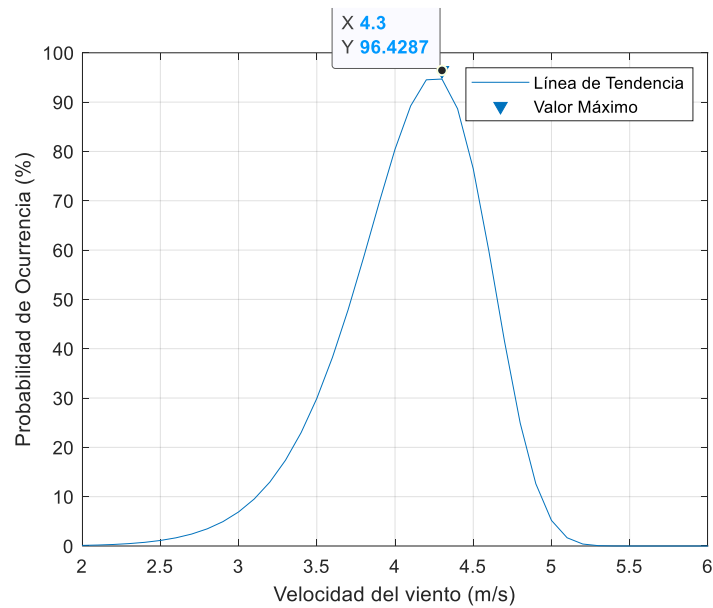
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{2.1316}{0.1925} = 11.073$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 24**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

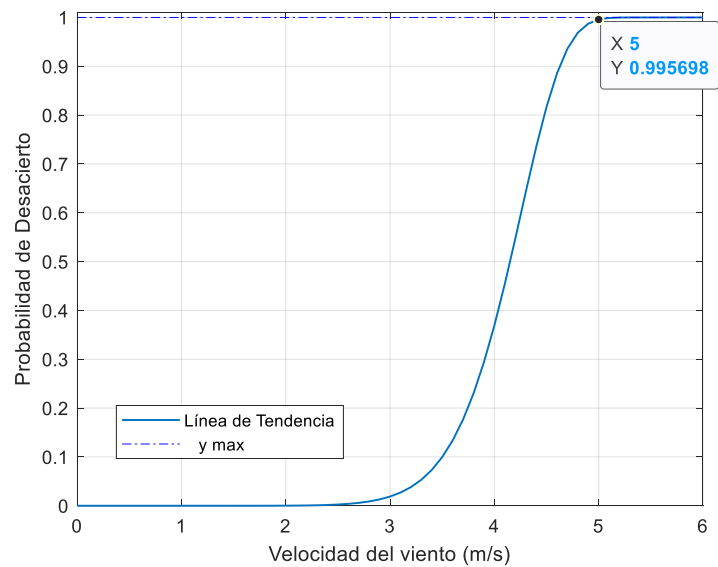


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 25**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 26***Características del flujo de viento en el mes de junio de NASA Power*

<b>JUNIO</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	4.27	180.31
2	4.70	178.62
3	5.12	166.31
4	3.81	188.56
5	3.92	183.56
6	4.20	180.31
7	4.69	181.5
8	4.73	181.5
9	4.28	185.19
10	4.38	181.06
11	4.71	179.44
12	4.87	172.38
13	4.79	175.56
14	4.88	178.69
15	4.45	187.94
16	3.31	193.56
17	3.46	172.81
18	4.28	178.38
19	3.70	183.06
20	4.06	178.12
21	4.38	179.5
22	4.50	183.62
23	3.12	193.06
24	3.29	189.69
25	3.35	187.56
26	4.30	182.25
27	4.03	181.44
28	4.22	179.56
29	4.14	189.81
30	4.23	183.25
<b>Promedio</b>	<b>4.21</b>	<b>181.89</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

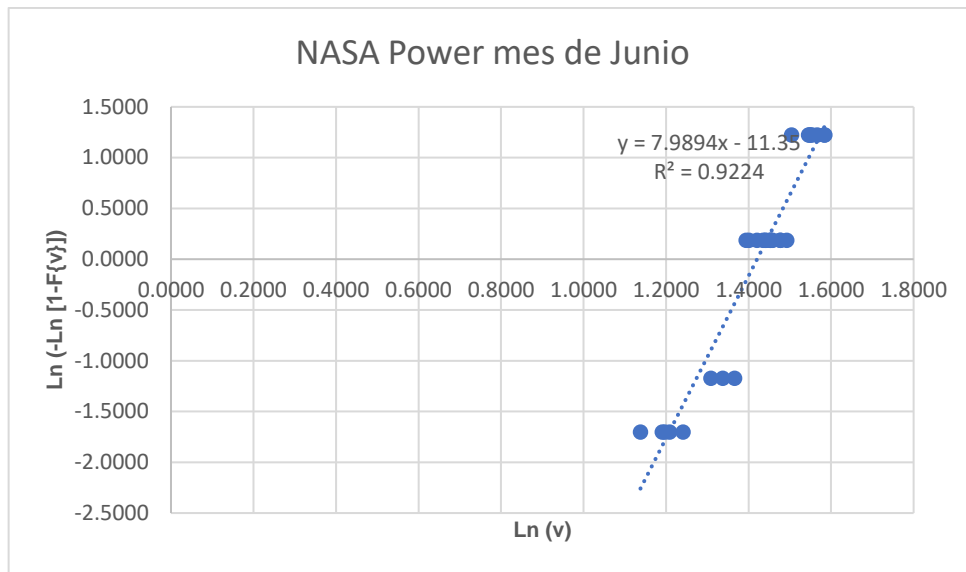
**Tabla A – 27***Análisis del flujo de viento en el mes de junio según NASA Power*

DATA TRANSFORMADA				PRODUCTOS					
Nº	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	3.12	0.1667	0.1667	-1.7020	1.1378	-0.2836	0.0804	-1.7083	0.4845
2	3.29	0.1667	0.1667	-1.7020	1.1909	-0.2305	0.0531	-1.7083	0.3938
3	3.31	0.1667	0.1667	-1.7020	1.1969	-0.2245	0.0504	-1.7083	0.3835
4	3.35	0.1667	0.1667	-1.7020	1.2090	-0.2125	0.0451	-1.7083	0.3630
5	3.46	0.1667	0.1667	-1.7020	1.2413	-0.1802	0.0325	-1.7083	0.3078
6	3.70	0.1000	0.2667	-1.1707	1.3083	-0.1131	0.0128	-1.1770	0.1331
7	3.81	0.1000	0.2667	-1.1707	1.3376	-0.0838	0.0070	-1.1770	0.0986
8	3.92	0.1000	0.2667	-1.1707	1.3661	-0.0553	0.0031	-1.1770	0.0651
9	4.03	0.4333	0.7000	0.1856	1.3938	-0.0277	0.0008	0.1793	-0.0050
10	4.06	0.4333	0.7000	0.1856	1.4012	-0.0202	0.0004	0.1793	-0.0036
11	4.14	0.4333	0.7000	0.1856	1.4207	-0.0007	0.0000	0.1793	-0.0001
12	4.20	0.4333	0.7000	0.1856	1.4351	0.0137	0.0002	0.1793	0.0024
13	4.22	0.4333	0.7000	0.1856	1.4398	0.0184	0.0003	0.1793	0.0033
14	4.23	0.4333	0.7000	0.1856	1.4422	0.0208	0.0004	0.1793	0.0037
15	4.27	0.4333	0.7000	0.1856	1.4516	0.0302	0.0009	0.1793	0.0054
16	4.28	0.4333	0.7000	0.1856	1.4540	0.0325	0.0011	0.1793	0.0058
17	4.28	0.4333	0.7000	0.1856	1.4540	0.0325	0.0011	0.1793	0.0058
18	4.30	0.4333	0.7000	0.1856	1.4586	0.0372	0.0014	0.1793	0.0067
19	4.38	0.4333	0.7000	0.1856	1.4770	0.0556	0.0031	0.1793	0.0100
20	4.38	0.4333	0.7000	0.1856	1.4770	0.0556	0.0031	0.1793	0.0100
21	4.45	0.4333	0.7000	0.1856	1.4929	0.0715	0.0051	0.1793	0.0128
22	4.50	0.2667	0.9667	1.2241	1.5041	0.0827	0.0068	1.2178	0.1007
23	4.69	0.2667	0.9667	1.2241	1.5454	0.1240	0.0154	1.2178	0.1510
24	4.70	0.2667	0.9667	1.2241	1.5476	0.1261	0.0159	1.2178	0.1536
25	4.71	0.2667	0.9667	1.2241	1.5497	0.1283	0.0165	1.2178	0.1562
26	4.73	0.2667	0.9667	1.2241	1.5539	0.1325	0.0176	1.2178	0.1614
27	4.79	0.2667	0.9667	1.2241	1.5665	0.1451	0.0211	1.2178	0.1767
28	4.87	0.2667	0.9667	1.2241	1.5831	0.1617	0.0261	1.2178	0.1969
29	4.88	0.2667	0.9667	1.2241	1.5851	0.1637	0.0268	1.2178	0.1994
30	5.12	0.0333	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>0.0064</b>	<b>1.4214</b>	<b>Suma</b>	<b>0.4484</b>	<b>0.0000</b>	<b>3.5824</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

**Figura A – 28**

*Ecuación recta pendiente para el mes de junio*



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de junio

Visualizando la Figura A – 28, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 7.9894x - 11.35$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-11.35/7.9894)} = 4.14$$

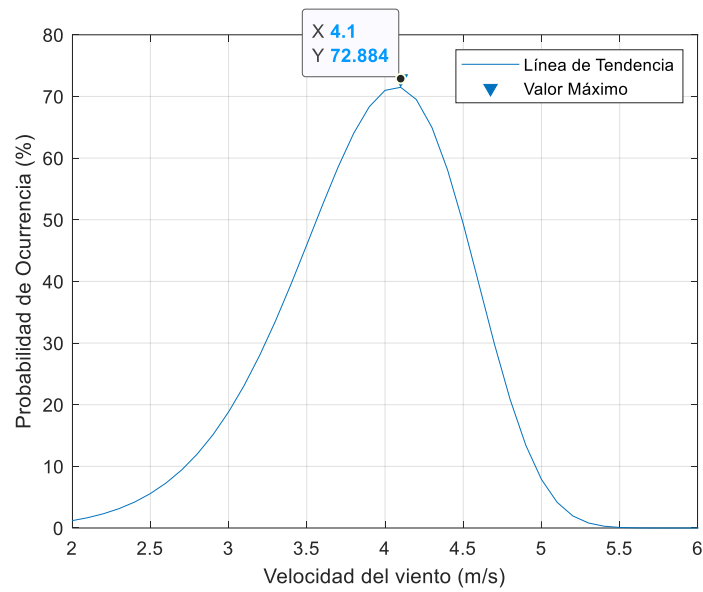
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{3.5824}{0.4484} = 7.9892$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 29**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

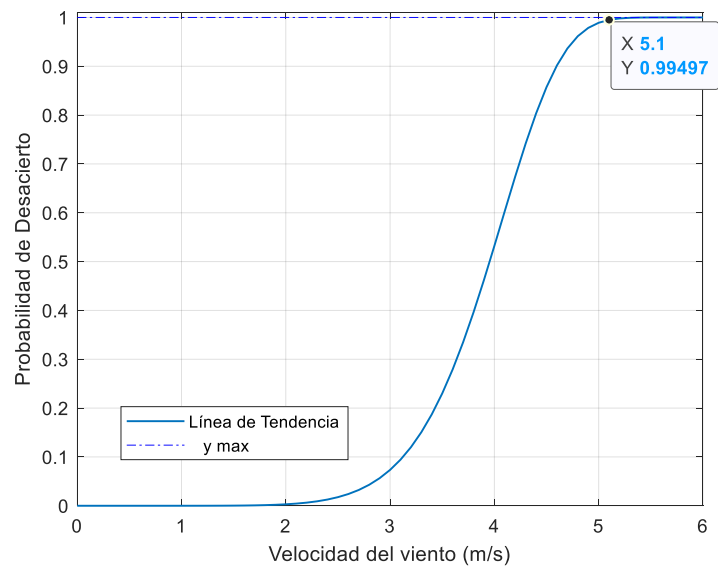


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 30**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 31***Características del flujo de viento en el mes de julio de NASA Power*

<b>JULIO</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	4.21	184.06
2	4.16	183.00
3	4.44	184.69
4	5.36	179.75
5	4.24	180.19
6	3.70	181.62
7	4.15	182.31
8	4.27	185.94
9	4.48	183.75
10	4.20	179.56
11	4.53	180.62
12	4.88	174.62
13	4.23	182.38
14	4.21	184.12
15	4.64	179.25
16	4.63	184.38
17	4.16	183.06
18	4.05	190.69
19	4.09	193.38
20	3.98	188.56
21	3.86	179.94
22	3.60	183.44
23	4.13	185.31
24	4.13	185.25
25	3.91	183.75
26	4.16	181.94
27	4.32	180.62
28	4.32	186.12
29	4.21	184.00
30	3.95	182.62
31	3.84	182.81
<b>Promedio</b>	<b>4.23</b>	<b>183.28</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

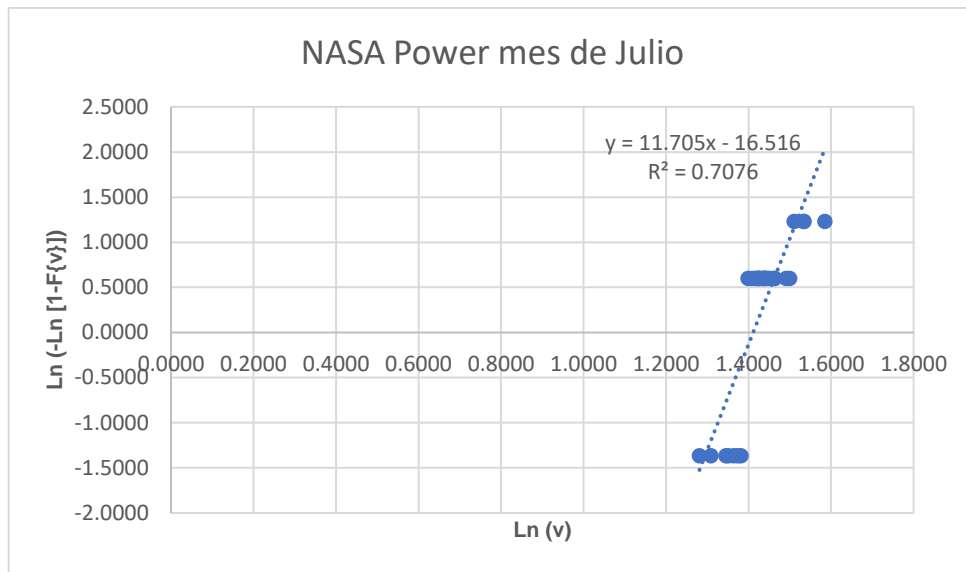
**Tabla A – 32***Análisis del flujo de viento en el mes de julio según NASA Power*

Nº	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	3.60	0.2258	0.2258	-1.3628	1.2809	-0.1495	0.0224	-1.5902	0.2377
2	3.70	0.2258	0.2258	-1.3628	1.3083	-0.1221	0.0149	-1.5902	0.1942
3	3.84	0.2258	0.2258	-1.3628	1.3455	-0.0850	0.0072	-1.5902	0.1351
4	3.86	0.2258	0.2258	-1.3628	1.3507	-0.0798	0.0064	-1.5902	0.1269
5	3.91	0.2258	0.2258	-1.3628	1.3635	-0.0669	0.0045	-1.5902	0.1064
6	3.95	0.2258	0.2258	-1.3628	1.3737	-0.0567	0.0032	-1.5902	0.0902
7	3.98	0.2258	0.2258	-1.3628	1.3813	-0.0492	0.0024	-1.5902	0.0782
8	4.05	0.6129	0.8387	0.6013	1.3987	-0.0317	0.0010	0.3740	-0.0119
9	4.09	0.6129	0.8387	0.6013	1.4085	-0.0219	0.0005	0.3740	-0.0082
10	4.13	0.6129	0.8387	0.6013	1.4183	-0.0122	0.0001	0.3740	-0.0045
11	4.13	0.6129	0.8387	0.6013	1.4183	-0.0122	0.0001	0.3740	-0.0045
12	4.15	0.6129	0.8387	0.6013	1.4231	-0.0073	0.0001	0.3740	-0.0027
13	4.16	0.6129	0.8387	0.6013	1.4255	-0.0049	0.0000	0.3740	-0.0018
14	4.16	0.6129	0.8387	0.6013	1.4255	-0.0049	0.0000	0.3740	-0.0018
15	4.16	0.6129	0.8387	0.6013	1.4255	-0.0049	0.0000	0.3740	-0.0018
16	4.20	0.6129	0.8387	0.6013	1.4351	0.0046	0.0000	0.3740	0.0017
17	4.21	0.6129	0.8387	0.6013	1.4375	0.0070	0.0000	0.3740	0.0026
18	4.21	0.6129	0.8387	0.6013	1.4375	0.0070	0.0000	0.3740	0.0026
19	4.21	0.6129	0.8387	0.6013	1.4375	0.0070	0.0000	0.3740	0.0026
20	4.23	0.6129	0.8387	0.6013	1.4422	0.0118	0.0001	0.3740	0.0044
21	4.24	0.6129	0.8387	0.6013	1.4446	0.0141	0.0002	0.3740	0.0053
22	4.27	0.6129	0.8387	0.6013	1.4516	0.0212	0.0004	0.3740	0.0079
23	4.32	0.6129	0.8387	0.6013	1.4633	0.0328	0.0011	0.3740	0.0123
24	4.32	0.6129	0.8387	0.6013	1.4633	0.0328	0.0011	0.3740	0.0123
25	4.44	0.6129	0.8387	0.6013	1.4907	0.0602	0.0036	0.3740	0.0225
26	4.48	0.6129	0.8387	0.6013	1.4996	0.0692	0.0048	0.3740	0.0259
27	4.53	0.1290	0.9677	1.2337	1.5107	0.0803	0.0064	1.0064	0.0808
28	4.63	0.1290	0.9677	1.2337	1.5326	0.1021	0.0104	1.0064	0.1028
29	4.64	0.1290	0.9677	1.2337	1.5347	0.1043	0.0109	1.0064	0.1049
30	4.88	0.1290	0.9677	1.2337	1.5851	0.1547	0.0239	1.0064	0.1557
31	5.36	0.0323	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>0.2273</b>	<b>1.4304</b>	<b>Suma</b>	<b>0.1261</b>	<b>0.0000</b>	<b>1.4756</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

**Figura A – 33**

*Ecuación recta pendiente para el mes de julio*



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de julio

Visualizando la Figura A – 33, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 11.705x - 16.516$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-16.516/11.705)} = 4.10$$

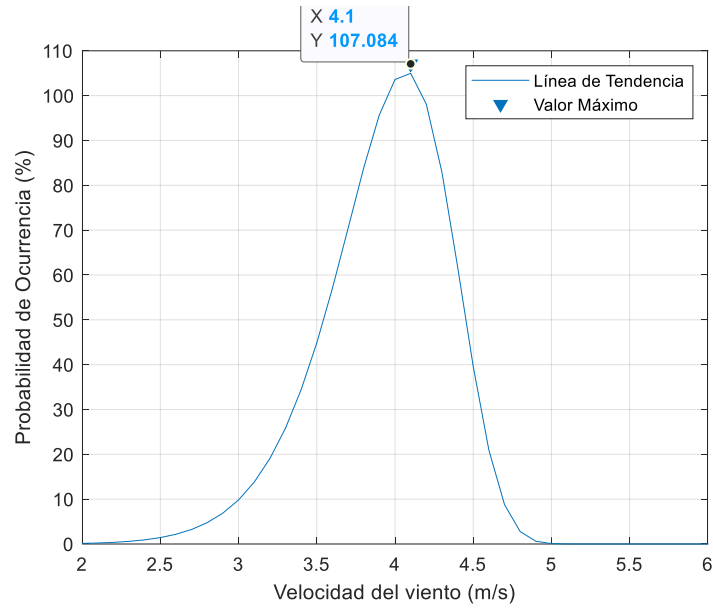
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{1.4756}{0.1261} = 11.701$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 34**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

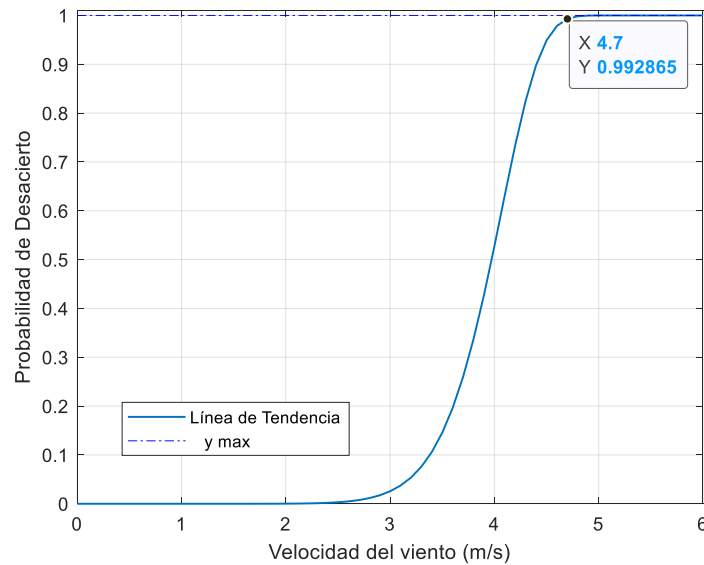


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 35**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 36***Características del flujo de viento en el mes de agosto de NASA Power*

<b>AGOSTO</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	3.74	183.75
2	3.80	187.44
3	3.34	186.12
4	3.89	181.69
5	4.26	183.88
6	4.10	181.00
7	4.10	185.31
8	4.25	186.31
9	4.13	182.69
10	4.66	178.44
11	4.09	188.94
12	3.94	182.62
13	4.05	183.62
14	3.82	182.88
15	4.49	181.75
16	4.21	177.75
17	4.57	186.44
18	4.26	190.81
19	3.93	185.31
20	3.92	184.88
21	3.14	184.31
22	4.33	179.56
23	4.41	174.00
24	4.10	180.12
25	3.67	177.50
26	4.02	179.50
27	3.77	189.12
28	4.04	188.44
29	4.42	176.94
30	3.95	185.31
<b>Promedio</b>	<b>4.36</b>	<b>181.12</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 37***Análisis del flujo de viento en el mes de agosto según NASA Power*

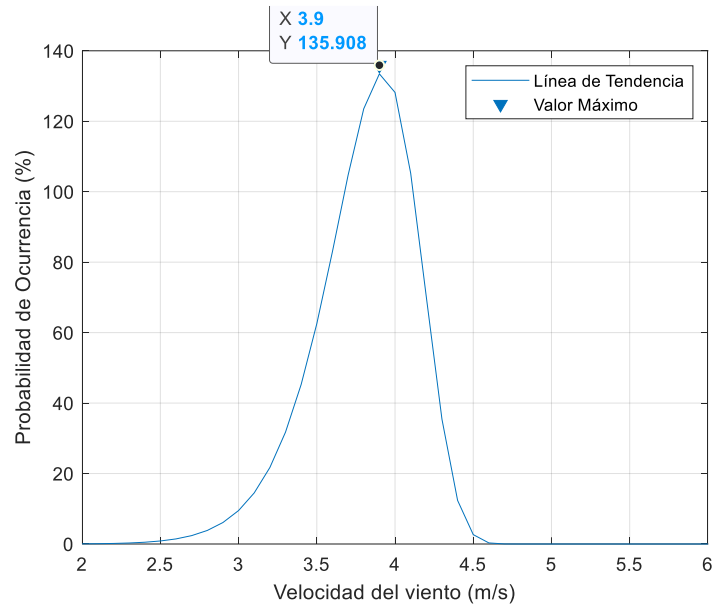
N°	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	(xi-x)	(xi-x) <sup>2</sup>	(yi-y)	(xi-x)*(yi-y)
1	3.14	0.0645	0.0645	-2.7077	1.1442	-0.2454	0.0602	-2.9799	0.7314
2	3.34	0.0645	0.0645	-2.7077	1.2060	-0.1837	0.0337	-2.9799	0.5473
3	3.67	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3002	-0.0895	0.0080	-0.9865	0.0883
4	3.74	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3191	-0.0706	0.0050	-0.9865	0.0696
5	3.77	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3271	-0.0626	0.0039	-0.9865	0.0617
6	3.80	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3350	-0.0546	0.0030	-0.9865	0.0539
7	3.82	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3403	-0.0494	0.0024	-0.9865	0.0487
8	3.89	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3584	-0.0312	0.0010	-0.9865	0.0308
9	3.92	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3661	-0.0236	0.0006	-0.9865	0.0232
10	3.93	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3686	-0.0210	0.0004	-0.9865	0.0207
11	3.94	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3712	-0.0185	0.0003	-0.9865	0.0182
12	3.95	0.3226	0.3871	-0.7143	1.3737	-0.0159	0.0003	-0.9865	0.0157
13	4.02	0.5484	0.9355	1.0083	1.3913	0.0016	0.0000	0.7360	0.0012
14	4.03	0.5484	0.9355	1.0083	1.3938	0.0041	0.0000	0.7360	0.0030
15	4.04	0.5484	0.9355	1.0083	1.3962	0.0066	0.0000	0.7360	0.0049
16	4.05	0.5484	0.9355	1.0083	1.3987	0.0091	0.0001	0.7360	0.0067
17	4.09	0.5484	0.9355	1.0083	1.4085	0.0189	0.0004	0.7360	0.0139
18	4.10	0.5484	0.9355	1.0083	1.4110	0.0213	0.0005	0.7360	0.0157
19	4.10	0.5484	0.9355	1.0083	1.4110	0.0213	0.0005	0.7360	0.0157
20	4.10	0.5484	0.9355	1.0083	1.4110	0.0213	0.0005	0.7360	0.0157
21	4.13	0.5484	0.9355	1.0083	1.4183	0.0286	0.0008	0.7360	0.0211
22	4.21	0.5484	0.9355	1.0083	1.4375	0.0478	0.0023	0.7360	0.0352
23	4.25	0.5484	0.9355	1.0083	1.4469	0.0573	0.0033	0.7360	0.0422
24	4.26	0.5484	0.9355	1.0083	1.4493	0.0596	0.0036	0.7360	0.0439
25	4.26	0.5484	0.9355	1.0083	1.4493	0.0596	0.0036	0.7360	0.0439
26	4.33	0.5484	0.9355	1.0083	1.4656	0.0759	0.0058	0.7360	0.0559
27	4.41	0.5484	0.9355	1.0083	1.4839	0.0942	0.0089	0.7360	0.0694
28	4.42	0.5484	0.9355	1.0083	1.4861	0.0965	0.0093	0.7360	0.0710
29	4.49	0.5484	0.9355	1.0083	1.5019	0.1122	0.0126	0.7360	0.0826
30	4.57	0.0645	1.0000	3.5847	1.5195	0.1299	0.0169	3.3125	0.4302
31	4.66	0.0645	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>0.2722</b>	<b>1.3896</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>0.1876</b>	<b>0.0000</b>	<b>2.6816</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.



**Figura A – 39**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

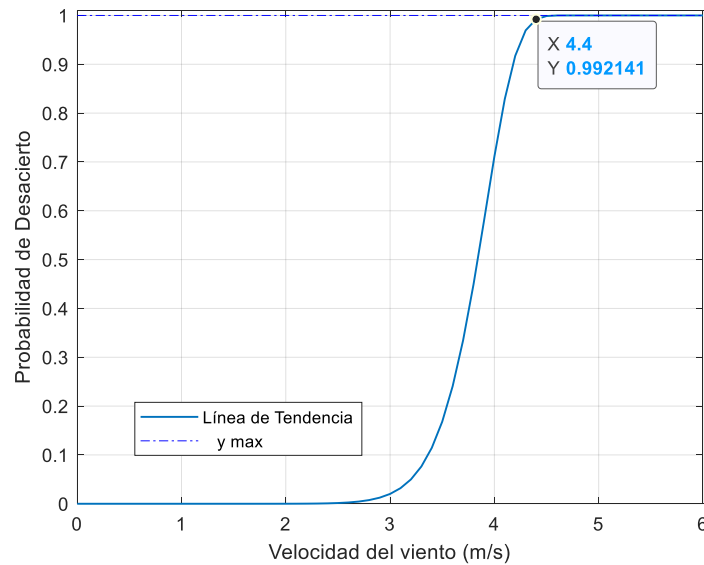


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 40**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 41***Características del flujo de viento en el mes de septiembre de NASA Power*

<b>SEPTIEMBRE</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	4.10	180.62
2	3.75	186.12
3	4.17	183.81
4	3.85	180.62
5	4.26	192.81
6	4.12	186.25
7	4.01	182.19
8	4.34	187.00
9	3.74	190.88
10	3.43	190.19
11	4.62	174.69
12	5.27	175.44
13	4.69	180.50
14	4.14	187.50
15	4.27	186.44
16	3.81	194.69
17	4.77	180.94
18	3.78	190.06
19	4.12	178.44
20	4.69	182.75
21	4.34	185.25
22	4.36	180.38
23	3.73	183.88
24	4.66	179.06
25	4.27	178.25
26	4.72	177.25
27	4.21	190.06
28	4.85	182.62
29	4.23	181.75
30	4.80	185.19
<b>Promedio</b>	<b>4.27</b>	<b>183.85</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

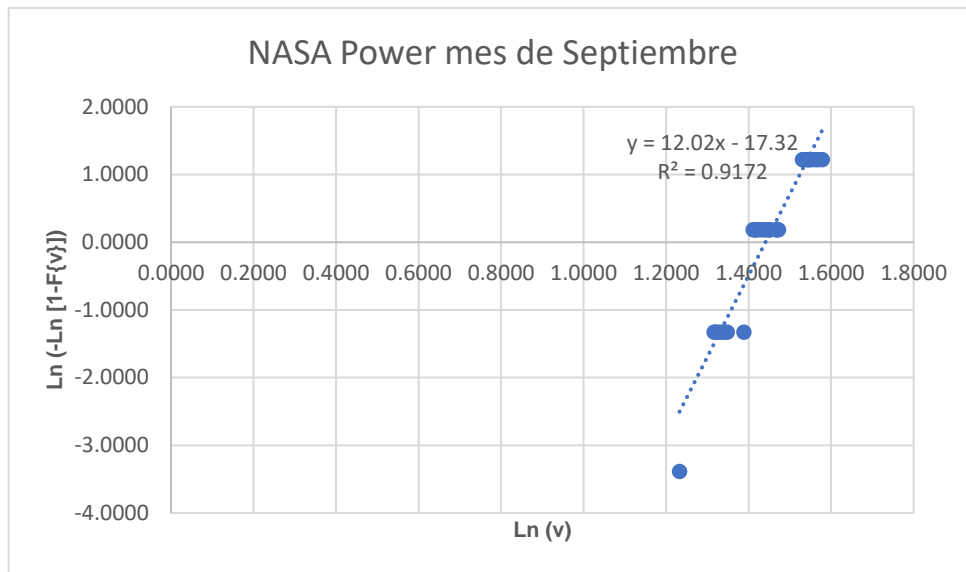
**Tabla A – 42***Análisis del flujo de viento en el mes de septiembre según NASA Power*

N°	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	3.43	0.0333	0.0333	-3.3843	1.2326	-0.2070	0.0429	-3.3686	0.6974
2	3.73	0.2000	0.2333	-1.3254	1.3164	-0.1232	0.0152	-1.3097	0.1613
3	3.74	0.2000	0.2333	-1.3254	1.3191	-0.1205	0.0145	-1.3097	0.1578
4	3.75	0.2000	0.2333	-1.3254	1.3218	-0.1178	0.0139	-1.3097	0.1543
5	3.78	0.2000	0.2333	-1.3254	1.3297	-0.1099	0.0121	-1.3097	0.1439
6	3.81	0.2000	0.2333	-1.3254	1.3376	-0.1019	0.0104	-1.3097	0.1335
7	3.85	0.2000	0.2333	-1.3254	1.3481	-0.0915	0.0084	-1.3097	0.1198
8	4.01	0.4667	0.2333	-1.3254	1.3888	-0.0508	0.0026	-1.3097	0.0665
9	4.10	0.4667	0.7000	0.1856	1.4110	-0.0286	0.0008	0.2013	-0.0058
10	4.12	0.4667	0.7000	0.1856	1.4159	-0.0237	0.0006	0.2013	-0.0048
11	4.12	0.4667	0.7000	0.1856	1.4159	-0.0237	0.0006	0.2013	-0.0048
12	4.14	0.4667	0.7000	0.1856	1.4207	-0.0189	0.0004	0.2013	-0.0038
13	4.17	0.4667	0.7000	0.1856	1.4279	-0.0117	0.0001	0.2013	-0.0023
14	4.21	0.4667	0.7000	0.1856	1.4375	-0.0021	0.0000	0.2013	-0.0004
15	4.23	0.4667	0.7000	0.1856	1.4422	0.0026	0.0000	0.2013	0.0005
16	4.26	0.4667	0.7000	0.1856	1.4493	0.0097	0.0001	0.2013	0.0020
17	4.27	0.4667	0.7000	0.1856	1.4516	0.0120	0.0001	0.2013	0.0024
18	4.27	0.4667	0.7000	0.1856	1.4516	0.0120	0.0001	0.2013	0.0024
19	4.34	0.4667	0.7000	0.1856	1.4679	0.0283	0.0008	0.2013	0.0057
20	4.34	0.4667	0.7000	0.1856	1.4679	0.0283	0.0008	0.2013	0.0057
21	4.36	0.4667	0.7000	0.1856	1.4725	0.0329	0.0011	0.2013	0.0066
22	4.62	0.2667	0.9667	1.2241	1.5304	0.0908	0.0082	1.2398	0.1126
23	4.66	0.2667	0.9667	1.2241	1.5390	0.0994	0.0099	1.2398	0.1233
24	4.69	0.2667	0.9667	1.2241	1.5454	0.1059	0.0112	1.2398	0.1312
25	4.69	0.2667	0.9667	1.2241	1.5454	0.1059	0.0112	1.2398	0.1312
26	4.72	0.2667	0.9667	1.2241	1.5518	0.1122	0.0126	1.2398	0.1391
27	4.77	0.2667	0.9667	1.2241	1.5623	0.1228	0.0151	1.2398	0.1522
28	4.80	0.2667	0.9667	1.2241	1.5686	0.1290	0.0167	1.2398	0.1600
29	4.85	0.2667	0.9667	1.2241	1.5790	0.1394	0.0194	1.2398	0.1728
30	5.27	0.0333	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.0157</b>	<b>1.4396</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>0.2297</b>	<b>0.0000</b>	<b>2.7605</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

### Figura A – 43

Ecuación recta pendiente para el mes de septiembre



Nota. Gráfico resultante para el mes de septiembre

Visualizando la Figura A – 43, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 12.02x - 17.32$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-17.32/12.02)} = 4.23$$

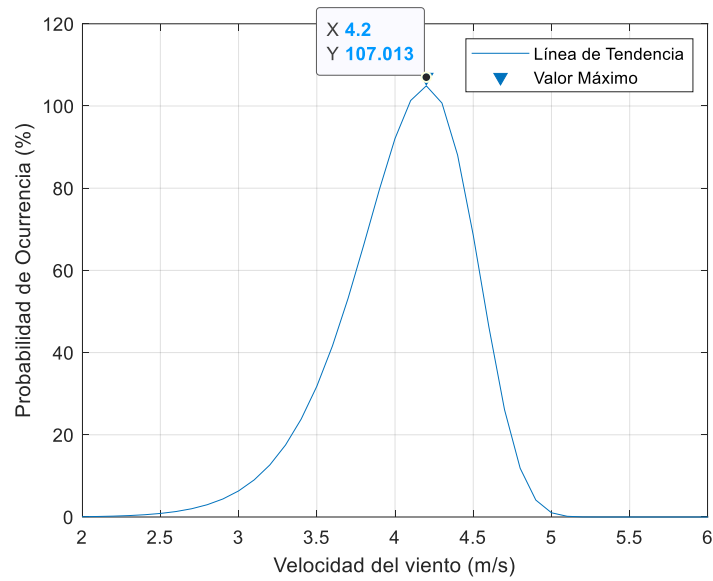
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{2.7605}{0.2297} = 12.017$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 44**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

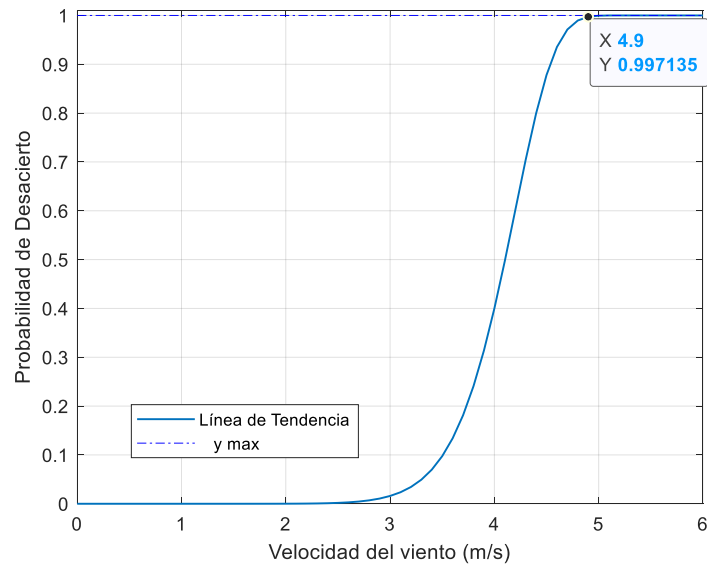


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 45**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 46***Características del flujo de viento en el mes de octubre de NASA Power*

<b>OCTUBRE</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	5.15	186.81
2	4.62	179.25
3	4.33	186.94
4	3.69	213.12
5	3.55	187.50
6	5.20	177.50
7	5.17	176.81
8	4.38	178.81
9	4.23	184.25
10	4.05	184.25
11	4.82	182.25
12	4.32	180.62
13	3.01	174.25
14	4.11	176.69
15	4.26	193.69
16	4.37	191.56
17	4.90	182.81
18	5.43	173.88
19	4.43	180.44
20	4.23	184.00
21	3.82	182.75
22	4.54	179.25
23	5.12	176.50
24	4.90	173.12
25	4.05	185.12
26	3.63	182.69
27	3.70	181.00
28	3.53	174.44
29	4.04	179.19
30	4.76	173.56
31	4.52	171.06
<b>Promedio</b>	<b>4.35</b>	<b>181.75</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

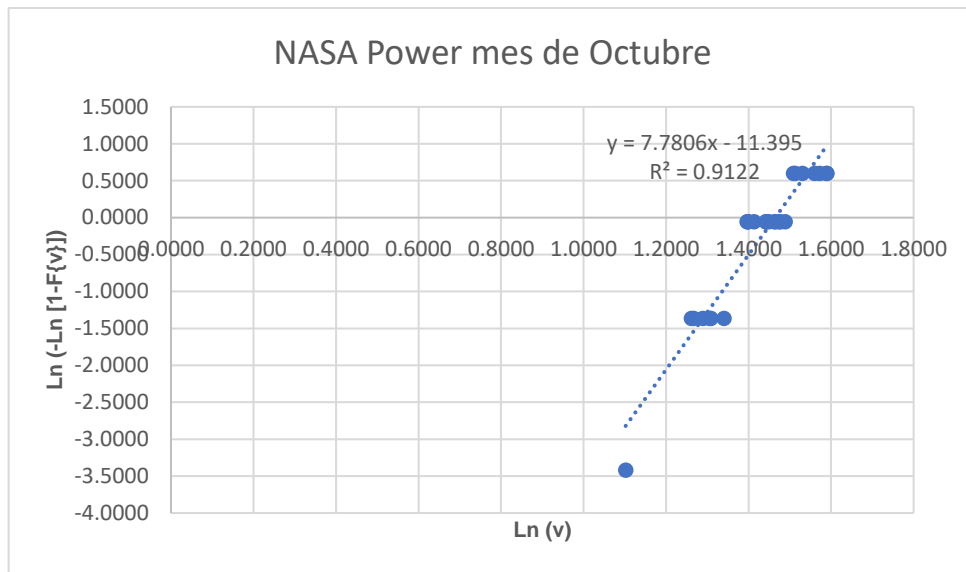
**Tabla A – 47***Análisis del flujo de viento en el mes de octubre según NASA Power*

N°	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	$(x_i-x)$	$(x_i-x)^2$	$(y_i-y)$	$(x_i-x)*(y_i-y)$
1	3.01	0.0323	0.0323	-3.4176	1.1019	-0.3229	0.1043	-3.1095	1.0042
2	3.53	0.1935	0.2258	-1.3628	1.2613	-0.1636	0.0268	-1.0547	0.1725
3	3.55	0.1935	0.2258	-1.3628	1.2669	-0.1579	0.0249	-1.0547	0.1666
4	3.63	0.1935	0.2258	-1.3628	1.2892	-0.1356	0.0184	-1.0547	0.1431
5	3.69	0.1935	0.2258	-1.3628	1.3056	-0.1192	0.0142	-1.0547	0.1258
6	3.70	0.1935	0.2258	-1.3628	1.3083	-0.1165	0.0136	-1.0547	0.1229
7	3.82	0.1935	0.2258	-1.3628	1.3403	-0.0846	0.0072	-1.0547	0.0893
8	4.04	0.3871	0.6129	-0.0523	1.3962	-0.0286	0.0008	0.2559	-0.0073
9	4.05	0.3871	0.6129	-0.0523	1.3987	-0.0262	0.0007	0.2559	-0.0067
10	4.05	0.3871	0.6129	-0.0523	1.3987	-0.0262	0.0007	0.2559	-0.0067
11	4.11	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4134	-0.0115	0.0001	0.2559	-0.0029
12	4.23	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4422	0.0173	0.0003	0.2559	0.0044
13	4.23	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4422	0.0173	0.0003	0.2559	0.0044
14	4.26	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4493	0.0244	0.0006	0.2559	0.0062
15	4.32	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4633	0.0384	0.0015	0.2559	0.0098
16	4.33	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4656	0.0407	0.0017	0.2559	0.0104
17	4.37	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4748	0.0499	0.0025	0.2559	0.0128
18	4.38	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4770	0.0522	0.0027	0.2559	0.0134
19	4.43	0.3871	0.6129	-0.0523	1.4884	0.0635	0.0040	0.2559	0.0163
20	4.52	0.2258	0.8387	0.6013	1.5085	0.0836	0.0070	0.9095	0.0761
21	4.54	0.2258	0.8387	0.6013	1.5129	0.0881	0.0078	0.9095	0.0801
22	4.62	0.2258	0.8387	0.6013	1.5304	0.1055	0.0111	0.9095	0.0960
23	4.76	0.2258	0.8387	0.6013	1.5602	0.1354	0.0183	0.9095	0.1231
24	4.82	0.2258	0.8387	0.6013	1.5728	0.1479	0.0219	0.9095	0.1345
25	4.90	0.2258	0.8387	0.6013	1.5892	0.1644	0.0270	0.9095	0.1495
26	4.90	0.2258	0.8387	0.6013	1.5892	0.1644	0.0270	0.9095	0.1495
27	5.12	0.1613	1.0000						
28	5.15	0.1613	1.0000						
29	5.17	0.1613	1.0000						
30	5.20	0.1613	1.0000						
31	5.43	0.1613	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.3082</b>	<b>1.4249</b>	<b>Suma</b>	<b>0.3453</b>	<b>0.0000</b>	<b>2.6870</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

**Figura A – 48**

Ecuación recta pendiente para el mes de octubre



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de octubre

Visualizando la Figura A – 48, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 7.7806x - 11.395$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-11.395/7.7806)} = 4.33$$

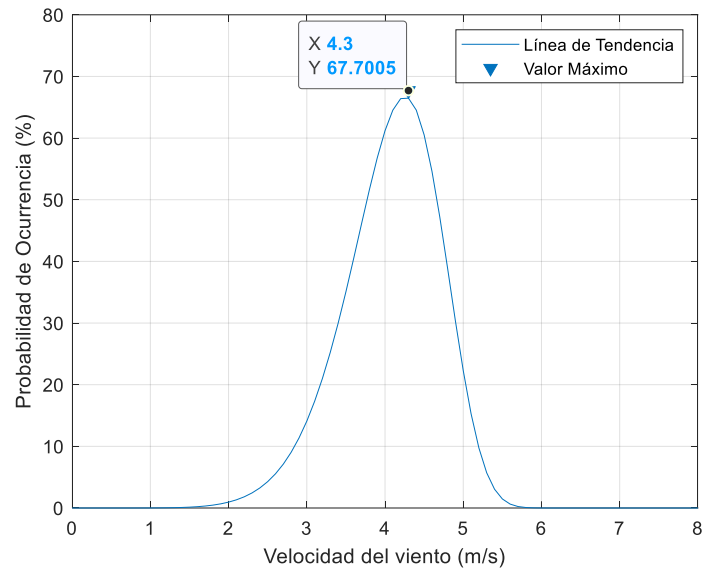
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{2.6870}{0.3453} = 7.7816$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 49**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

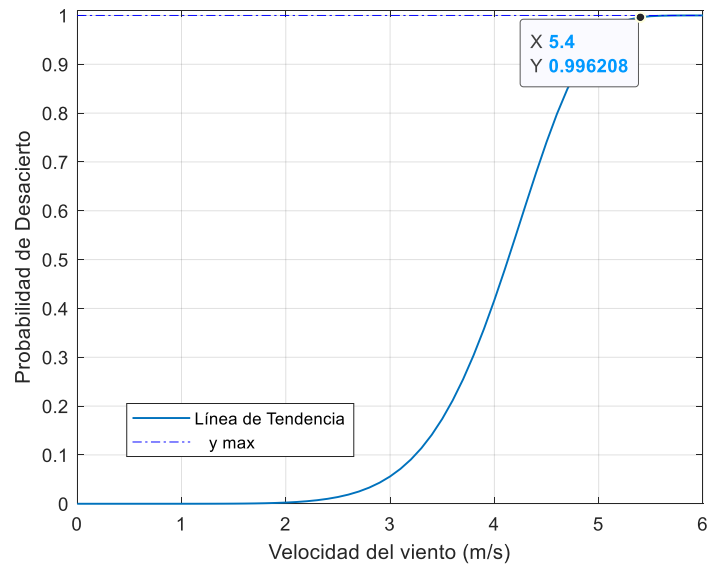


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 50**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 51***Características del flujo de viento en el mes de noviembre de NASA Power*

<b>NOVIEMBRE</b>			
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)	
1	4.17	173.69	
2	4.26	172.56	
3	3.67	180.75	
4	3.98	176.12	
5	4.52	166.56	
6	4.42	172.50	
7	4.63	180.06	
8	4.62	184.88	
9	4.59	183.94	
10	4.50	174.69	
11	4.28	178.88	
12	4.59	176.62	
13	4.88	177.56	
14	4.53	175.69	
15	3.91	180.12	
16	5.59	169.31	
17	4.72	173.94	
18	3.89	179.69	
19	3.51	191.31	
20	3.22	202.75	
21	3.86	167.50	
22	4.15	177.88	
23	4.02	173.69	
24	4.52	171.44	
25	4.19	179.19	
26	3.63	182.88	
27	4.59	180.88	
28	4.95	174.12	182.56
29	3.95		
30	4.07	188.81	
<b>Promedio</b>	<b>4.28</b>	<b>178.35</b>	

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

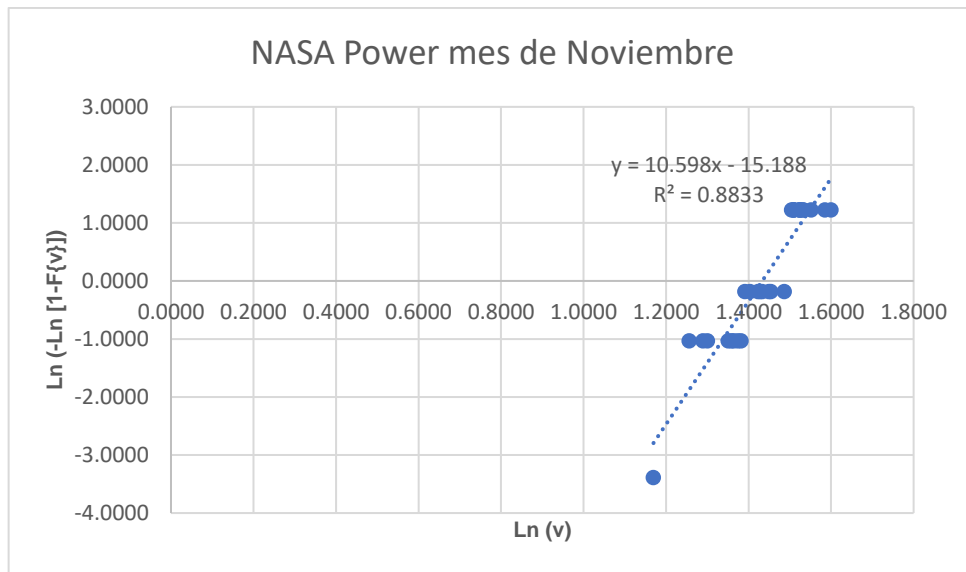
**Tabla A – 52***Análisis del flujo de viento en el mes de octubre según NASA Power*

N°	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	(xi-x)	(xi-x) <sup>2</sup>	(yi-y)	(xi-x)*(yi-y)
1	3.22	0.0333	0.0333	-3.3843	1.1694	-0.2690	0.0724	-3.4404	0.9254
2	3.51	0.2667	0.3000	-1.0309	1.2556	-0.1828	0.0334	-1.0870	0.1987
3	3.63	0.2667	0.3000	-1.0309	1.2892	-0.1491	0.0222	-1.0870	0.1621
4	3.67	0.2667	0.3000	-1.0309	1.3002	-0.1382	0.0191	-1.0870	0.1502
5	3.86	0.2667	0.3000	-1.0309	1.3507	-0.0877	0.0077	-1.0870	0.0953
6	3.89	0.2667	0.3000	-1.0309	1.3584	-0.0800	0.0064	-1.0870	0.0869
7	3.91	0.2667	0.3000	-1.0309	1.3635	-0.0748	0.0056	-1.0870	0.0813
8	3.95	0.2667	0.3000	-1.0309	1.3737	-0.0647	0.0042	-1.0870	0.0703
9	3.98	0.2667	0.3000	-1.0309	1.3813	-0.0571	0.0033	-1.0870	0.0621
10	4.02	0.2667	0.5667	-0.1788	1.3913	-0.0471	0.0022	-0.2349	0.0111
11	4.07	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4036	-0.0347	0.0012	-0.2349	0.0082
12	4.15	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4231	-0.0153	0.0002	-0.2349	0.0036
13	4.17	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4279	-0.0105	0.0001	-0.2349	0.0025
14	4.19	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4327	-0.0057	0.0000	-0.2349	0.0013
15	4.26	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4493	0.0109	0.0001	-0.2349	-0.0026
16	4.28	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4540	0.0156	0.0002	-0.2349	-0.0037
17	4.42	0.2667	0.5667	-0.1788	1.4861	0.0478	0.0023	-0.2349	-0.0112
18	4.50	0.4000	0.9667	1.2241	1.5041	0.0657	0.0043	1.1680	0.0767
19	4.52	0.4000	0.9667	1.2241	1.5085	0.0701	0.0049	1.1680	0.0819
20	4.52	0.4000	0.9667	1.2241	1.5085	0.0701	0.0049	1.1680	0.0819
21	4.53	0.4000	0.9667	1.2241	1.5107	0.0723	0.0052	1.1680	0.0845
22	4.59	0.4000	0.9667	1.2241	1.5239	0.0855	0.0073	1.1680	0.0999
23	4.59	0.4000	0.9667	1.2241	1.5239	0.0855	0.0073	1.1680	0.0999
24	4.59	0.4000	0.9667	1.2241	1.5239	0.0855	0.0073	1.1680	0.0999
25	4.62	0.4000	0.9667	1.2241	1.5304	0.0920	0.0085	1.1680	0.1075
26	4.63	0.4000	0.9667	1.2241	1.5326	0.0942	0.0089	1.1680	0.1100
27	4.72	0.4000	0.9667	1.2241	1.5518	0.1134	0.0129	1.1680	0.1325
28	4.88	0.4000	0.9667	1.2241	1.5851	0.1468	0.0215	1.1680	0.1714
29	4.95	0.4000	0.9667	1.2241	1.5994	0.1610	0.0259	1.1680	0.1881
30	5.59	0.0333	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>0.0561</b>	<b>1.4384</b>	<b>Suma</b>	<b>0.2997</b>	<b>0.0000</b>	<b>3.1758</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

### Figura A – 53

Ecuación recta pendiente para el mes de noviembre



*Nota.* Gráfico resultante para el mes de noviembre

Visualizando la Figura A – 48, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 10.598x - 15.188$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-15.188/10.598)} = 4.19$$

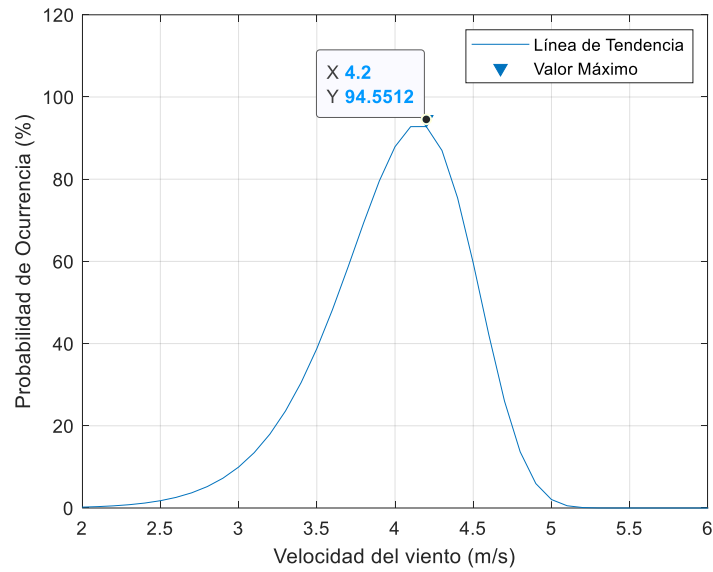
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{3.1758}{0.2997} = 10.596$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 54**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

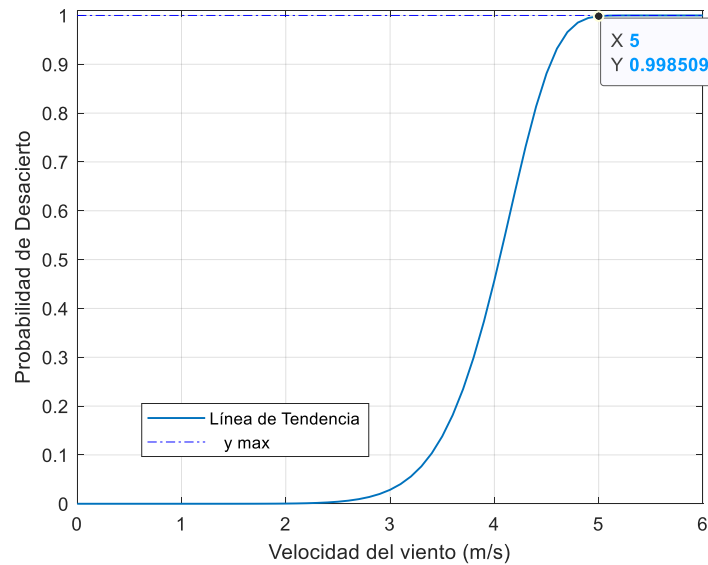


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 55**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

**Tabla A – 56***Características del flujo de viento en el mes de diciembre de NASA Power*

<b>DICIEMBRE</b>		
Día	Velocidad (m/s)	Dirección (°)
1	5.05	180.88
2	4.91	175.25
3	4.16	174.75
4	4.73	174.94
5	4.57	177.19
6	4.98	167.75
7	4.42	172.44
8	5.16	173.88
9	4.72	184.31
10	4.43	176.50
11	4.23	175.56
12	4.24	176.56
13	4.52	180.62
14	4.00	178.12
15	3.35	186.12
16	3.94	178.81
17	4.41	179.94
18	3.73	176.62
19	3.58	174.62
20	3.98	173.25
21	4.12	176.56
22	3.93	181.38
23	4.09	176.25
24	4.30	181.12
25	3.27	185.44
26	2.54	194.62
27	2.61	209.44
28	3.09	193.31
29	3.69	183.81
30	2.98	181.06
31	3.16	173.50
<b>Promedio</b>	<b>4.03</b>	<b>179.83</b>

*Nota.* Tabla resumen de la velocidad y dirección del viento obtenido de la NASA.

**Tabla A – 57**

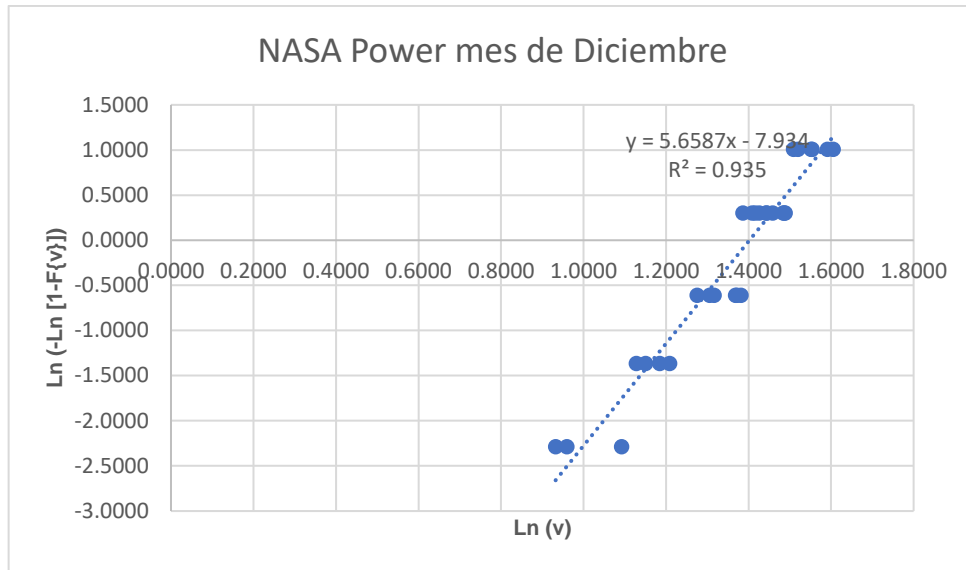
*Análisis del flujo de viento en el mes de diciembre según NASA Power*

N°	DATA TRANSFORMADA			PRODUCTOS					
	Velocidad (m/s)	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	$\ln(-\ln(1-F_i))$	$\ln(v)$	(xi-x)	(xi-x) <sup>2</sup>	(yi-y)	(xi-x)*(yi-y)
1	2.54	0.0968	0.0968	-2.2849	0.9322	-0.4280	0.1832	-2.0477	0.8764
2	2.61	0.0968	0.0968	-2.2849	0.9594	-0.4008	0.1607	-2.0477	0.8208
3	2.98	0.0968	0.0968	-2.2849	1.0919	-0.2682	0.0720	-2.0477	0.5493
4	3.09	0.1290	0.2258	-1.3628	1.1282	-0.2320	0.0538	-1.1256	0.2611
5	3.16	0.1290	0.2258	-1.3628	1.1506	-0.2096	0.0439	-1.1256	0.2359
6	3.27	0.1290	0.2258	-1.3628	1.1848	-0.1754	0.0308	-1.1256	0.1974
7	3.35	0.1290	0.2258	-1.3628	1.2090	-0.1512	0.0229	-1.1256	0.1702
8	3.58	0.1935	0.4194	-0.6095	1.2754	-0.0848	0.0072	-0.3723	0.0316
9	3.69	0.1935	0.4194	-0.6095	1.3056	-0.0545	0.0030	-0.3723	0.0203
10	3.73	0.1935	0.4194	-0.6095	1.3164	-0.0438	0.0019	-0.3723	0.0163
11	3.93	0.1935	0.4194	-0.6095	1.3686	0.0085	0.0001	-0.3723	-0.0032
12	3.94	0.1935	0.4194	-0.6095	1.3712	0.0110	0.0001	-0.3723	-0.0041
13	3.98	0.1935	0.4194	-0.6095	1.3813	0.0211	0.0004	-0.3723	-0.0079
14	4.00	0.3226	0.7419	0.3035	1.3863	0.0261	0.0007	0.5407	0.0141
15	4.09	0.3226	0.7419	0.3035	1.4085	0.0484	0.0023	0.5407	0.0262
16	4.12	0.3226	0.7419	0.3035	1.4159	0.0557	0.0031	0.5407	0.0301
17	4.16	0.3226	0.7419	0.3035	1.4255	0.0653	0.0043	0.5407	0.0353
18	4.23	0.3226	0.7419	0.3035	1.4422	0.0820	0.0067	0.5407	0.0444
19	4.24	0.3226	0.7419	0.3035	1.4446	0.0844	0.0071	0.5407	0.0456
20	4.30	0.3226	0.7419	0.3035	1.4586	0.0984	0.0097	0.5407	0.0532
21	4.41	0.3226	0.7419	0.3035	1.4839	0.1237	0.0153	0.5407	0.0669
22	4.42	0.3226	0.7419	0.3035	1.4861	0.1260	0.0159	0.5407	0.0681
23	4.43	0.3226	0.7419	0.3035	1.4884	0.1282	0.0164	0.5407	0.0693
24	4.52	0.1935	0.9355	1.0083	1.5085	0.1483	0.0220	1.2455	0.1848
25	4.57	0.1935	0.9355	1.0083	1.5195	0.1593	0.0254	1.2455	0.1985
26	4.72	0.1935	0.9355	1.0083	1.5518	0.1916	0.0367	1.2455	0.2387
27	4.73	0.1935	0.9355	1.0083	1.5539	0.1938	0.0375	1.2455	0.2413
28	4.91	0.1935	0.9355	1.0083	1.5913	0.2311	0.0534	1.2455	0.2878
29	4.98	0.1935	0.9355	1.0083	1.6054	0.2453	0.0602	1.2455	0.3055
30	5.05	0.0645	1.0000						
31	5.16	0.0645	1.0000						
<b>Promedios</b>				<b>-0.2372</b>	<b>1.3602</b>	<b>Suma</b>	<b>0.8967</b>	<b>0.0000</b>	<b>5.0740</b>

*Nota.* Cuadro del tratamiento estadístico de los datos.

**Figura A – 58**

Ecuación recta pendiente para el mes de diciembre



Visualizando la Figura A – 58, podemos sustraer la ecuación recta pendiente y los parámetros requeridos, usando la formula (2.6)

$$y = 5.6587x - 7.934$$

De la ecuación previa, se obtiene el parámetro de forma, mientras que, para calcular el parámetro de escala, se debe aplicar la ecuación (2.7).

$$c = \exp^{-(-7.934/5.6587)} = 4.06$$

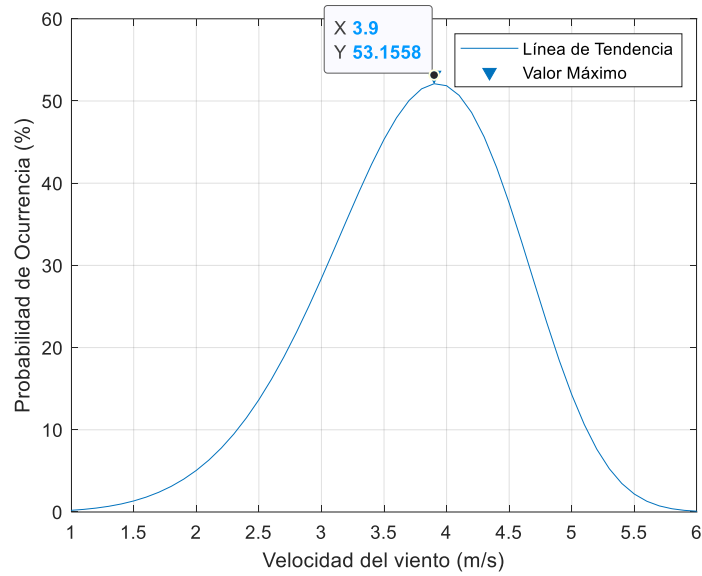
Para corroborar el resultado del parámetro de forma obtenido gráficamente, podemos recurrir a la ecuación (2.8).

$$m = k = \frac{5.0740}{0.8967} = 5.6585$$

Utilizando la ecuación (2.3), se puede graficar la distribución probabilística del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 59**

*Función probabilística de la distribución de Weibull*

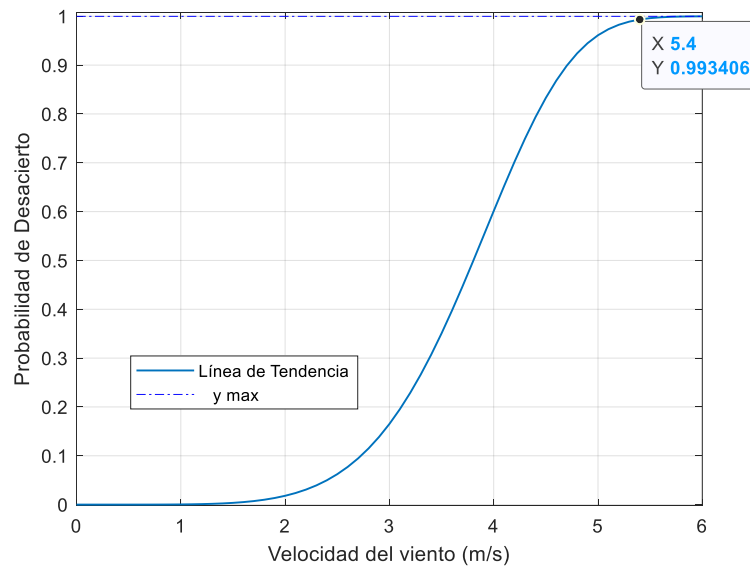


*Nota.* Gráfico de la probabilidad de ocurrencia para la velocidad del viento.

Utilizando la ecuación (2.4), se puede graficar la función acumulativa del flujo de viento para el mes en cuestión.

**Figura A – 60**

*Función acumulativa de la distribución de Weibull*



*Nota.* Gráfico de la función acumulativa para la velocidad del viento.

## Figura A – 61

Resultados generados por el software RETscreen Expert

Resource assessment		Climate Data	
Resource method	Wind speed	Peru - Chepén	
Wind speed - annual	m/s 2.7		2.7
Measured at	m 50		10
Wind shear exponent	0.213		
Air temperature - annual	°C 20		20
Atmospheric pressure - annual	kPa 90.4		90.4
Wind turbine			
Power capacity per turbine	kW 2,500		
Manufacturer	Nordex		
Model	NORDEX N100/2500 - 80m		
Number of turbines	1		
Power capacity	kW 2,500		
Hub height	m 100	3.1 m/s	
Rotor diameter per turbine	m 99.8		
Swept area per turbine	m <sup>2</sup> 7,854		
Energy curve data	Standard		
Shape factor	2		

*Nota.* Entre los datos podemos observar que la velocidad del viento encaja entre los calculados previamente, valor que se encuentra entre el promedio de cada mes del año. Figura tomada por el programa RETscreen Expert.

### **Anexos B: Datos del segundo objetivo de la investigación:**

Primeramente, se establece el aerogenerador propuesto para la presente investigación, en base a los parámetros estudiados del flujo de viento en la zona de estudio.

#### **Figura B – 1**

*Aerogenerador Nordex N100/2500*



*Nota.* En la figura se muestra en aerogenerador seleccionado instalado en una determinada zona. Imagen tomada de The Wind Power

#### **Tabla B – 2**

*Características técnicas del aerogenerador propuesto*

<b>Indicador</b>	<b>Magnitud</b>
Potencia nominal	2500 kW
Flujo mínimo del viento	4.00 m/s
Flujo nominal del viento	12.50 m/s
Flujo del viento de riesgo	> 20.00 m/s
Diámetro del rotor	100.00 m
Área de barrido	7854 m <sup>2</sup>
Altura	100 metros
Voltaje del generador	660 V

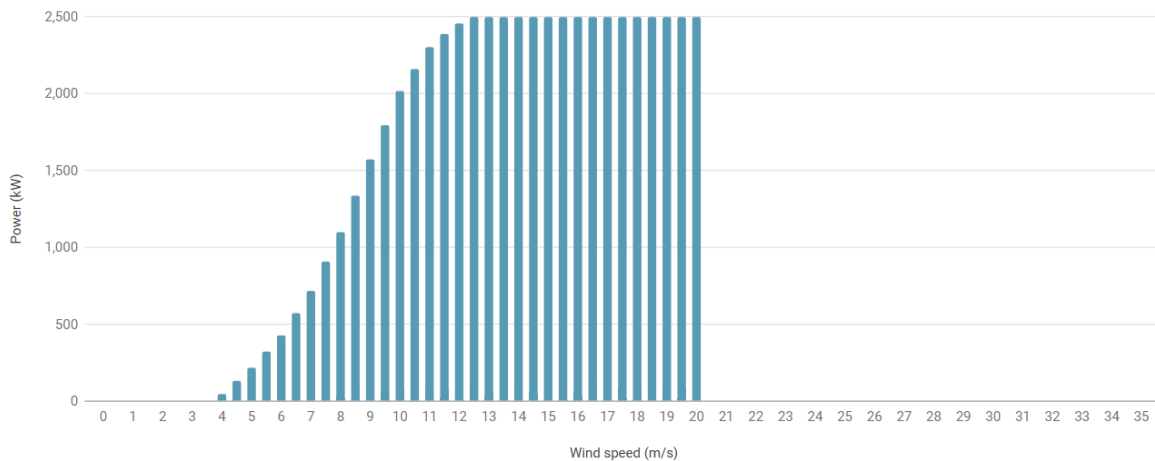
*Nota.* Datos técnicos del aerogenerador seleccionado. Tomado de The Wind Power.

En la Tabla B – 2, se resalta que la altura entre el rotor del aerogenerador y la superficie sería de 100 metros, siendo una medida aproximada con la altura de medición del flujo de viento.

En el siguiente gráfico, se muestra la curva de potencia del aerogenerador seleccionado, el cual será de utilidad para determinar la producción mensual del mismo.

**Figura B – 3**

*Curva de potencia del aerogenerador propuesto*



*Nota.* La figura muestra la potencia útil de salida del aerogenerador seleccionado en función de la velocidad del viento captado por la máquina. Gráfico tomado de Wind Turbine Models.

Para determinar la potencia eléctrica de salida o útil del aerogenerador, se debe determinar el coeficiente de potencia y la eficiencia de la turbina eólica en cuestión. Por lo tanto, de la ecuación (2.15) y la curva de potencia de la turbina seleccionada, se determina el valor promedio de la eficiencia y coeficiente de potencia, entonces, la ecuación quedaría de la siguiente forma.

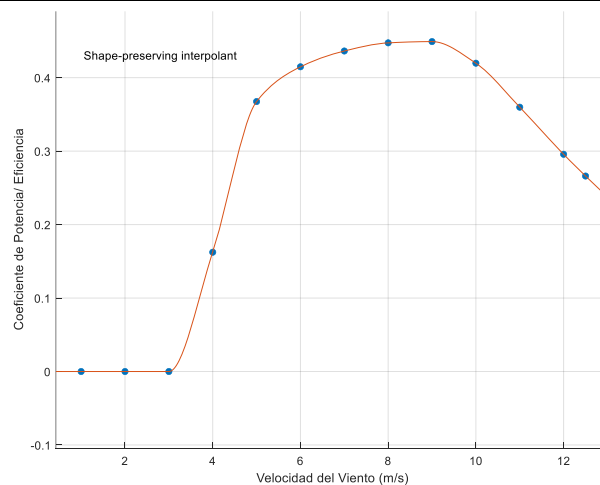
$$\eta_{turb} C_p = \frac{P_{salida}}{\frac{1}{2} \rho A U^3} = \frac{P_{salida}}{P_{teorica}}$$

**Tabla B – 4**

*Cálculo del coeficiente de potencia y eficiencia de la turbina eólica*

Velocidad del viento (m/s)	Potencia teórica (kW)	Potencia de salida (kW)	Eficiencia y Coeficiente
1.00	4.81	0.00	0.0000
2.00	38.48	0.00	0.0000
3.00	129.89	0.00	0.0000
4.00	307.88	50.00	0.1624
5.00	601.32	221.00	0.3675

6.00	1039.10	431.00	0.4148
7.00	1650.03	720.00	0.4363
8.00	2643.01	1102.00	0.4474
9.00	3506.91	1575.00	0.4491
10.00	4810.58	2019.00	0.4197
11.00	6402.88	2304.00	0.3598
12.00	8312.67	2458.00	0.2957
12.50	9395.65	2500.00	0.2661
13.00	10568.83	2500.00	0.2365
13.50	11835.82	2500.00	0.2112
14.00	13200.22	2500.00	0.1894
14.50	14665.64	2500.00	0.1705
15.00	16235.69	2500.00	0.1540
15.50	17913.98	2500.00	0.1396
16.00	19704.12	2500.00	0.1269
16.50	21609.70	2500.00	0.1157
17.00	23634.35	2500.00	0.1058
17.50	25781.68	2500.00	0.0970
18.00	28055.27	2500.00	0.0891
18.50	30458.76	2500.00	0.0821
19.00	32995.73	2500.00	0.0758
19.50	35669.81	2500.00	0.0701
20.00	38484.60	2500.00	0.0650



*Nota.* Valores de la eficiencia y coeficiente de potencia de la turbina eólica.

En base al coeficiente de potencia y la eficiencia total de la turbina eólica, se prosigue a calcular la potencia eléctrica de salida del sistema para cada mes del año 2023, utilizando la ecuación (2.12) y la ecuación (2.13).

Además, se debe resaltar que la turbina eólica empieza a generar energía eléctrica con un flujo de viento alrededor de 3.00 m/s.

**Tabla B – 5**

*Potencia en base a la función probabilística del mes de enero NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	0.87	0.0014	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	1.45	0.0162	6	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.0805	30	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.2496	93	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.5184	193	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.6574	245	10236.94
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.3983	148	9528.74
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.0758	28	5972.14
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.0024	1	298.30
<b>Total</b>				<b>744</b>	<b>26036.12</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 6**

*Potencia en base a la función acumulativa del mes de enero NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
0.75	0.87	0.0002	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	1.45	0.0035	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.03	0.0245	0.00	0.02	0.00	0.00
2.25	2.61	0.1017	0.00	0.08	0.00	0.00
2.75	3.19	0.2921	0.00	0.19	0.00	0.00
3.25	3.77	0.5994	26.82	0.31	20.93	4785.75
3.75	4.35	0.8784	41.20	0.28	53.08	11018.06
4.25	4.93	0.9874	135.71	0.11	138.07	11192.96
4.75	5.51	0.9998	213.85	0.01	272.82	2518.07
<b>Total</b>			<b>651.80</b>	<b>1.00</b>	<b>484.90</b>	<b>29514.83</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 7***Potencia en base a la función probabilística del mes de febrero NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	0.87	0.0020	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	1.45	0.0217	7	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.1020	34	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.2982	100	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.5722	192	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.6404	215	9007.04
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.3180	107	6871.06
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.0446	15	3174.51
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.0009	0	101.82
<b>Total</b>				<b>672</b>	<b>19154.43</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 8***Potencia en base a la función acumulativa del mes de febrero NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
0.75	0.87	0.0003	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	1.45	0.0048	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.03	0.0319	0.00	0.03	0.00	0.00
2.25	2.61	0.1265	0.00	0.09	0.00	0.00
2.75	3.19	0.3448	0.00	0.22	0.00	0.00
3.25	3.77	0.6645	41.86	0.32	20.93	4496.22
3.75	4.35	0.9147	64.31	0.25	53.08	8926.58
4.25	4.93	0.9933	211.83	0.08	138.07	7295.16
4.75	5.51	0.9999	333.80	0.01	272.82	1205.99
<b>Total</b>			<b>651.80</b>	<b>1.00</b>	<b>484.90</b>	<b>21923.95</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 9***Potencia en base a la función probabilística del mes de marzo NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.00 - 0.50]	0.25	0.29	0.0013	0	0.00
[0.50 - 1.00]	0.75	0.87	0.0271	10	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	1.45	0.1071	40	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.2460	92	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.4000	149	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.4765	177	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.4055	151	6315.06
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.2332	87	5577.80
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.0839	31	6614.75
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.0173	6	2144.41
[5.00 - 5.50]	5.25	6.09	0.0018	1	306.75
<b>Total</b>				<b>744</b>	<b>20958.76</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 10***Potencia en base a la función acumulativa del mes de marzo NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
0.25	0.29	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75	0.87	0.0054	0.00	0.01	0.00	0.00
1.25	1.45	0.0364	0.00	0.03	0.00	0.00
1.75	2.03	0.1226	0.00	0.09	0.00	0.00
2.25	2.61	0.2852	0.00	0.16	0.00	0.00
2.75	3.19	0.5097	0.00	0.22	0.00	0.00
3.25	3.77	0.7364	41.86	0.23	20.93	3530.97
3.75	4.35	0.8977	64.31	0.16	53.08	6372.14
4.25	4.93	0.9739	211.83	0.08	138.07	7823.62
4.75	5.51	0.9960	333.80	0.02	272.82	4493.54
5.25	6.09	0.9997	450.70	0.00	392.25	1060.89
<b>Total</b>			<b>1102.50</b>	<b>0.96</b>	<b>877.15</b>	<b>23281.15</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 11**

*Potencia en base a la función probabilística del mes de abril NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	0.87	0.0043	2	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	1.45	0.0287	10	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.0973	35	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.2275	82	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.3955	142	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.5038	181	7592.70
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.4386	158	10153.64
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.2325	84	17727.56
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.0640	23	7693.85
<b>Total</b>				<b>720</b>	<b>44383.02</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 12**

*Potencia en base a la función acumulativa del mes de abril NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
0.75	0.87	0.0007	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	1.45	0.0076	0.00	0.01	0.00	0.00
1.75	2.03	0.0367	0.00	0.03	0.00	0.00
2.25	2.61	0.1154	0.00	0.08	0.00	0.00
2.75	3.19	0.2710	0.00	0.16	0.00	0.00
3.25	3.77	0.5011	41.86	0.23	20.93	3468.01
3.75	4.35	0.7450	64.31	0.24	53.08	9319.85
4.25	4.93	0.9151	211.83	0.17	138.07	16916.96
4.75	5.51	0.9845	333.80	0.07	272.82	13632.00
<b>Total</b>			<b>1102.50</b>	<b>1.00</b>	<b>877.15</b>	<b>47348.72</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 13***Potencia en base a la función probabilística del mes de mayo NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0039	1	2.25
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.0291	11	2.75
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.1505	56	3.25
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.5314	198	3.75
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.9533	355	4.25
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.3281	122	4.75
[5.00 - 5.50]	5.25	6.09	0.0017	1	5.25
<b>Total</b>				<b>743</b>	<b>131199.87</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 14***Potencia en base a la función acumulativa del mes de mayo NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
2.25	2.61	0.0008	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0073	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	3.77	0.0452	41.86	0.04	20.93	591.08
3.75	4.35	0.2019	64.31	0.16	53.08	6188.89
4.25	4.93	0.5940	211.83	0.39	138.07	40280.38
4.75	5.51	0.9544	333.80	0.36	272.82	73147.90
5.25	6.09	0.9999	450.70	0.05	392.25	13278.53
<b>Total</b>			<b>1102.50</b>	<b>1.00</b>	<b>877.15</b>	<b>133486.77</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 15***Potencia en base a la función probabilística del mes de junio NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.0047	2	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0270	10	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.1064	38	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.3076	111	4635.50
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.6140	221	14215.04
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.6755	243	51514.09
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.2514	91	30215.38
[5.00 - 5.50]	5.25	6.09	0.0129	5	2085.99
<b>Total</b>				<b>720</b>	<b>102665.99</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 16***Potencia en base a la función acumulativa del mes de junio NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.75	2.03	0.0010	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	2.61	0.0076	0.00	0.01	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0373	0.00	0.03	0.00	0.00
3.25	3.77	0.1346	41.86	0.10	20.93	1465.91
3.75	4.35	0.3647	64.31	0.23	53.08	8792.49
4.25	4.93	0.7086	211.83	0.34	138.07	34191.50
4.75	5.51	0.9502	333.80	0.24	272.82	47446.41
5.25	6.09	0.9987	450.70	0.05	392.25	13720.05
<b>Total</b>			<b>1102.50</b>	<b>1.00</b>	<b>877.15</b>	<b>105616.36</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 17**

*Potencia en base a la función probabilística del mes de julio NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0046	2	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.0394	15	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.2224	83	3463.05
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.7724	287	18477.92
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.9144	340	72055.54
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.0512	19	6363.64
<b>Total</b>				<b>746</b>	<b>100360.15</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 18**

*Potencia en base a la función acumulativa del mes de julio NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
2.25	2.61	0.0009	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0093	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	3.77	0.0639	41.86	0.05	20.93	849.55
3.75	4.35	0.2967	64.31	0.23	53.08	9197.83
4.25	4.93	0.7819	211.83	0.49	138.07	49831.54
4.75	5.51	0.9963	333.80	0.21	272.82	43524.31
<b>Total</b>			<b>651.80</b>	<b>1.00</b>	<b>484.90</b>	<b>103403.23</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 19***Potencia en base a la función probabilística del mes de agosto NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0021	1	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.0303	11	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.2634	98	4101.48
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	1.1480	427	27462.92
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.5187	193	40871.04
<b>Total</b>				<b>730</b>	<b>72438.26</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 20***Potencia en base a la función acumulativa del mes de agosto NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
2.25	2.61	0.0003	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0058	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	3.77	0.0619	41.86	0.06	20.93	872.14
3.75	4.35	0.3895	64.31	0.33	53.08	12939.95
4.25	4.93	0.9477	211.83	0.56	138.07	57344.34
<b>Total</b>			<b>651.80</b>	<b>1.00</b>	<b>484.90</b>	<b>81764.58</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 21***Potencia en base a la función probabilística del mes de septiembre NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0027	1	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.0246	9	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.1493	54	2249.45
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.5957	214	13790.19
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	1.0387	374	79214.96
<b>Total</b>				<b>717</b>	<b>117045.80</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 22***Potencia en base a la función acumulativa del mes de septiembre NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
2.25	2.61	0.0005	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0056	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	3.77	0.0412	41.86	0.04	20.93	536.27
3.75	4.35	0.2095	64.31	0.17	53.08	6431.81
4.25	4.93	0.6530	211.83	0.44	138.07	44084.73
<b>Total</b>			<b>651.80</b>	<b>0.98</b>	<b>484.90</b>	<b>115726.87</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 23***Potencia en base a la función probabilística del mes de octubre NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.0039	1	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0211	8	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.0804	30	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.2307	86	3592.74
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.4888	182	11694.07
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.6667	248	52538.37
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.4312	160	53538.74
[5.00 - 5.50]	5.25	6.09	0.0754	28	12646.88
[5.50 - 6.00]	5.75	6.67	0.0014	1	322.74
<b>Total</b>				<b>744</b>	<b>134333.53</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 24***Potencia en base a la función acumulativa del mes de octubre NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.75	2.03	0.0009	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	2.61	0.0061	0.00	0.01	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0288	0.00	0.02	0.00	0.00
3.25	3.77	0.1017	41.86	0.07	20.93	1135.40
3.75	4.35	0.2787	64.31	0.18	53.08	6987.58
4.25	4.93	0.5789	211.83	0.30	138.07	30843.91
4.75	5.51	0.8719	333.80	0.29	272.82	59466.90
5.25	6.09	0.9886	450.70	0.12	392.25	34065.78
5.75	6.67	0.9999	622.82	0.01	536.76	4495.42
<b>Total</b>			<b>1725.32</b>	<b>1.00</b>	<b>1413.91</b>	<b>136994.99</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 25***Potencia en base a la función probabilística del mes de noviembre NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0065	2	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.0439	16	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.2063	74	3109.08
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.6406	231	14828.88
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.9066	326	69140.14
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.1925	69	23135.92
<b>Total</b>				<b>719</b>	<b>110214.01</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 26***Potencia en base a la función acumulativa del mes de noviembre NASA Power*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
2.25	2.61	0.0014	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	3.19	0.0115	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	3.77	0.0654	41.86	0.05	20.93	813.65
3.75	4.35	0.2655	64.31	0.20	53.08	7644.40
4.25	4.93	0.6873	211.83	0.42	138.07	41940.36
4.75	5.51	0.9772	333.80	0.29	272.82	56930.72
<b>Total</b>			<b>651.80</b>	<b>1.00</b>	<b>651.80</b>	<b>110069.72</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 27***Potencia en base a la función probabilística del mes de diciembre NASA Power*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[1.00 - 1.50]	1.25	1.45	0.0057	2	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.03	0.0274	10	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	2.61	0.0860	32	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	3.19	0.2032	76	0.00
[3.00 - 3.50]	3.25	3.77	0.3721	138	5794.76
[3.50 - 4.00]	3.75	4.35	0.5087	189	12170.20
[4.00 - 4.50]	4.25	4.93	0.4723	176	37220.18
[4.50 - 5.00]	4.75	5.51	0.2547	95	31630.72
[5.00 - 5.50]	5.25	6.09	0.0637	24	10676.69
[5.50 - 6.00]	5.75	6.67	0.0054	2	1259.01
<b>Total</b>				<b>744</b>	<b>98751.55</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 28***Potencia en base a la función acumulativa del mes de diciembre NASA Power*

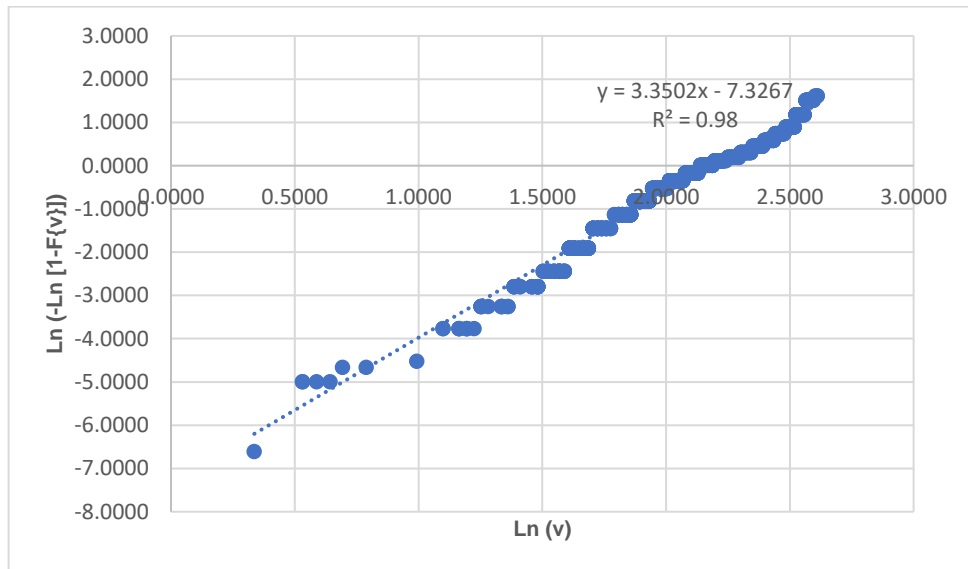
Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	1.45	0.0013	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.03	0.0085	0.00	0.01	0.00	0.00
2.25	2.61	0.0348	0.00	0.03	0.00	0.00
2.75	3.19	0.1044	0.00	0.07	0.00	0.00
3.25	3.77	0.2471	41.86	0.14	20.93	2222.01
3.75	4.35	0.4716	64.31	0.22	53.08	8867.45
4.25	4.93	0.7262	211.83	0.25	138.07	26155.93
4.75	5.51	0.9121	333.80	0.19	272.82	37722.15
5.25	6.09	0.9862	450.70	0.07	392.25	21636.46
5.75	6.67	0.9992	622.82	0.01	536.76	5198.74
<b>Total</b>			<b>1725.32</b>	<b>1.00</b>	<b>1413.91</b>	<b>101802.75</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

En base a la recopilación de 5756 mediciones en el lugar de estudio a 10 metros de altura, se inicia el tratamiento estadístico. Donde, en la Figura B – 29, se observa la tendencia en el mes de enero para un flujo de promedio de 8.28 m/s.

**Figura B – 29**

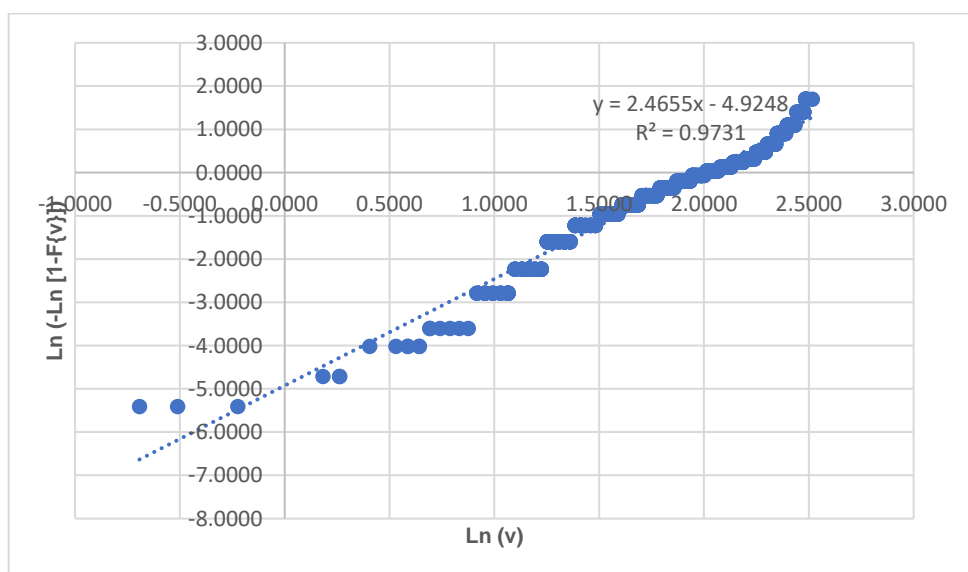
*Tendencia resultante de los datos medidos en enero*



De igual forma, en la Figura B – 30 se puede apreciar la tendencia de los datos para el mes de febrero con una velocidad del viento promedio de 6.82 m/s.

**Figura B – 30**

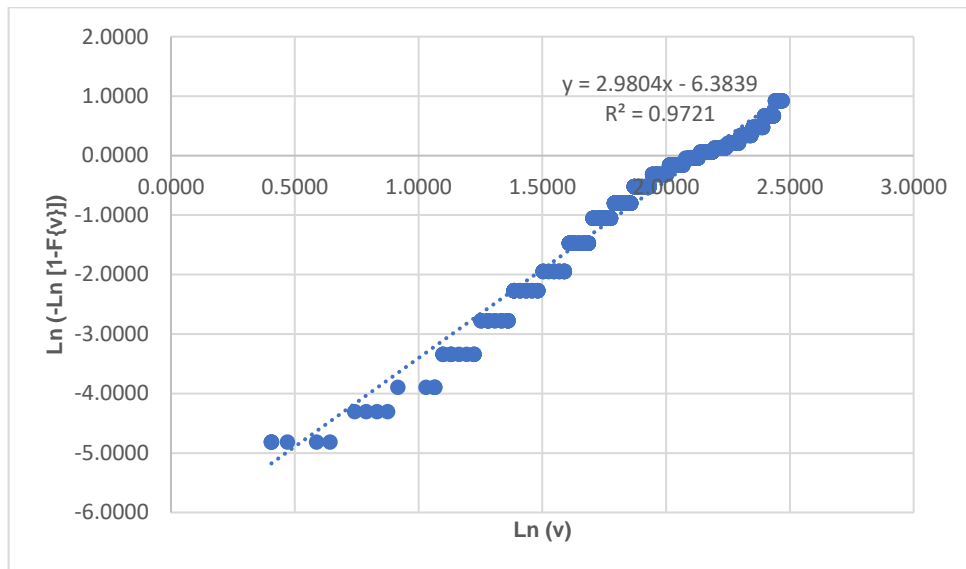
*Tendencia resultante de los datos medidos en febrero*



Asimismo, en la Figura B – 31 se puede observar la tendencia de los datos durante el mes de marzo, obteniendo un promedio del flujo de viento de 7.85 m/s.

### Figura B – 31

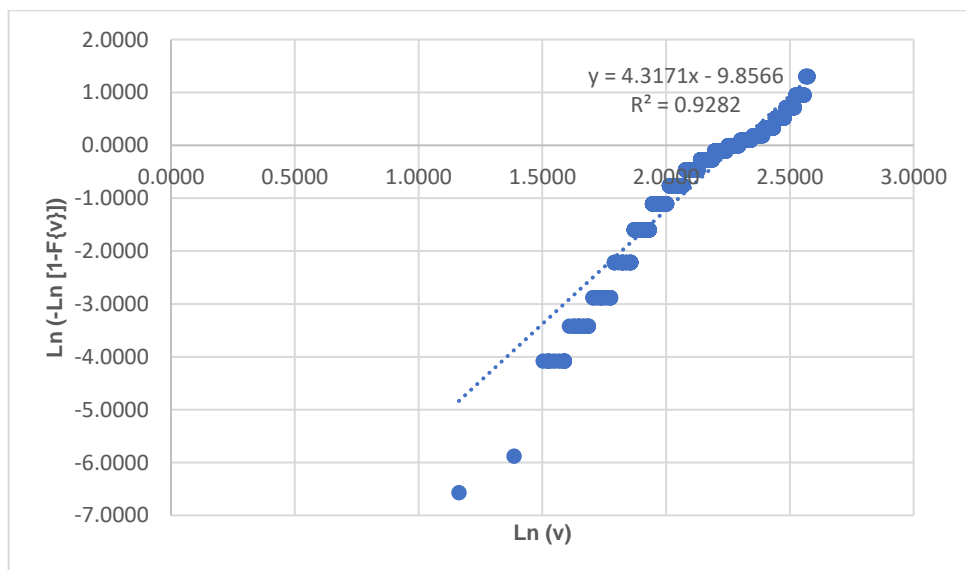
*Tendencia resultante de los datos medidos en marzo*



Además, en la Figura B – 32 se puede apreciar la tendencia de los datos durante el mes de abril con un promedio del flujo de viento de 9.26 m/s.

### Figura B – 32

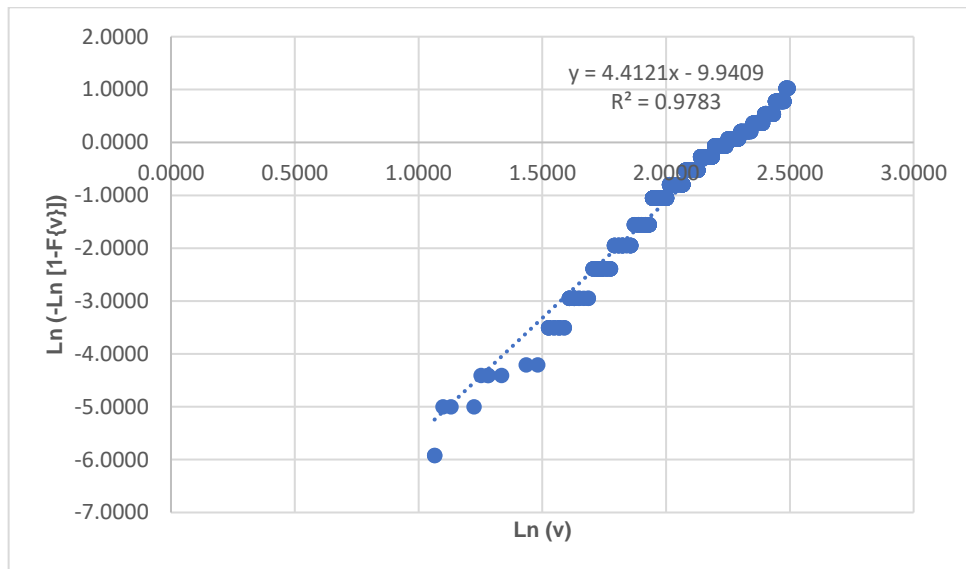
*Tendencia resultante de los datos medidos en abril*



Adicionalmente, en la Figura B – 33 se puede visualizar la tendencia de los datos durante el mes de mayo, en base a un flujo de viento promedio de 8.94 m/s.

### Figura B – 33

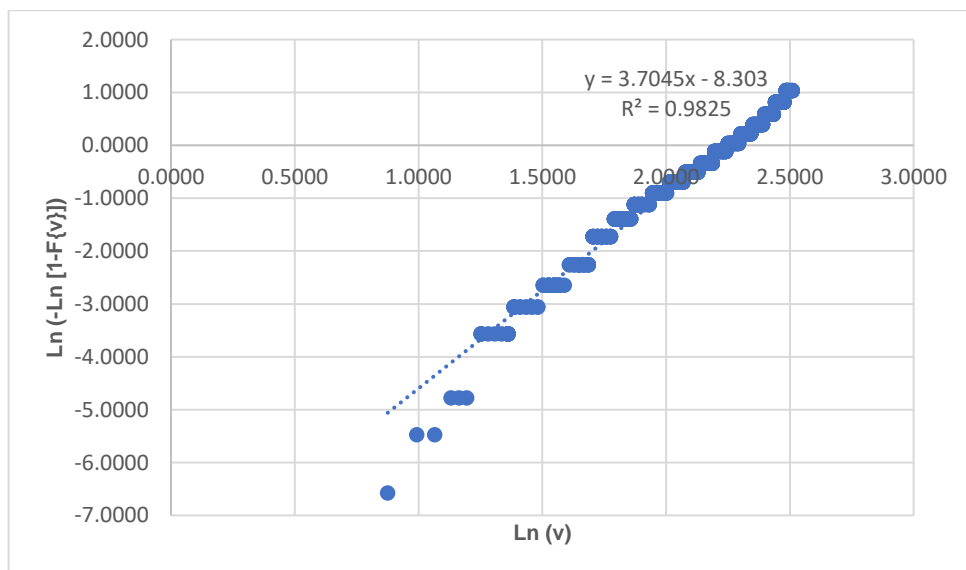
*Tendencia resultante de los datos medidos en mayo*



Igualmente, en la Figura B – 34 se visualiza la tendencia de los datos durante el mes de junio con una velocidad promedio de 8.75 m/s.

### Figura B – 34

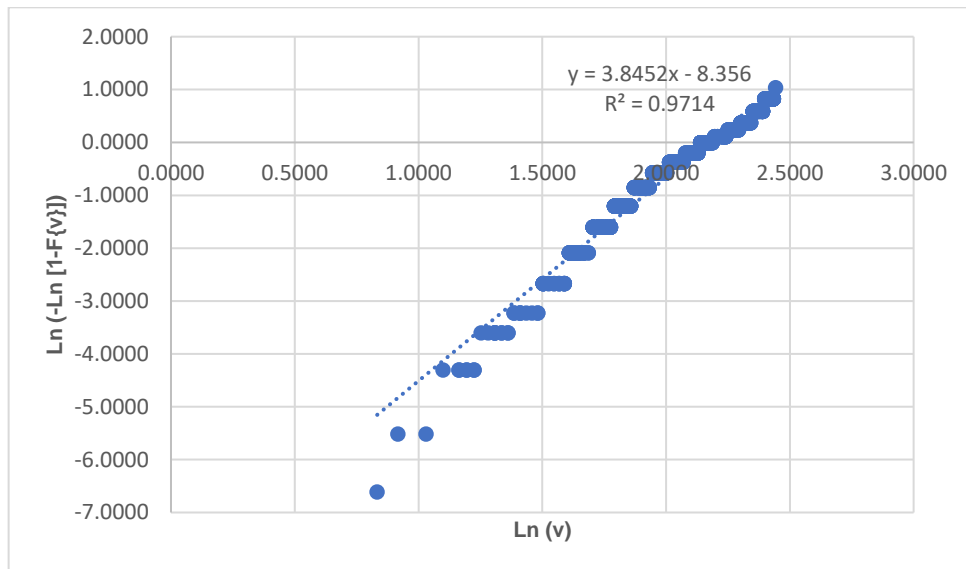
*Tendencia resultante de los datos medidos en junio*



En la Figura B – 35, se puede apreciar la tendencia recta pendiente de los datos recopilados en el mes de julio con una velocidad promedio del flujo de 8.21 m/s.

### Figura B – 35

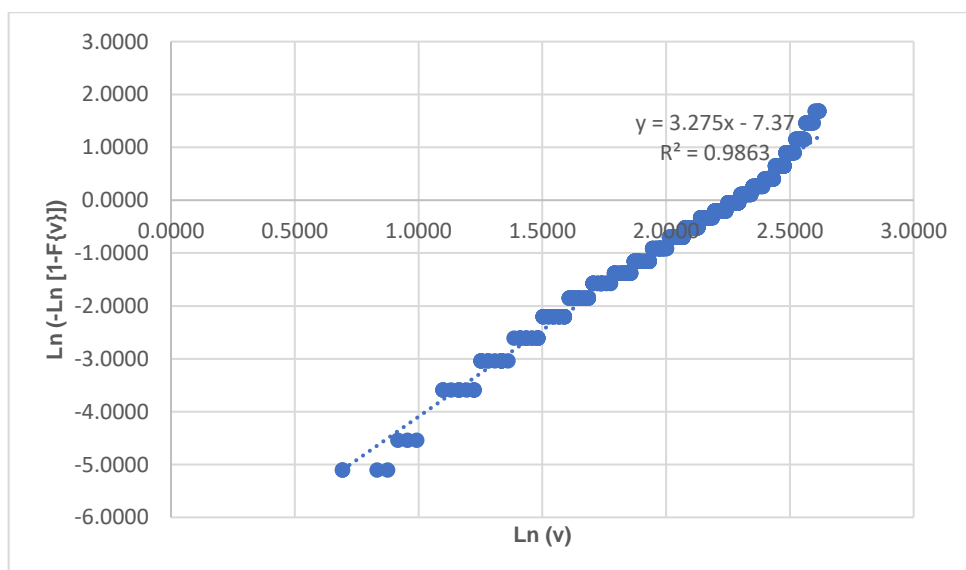
*Tendencia resultante de los datos medidos en julio*



En la Figura B – 36, se puede visualizar la tendencia de los datos recopilados durante el mes de agosto con una velocidad promedio de 8.86 m/s.

### Figura B – 36

*Tendencia resultante de los datos medidos en agosto*



A continuación, se muestran los cuadros resúmenes de la cantidad de energía saliente por cada turbina, en base a las mediciones recolectadas.

**Tabla B – 37**

*Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de enero*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0037	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0082	3	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0147	5	105.12
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0233	9	609.28
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0340	13	3534.88
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0466	17	7892.86
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0607	23	15761.77
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.0759	28	28215.30
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.0915	34	46006.22
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.1067	40	70583.36
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.1205	45	95665.08
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1320	49	113187.57
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1403	52	122524.47
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1448	54	138948.95
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1449	54	133178.21
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1406	52	124429.67
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1321	49	124807.47
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.1202	45	109525.62
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.1056	39	101977.96
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.0896	33	83633.74
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.0732	27	66315.12
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0576	21	54847.08
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0435	16	40249.12
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0315	12	0.00
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0218	8	0.00
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0145	5	0.00
<b>Total</b>				<b>739</b>	<b>1481998.83</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 38***Potencia según la función acumulada para las mediciones de enero*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0014	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0043	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0099	19.27	0.01	9.63	40.29
2.75	4.4825	0.0193	70.36	0.01	44.82	313.33
3.25	5.2975	0.0335	279.74	0.01	175.05	1852.95
3.75	6.1125	0.0536	455.70	0.02	367.72	5487.73
4.25	6.9275	0.0803	697.86	0.03	576.78	11484.56
4.75	7.7425	0.1145	998.98	0.03	848.42	21542.92
5.25	8.5575	0.1563	1351.37	0.04	1175.17	36600.01
5.75	9.3725	0.2059	1778.77	0.05	1565.07	57735.39
6.25	10.1875	0.2628	2134.71	0.06	1956.74	82778.35
6.75	11.0025	0.3260	2305.57	0.06	2220.14	104433.13
7.25	11.8175	0.3942	2347.55	0.07	2326.56	118080.61
7.75	12.6325	0.4657	2580.35	0.07	2463.95	130957.82
8.25	13.4475	0.5383	2470.95	0.07	2525.65	136412.64
8.75	14.2625	0.6098	2379.16	0.07	2425.05	129095.00
9.25	15.0775	0.6781	2538.95	0.07	2459.05	125041.29
9.75	15.8925	0.7414	2449.95	0.06	2494.45	117307.15
10.25	16.7075	0.7979	2595.51	0.06	2522.73	106109.59
10.75	17.5225	0.8467	2509.66	0.05	2552.58	92748.82
11.25	18.3375	0.8874	2434.70	0.04	2472.18	74842.89
11.75	19.1525	0.9201	2560.68	0.03	2497.69	60672.47
12.25	19.9675	0.9453	2487.83	0.03	2524.26	47305.44
12.75	20.7825	0.9639	0.00	0.02	1243.92	17262.45
13.25	21.5975	0.9771	0.00	0.01	0.00	0.00
13.75	22.4125	0.9861	0.00	0.01	0.00	0.00
14.25	23.2275	0.9919	0.00	0.01	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>1478104.83</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 39***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de febrero*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0024	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0118	4	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0246	8	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0396	13	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0558	19	361.29
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0723	24	1709.75
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0883	30	8298.83
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.1029	35	15756.53
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.1154	39	27064.81
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.1252	42	42034.82
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.1319	44	59880.57
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1351	45	80749.91
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1349	45	96744.58
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1314	44	101759.54
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1249	42	98515.90
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1160	39	100573.46
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1053	35	87409.18
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.0934	31	74657.62
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.0810	27	69084.78
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.0686	23	56506.27
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.0569	19	49601.81
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0461	15	38843.13
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0365	12	29827.12
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0282	9	24264.16
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0213	7	17814.69
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0157	5	0.00
<b>Total</b>				<b>669</b>	<b>1081458.75</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 40***Potencia según la función acumulada para las mediciones de febrero*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0002	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0036	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0126	0.00	0.01	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0285	0.00	0.02	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0524	19.27	0.02	9.63	154.22
3.75	6.1125	0.0844	70.36	0.03	44.82	964.78
4.25	6.9275	0.1246	279.74	0.04	175.05	4728.05
4.75	7.7425	0.1725	455.70	0.05	367.72	11829.64
5.25	8.5575	0.2271	697.86	0.05	576.78	21195.28
5.75	9.3725	0.2874	998.98	0.06	848.42	34372.29
6.25	10.1875	0.3518	1351.37	0.06	1175.17	50870.41
6.75	11.0025	0.4187	1778.77	0.07	1565.07	70351.61
7.25	11.8175	0.4864	2134.71	0.07	1956.74	88941.09
7.75	12.6325	0.5531	2305.57	0.07	2220.14	99498.31
8.25	13.4475	0.6172	2347.55	0.06	2326.56	100337.05
8.75	14.2625	0.6776	2580.35	0.06	2463.95	99866.49
9.25	15.0775	0.7329	2470.95	0.06	2525.65	93998.95
9.75	15.8925	0.7826	2379.16	0.05	2425.05	80998.70
10.25	16.7075	0.8263	2538.95	0.04	2459.05	72052.26
10.75	17.5225	0.8636	2449.95	0.04	2494.45	62679.42
11.25	18.3375	0.8950	2595.51	0.03	2522.73	53142.42
11.75	19.1525	0.9207	2509.66	0.03	2552.58	44065.50
12.25	19.9675	0.9413	2434.70	0.02	2472.18	34184.81
12.75	20.7825	0.9574	2560.68	0.02	2497.69	27036.91
13.25	21.5975	0.9697	2487.83	0.01	2524.26	20901.60
13.75	22.4125	0.9789	0.00	0.01	1243.92	7697.50
14.25	23.2275	0.9856	0.00	0.01	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>1079867.30</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 41***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de marzo*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0003	0	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0028	1	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0078	3	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0151	6	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0246	9	96.48
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0360	13	468.79
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0490	18	2355.29
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.0631	23	4669.38
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.0778	29	8453.23
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.0923	34	13974.50
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.1059	39	21411.13
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1178	44	31394.54
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1273	47	41364.98
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1338	50	48417.88
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1369	51	52805.36
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1364	51	61502.38
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1323	49	61783.25
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.1249	46	61819.86
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.1147	43	67947.39
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.1025	38	66953.98
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.0890	33	71840.83
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0751	28	69796.70
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0614	23	67511.13
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0488	18	70260.29
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0375	14	67046.75
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0280	10	0.00
<b>Total</b>				<b>741</b>	<b>1395831.39</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 42***Potencia según la función acumulada para las mediciones de marzo*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulada	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0007	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0033	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0089	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0187	19.27	0.01	9.63	70.45
3.75	6.1125	0.0338	70.36	0.02	44.82	502.45
4.25	6.9275	0.0550	279.74	0.02	175.05	2760.79
4.75	7.7425	0.0830	455.70	0.03	367.72	7662.36
5.25	8.5575	0.1182	697.86	0.04	576.78	15118.32
5.75	9.3725	0.1608	998.98	0.04	848.42	26857.19
6.25	10.1875	0.2104	1351.37	0.05	1175.17	43365.41
6.75	11.0025	0.2664	1778.77	0.06	1565.07	65210.32
7.25	11.8175	0.3278	2134.71	0.06	1956.74	89370.85
7.75	12.6325	0.3932	2305.57	0.07	2220.14	108066.58
8.25	13.4475	0.4610	2347.55	0.07	2326.56	117440.72
8.75	14.2625	0.5295	2580.35	0.07	2463.95	125565.29
9.25	15.0775	0.5969	2470.95	0.07	2525.65	126515.65
9.75	15.8925	0.6613	2379.16	0.06	2425.05	116247.50
10.25	16.7075	0.7213	2538.95	0.06	2459.05	109788.62
10.75	17.5225	0.7757	2449.95	0.05	2494.45	100912.16
11.25	18.3375	0.8236	2595.51	0.05	2522.73	89916.58
11.75	19.1525	0.8646	2509.66	0.04	2552.58	77893.15
12.25	19.9675	0.8987	2434.70	0.03	2472.18	62718.58
12.75	20.7825	0.9262	2560.68	0.03	2497.69	51117.59
13.25	21.5975	0.9477	2487.83	0.02	2524.26	40406.19
13.75	22.4125	0.9640	0.00	0.02	1243.92	15086.44
14.25	23.2275	0.9760	0.00	0.01	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>1392593.18</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 43***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de abril*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.41	0.0000	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	1.22	0.0001	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	2.04	0.0005	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	2.85	0.0015	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	3.67	0.0033	23.17
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	4.48	0.0065	164.07
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	5.30	0.0112	1129.54
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	6.11	0.0179	2934.71
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	6.93	0.0268	6727.19
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	7.74	0.0381	13690.24
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	8.56	0.0518	25198.05
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	9.37	0.0678	43404.45
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	10.19	0.0856	65759.74
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	11.00	0.1044	86631.44
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	11.82	0.1231	104009.32
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	12.63	0.1402	130261.50
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	13.45	0.1542	137190.83
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	14.26	0.1634	139992.00
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	15.08	0.1665	152216.57
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	15.89	0.1627	143482.50
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	16.71	0.1519	141907.47
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	17.52	0.1350	121970.50
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	18.34	0.1138	99745.90
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	19.15	0.0906	83488.65
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	19.97	0.0677	60648.91
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	20.78	0.0473	0.00
<b>Total</b>				<b>719</b>	<b>1560576.75</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 44***Potencia según la función acumulada para las mediciones de abril*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulativa	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0006	0.00	0.00	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0017	19.27	0.00	9.63	8.00
3.75	6.1125	0.0041	70.36	0.00	44.82	77.27
4.25	6.9275	0.0085	279.74	0.00	175.05	548.19
4.75	7.7425	0.0157	455.70	0.01	367.72	1903.43
5.25	8.5575	0.0267	697.86	0.01	576.78	4596.91
5.75	9.3725	0.0429	998.98	0.02	848.42	9840.30
6.25	10.1875	0.0652	1351.37	0.02	1175.17	18924.38
6.75	11.0025	0.0950	1778.77	0.03	1565.07	33588.37
7.25	11.8175	0.1333	2134.71	0.04	1956.74	53925.83
7.75	12.6325	0.1808	2305.57	0.05	2220.14	75872.05
8.25	13.4475	0.2377	2347.55	0.06	2326.56	95303.86
8.75	14.2625	0.3036	2580.35	0.07	2463.95	116948.07
9.25	15.0775	0.3774	2470.95	0.07	2525.65	134166.36
9.75	15.8925	0.4570	2379.16	0.08	2425.05	139069.89
10.25	16.7075	0.5398	2538.95	0.08	2459.05	146551.40
10.75	17.5225	0.6224	2449.95	0.08	2494.45	148350.78
11.25	18.3375	0.7013	2595.51	0.08	2522.73	143341.98
11.75	19.1525	0.7732	2509.66	0.07	2552.58	132216.88
12.25	19.9675	0.8356	2434.70	0.06	2472.18	110956.11
12.75	20.7825	0.8867	2560.68	0.05	2497.69	91940.89
13.25	21.5975	0.9262	2487.83	0.04	2524.26	71803.53
13.75	22.4125	0.9548	0.00	0.03	1243.92	25635.37
14.25	23.2275	0.9742	0.00	0.02	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>1555569.85</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 45***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de mayo*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0005	0	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0014	1	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0034	1	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0066	2	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0117	4	252.42
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0189	7	1254.13
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0286	11	6659.16
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.0411	15	14152.35
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.0563	21	27566.50
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.0742	28	48880.58
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.0939	35	79683.97
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1147	43	122802.47
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1350	50	167355.56
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1530	57	198638.32
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1667	62	214532.67
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1742	65	240653.50
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1740	65	225465.03
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.1656	62	202779.60
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.1495	56	192105.25
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.1274	47	155609.22
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.1019	38	130141.11
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0762	28	92863.98
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0528	20	61752.48
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0337	13	41065.76
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0197	7	23099.40
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0105	4	0.00
<b>Total</b>				<b>743</b>	<b>2247313.47</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 46***Potencia según la función acumulada para las mediciones de mayo*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulada	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0006	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0017	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0041	0.00	0.00	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0086	58.07	0.00	29.04	97.18
3.75	6.1125	0.0162	178.42	0.01	118.25	663.95
4.25	6.9275	0.0280	625.57	0.01	402.00	3519.37
4.75	7.7425	0.0453	926.12	0.02	775.85	9989.84
5.25	8.5575	0.0695	1315.46	0.02	1120.79	20212.06
5.75	9.3725	0.1020	1772.06	0.03	1543.76	37354.69
6.25	10.1875	0.1440	2280.01	0.04	2026.03	63249.19
6.75	11.0025	0.1961	2877.58	0.05	2578.79	100062.78
7.25	11.8175	0.2586	3332.06	0.06	3104.82	144348.86
7.75	12.6325	0.3308	3489.57	0.07	3410.82	183080.54
8.25	13.4475	0.4109	3459.10	0.08	3474.34	207196.40
8.75	14.2625	0.4965	3713.62	0.09	3586.36	228201.18
9.25	15.0775	0.5839	3482.79	0.09	3598.20	233963.42
9.75	15.8925	0.6691	3291.64	0.09	3387.21	214832.87
10.25	16.7075	0.7482	3454.62	0.08	3373.13	198423.07
10.75	17.5225	0.8176	3283.74	0.07	3369.18	174006.26
11.25	18.3375	0.8750	3431.69	0.06	3357.72	143417.52
11.75	19.1525	0.9195	3277.19	0.04	3354.44	111012.57
12.25	19.9675	0.9516	3143.37	0.03	3210.28	76664.51
12.75	20.7825	0.9730	3271.69	0.02	3207.53	51150.84
13.25	21.5975	0.9862	3148.19	0.01	3209.94	31416.89
13.75	22.4125	0.9935	0.00	0.01	1574.09	8626.94
14.25	23.2275	0.9973	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>2241490.94</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 47***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de junio*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0017	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0042	2	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0082	3	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0140	5	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0218	8	456.40
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0317	11	2035.96
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0436	16	9816.11
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.0573	21	19104.89
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.0725	26	34313.39
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.0885	32	56433.04
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.1045	38	85792.80
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1197	43	123980.63
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1329	48	159377.44
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1430	51	179642.61
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1491	54	185701.01
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1505	54	201252.51
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1469	53	184200.42
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.1384	50	164003.40
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.1256	45	156243.45
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.1097	39	129644.20
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.0919	33	113489.89
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0737	27	86911.95
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0564	20	63838.74
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0411	15	48463.05
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0285	10	32306.15
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0187	7	0.00
<b>Total</b>				<b>719</b>	<b>2037008.04</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 48***Potencia según la función acumulada para las mediciones de junio*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulada	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0006	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0020	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0050	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0105	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0194	58.07	0.01	29.04	185.64
3.75	6.1125	0.0327	178.42	0.01	118.25	1131.97
4.25	6.9275	0.0514	625.57	0.02	402.00	5423.94
4.75	7.7425	0.0765	926.12	0.03	775.85	14050.67
5.25	8.5575	0.1089	1315.46	0.03	1120.79	26138.35
5.75	9.3725	0.1491	1772.06	0.04	1543.76	44692.91
6.25	10.1875	0.1974	2280.01	0.05	2026.03	70402.74
6.75	11.0025	0.2535	2877.58	0.06	2578.79	104181.91
7.25	11.8175	0.3168	3332.06	0.06	3104.82	141374.55
7.75	12.6325	0.3859	3489.57	0.07	3410.82	169731.04
8.25	13.4475	0.4591	3459.10	0.07	3474.34	183149.36
8.75	14.2625	0.5342	3713.62	0.08	3586.36	193977.41
9.25	15.0775	0.6088	3482.79	0.07	3598.20	193196.64
9.75	15.8925	0.6803	3291.64	0.07	3387.21	174429.01
10.25	16.7075	0.7465	3454.62	0.07	3373.13	160694.62
10.75	17.5225	0.8054	3283.74	0.06	3369.18	142956.54
11.25	18.3375	0.8558	3431.69	0.05	3357.72	121916.47
11.75	19.1525	0.8972	3277.19	0.04	3354.44	99916.22
12.25	19.9675	0.9297	3143.37	0.03	3210.28	75020.01
12.75	20.7825	0.9540	3271.69	0.02	3207.53	56097.68
13.25	21.5975	0.9712	3148.19	0.02	3209.94	39973.74
13.75	22.4125	0.9829	0.00	0.01	1574.09	13242.33
14.25	23.2275	0.9904	0.00	0.01	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>2031883.73</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 49***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de julio*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0017	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0044	2	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0090	3	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0159	6	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0253	9	546.27
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0374	14	2481.66
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0521	19	12135.69
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.0693	26	23860.94
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.0881	33	43113.05
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.1077	40	71006.70
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.1268	47	107553.29
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1438	54	153968.01
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1571	58	194788.59
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1652	61	214474.20
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1669	62	214756.61
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1616	60	223307.96
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1497	56	194014.44
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.1323	49	162021.62
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.1112	41	142857.19
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.0885	33	108095.13
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.0665	25	84892.03
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0470	17	57285.37
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0311	12	36354.45
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0192	7	23338.21
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0110	4	12852.36
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0058	2	0.00
<b>Total</b>				<b>744</b>	<b>2159160.37</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

**Tabla B – 50***Potencia según la función acumulada para las mediciones de julio*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulada	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0006	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0020	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0053	0.00	0.00	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0114	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0216	58.07	0.01	29.04	219.96
3.75	6.1125	0.0372	178.42	0.02	118.25	1368.53
4.25	6.9275	0.0594	625.57	0.02	402.00	6663.06
4.75	7.7425	0.0897	926.12	0.03	775.85	17469.47
5.25	8.5575	0.1290	1315.46	0.04	1120.79	32759.01
5.75	9.3725	0.1779	1772.06	0.05	1543.76	56218.39
6.25	10.1875	0.2366	2280.01	0.06	2026.03	88457.13
6.75	11.0025	0.3044	2877.58	0.07	2578.79	130045.31
7.25	11.8175	0.3798	3332.06	0.08	3104.82	174250.78
7.75	12.6325	0.4607	3489.57	0.08	3410.82	205138.36
8.25	13.4475	0.5440	3459.10	0.08	3474.34	215352.01
8.75	14.2625	0.6264	3713.62	0.08	3586.36	219928.36
9.25	15.0775	0.7045	3482.79	0.08	3598.20	209101.79
9.75	15.8925	0.7752	3291.64	0.07	3387.21	178205.33
10.25	16.7075	0.8362	3454.62	0.06	3373.13	153037.97
10.75	17.5225	0.8861	3283.74	0.05	3369.18	125155.35
11.25	18.3375	0.9248	3431.69	0.04	3357.72	96620.72
11.75	19.1525	0.9531	3277.19	0.03	3354.44	70477.25
12.25	19.9675	0.9724	3143.37	0.02	3210.28	46230.65
12.75	20.7825	0.9848	3271.69	0.01	3207.53	29595.81
13.25	21.5975	0.9922	3148.19	0.01	3209.94	17660.71
13.75	22.4125	0.9963	0.00	0.00	1574.09	4783.55
14.25	23.2275	0.9984	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>2078739.51</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Tabla B – 51***Potencia según la densidad probabilística para las mediciones de agosto*

Rango (m/s)	Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función probabilística	Horas de ocurrencia	Potencia saliente (kWh)
[0.50 - 1.00]	0.75	1.22	0.0036	1	0.00
[1.00 - 1.50]	1.25	2.04	0.0078	3	0.00
[1.50 - 2.00]	1.75	2.85	0.0137	5	0.00
[2.00 - 2.50]	2.25	3.67	0.0215	8	0.00
[2.50 - 3.00]	2.75	4.48	0.0310	12	669.33
[3.00 - 3.50]	3.25	5.30	0.0421	16	2794.22
[3.50 - 4.00]	3.75	6.11	0.0545	20	12693.90
[4.00 - 4.50]	4.25	6.93	0.0679	25	23404.33
[4.50 - 5.00]	4.75	7.74	0.0817	30	40000.50
[5.00 - 5.50]	5.25	8.56	0.0953	35	62854.71
[5.50 - 6.00]	5.75	9.37	0.1081	40	91651.15
[6.00 - 6.50]	6.25	10.19	0.1191	44	127535.53
[6.50 - 7.00]	6.75	11.00	0.1279	48	158529.42
[7.00 - 7.50]	7.25	11.82	0.1337	50	173575.87
[7.50 - 8.00]	7.75	12.63	0.1361	51	175193.14
[8.00 - 8.50]	8.25	13.45	0.1350	50	186457.58
[8.50 - 9.00]	8.75	14.26	0.1302	48	168699.37
[9.00 - 9.50]	9.25	15.08	0.1222	45	149584.76
[9.50 - 10.00]	9.75	15.89	0.1114	41	143118.77
[10.00 - 10.50]	10.25	16.71	0.0986	37	120397.45
[10.50 - 11.00]	10.75	17.52	0.0846	31	107993.68
[11.00 - 11.50]	11.25	18.34	0.0703	26	85751.15
[11.50 - 12.00]	11.75	19.15	0.0566	21	66172.37
[12.00 - 12.50]	12.25	19.97	0.0440	16	53549.09
[12.50 - 13.00]	12.75	20.78	0.0330	12	38666.12
[13.00 - 13.50]	13.25	21.60	0.0239	9	0.00
<b>Total</b>				<b>744</b>	<b>1989292.45</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.12).

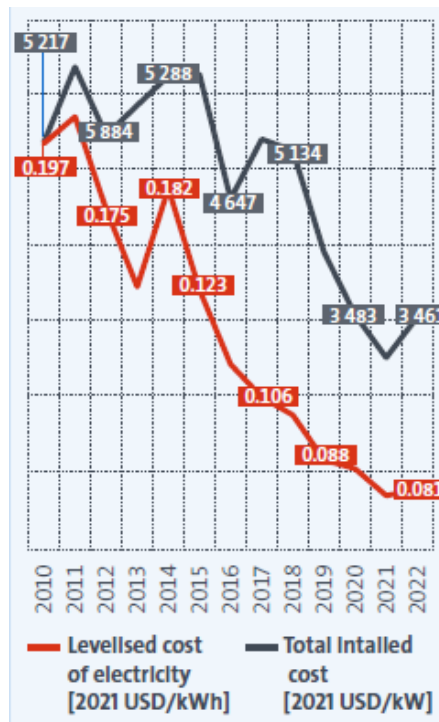
**Tabla B – 52***Potencia según la función acumulada para las mediciones de agosto*

Flujo de viento (m/s)	Viento en el rotor (m/s)	Función acumulada	Potencia total (kW)	$\Delta F_{(i)}$	$\Delta P_{(i)}$	Potencia saliente (kWh)
1.25	2.0375	0.0014	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	2.8525	0.0042	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	3.6675	0.0095	0.00	0.01	0.00	0.00
2.75	4.4825	0.0182	0.00	0.01	0.00	0.00
3.25	5.2975	0.0312	58.07	0.01	29.04	281.77
3.75	6.1125	0.0494	178.42	0.02	118.25	1601.90
4.25	6.9275	0.0736	625.57	0.02	402.00	7211.95
4.75	7.7425	0.1042	926.12	0.03	775.85	17658.10
5.25	8.5575	0.1416	1315.46	0.04	1120.79	31198.01
5.75	9.3725	0.1859	1772.06	0.04	1543.76	50875.58
6.25	10.1875	0.2368	2280.01	0.05	2026.03	76731.80
6.75	11.0025	0.2936	2877.58	0.06	2578.79	109136.41
7.25	11.8175	0.3555	3332.06	0.06	3104.82	142918.07
7.75	12.6325	0.4211	3489.57	0.07	3410.82	166305.23
8.25	13.4475	0.4887	3459.10	0.07	3474.34	174772.90
8.75	14.2625	0.5566	3713.62	0.07	3586.36	181258.72
9.25	15.0775	0.6230	3482.79	0.07	3598.20	177864.93
9.75	15.8925	0.6863	3291.64	0.06	3387.21	159320.11
10.25	16.7075	0.7447	3454.62	0.06	3373.13	146767.06
10.75	17.5225	0.7973	3283.74	0.05	3369.18	131721.53
11.25	18.3375	0.8431	3431.69	0.05	3357.72	114462.77
11.75	19.1525	0.8818	3277.19	0.04	3354.44	96654.11
12.25	19.9675	0.9135	3143.37	0.03	3210.28	75704.50
12.75	20.7825	0.9386	3271.69	0.03	3207.53	59869.53
13.25	21.5975	0.9578	3148.19	0.02	3209.94	45805.67
13.75	22.4125	0.9719	0.00	0.01	1574.09	16565.41
14.25	23.2275	0.9820	0.00	0.01	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>		<b>1984686.07</b>

*Nota.* La tabla resumen muestra la potencia eléctrica útil del aerogenerador para el mes en cuestión mediante la ecuación (2.13).

**Figura B – 53**

*Tendencia de los costos y energía ofertada en los proyectos eólicos*



*Nota.* La figura muestra dos proyecciones, la línea negra muestra el costo para la instalación de turbinas eólicas offshore, pero la línea roja simboliza la oferta de la energía eléctrica generada. Tomado de International Renewable Energy Agency, 2023.

## Anexo 4

Central Eólica Cupisnique (ubicada en el distrito de Cupisnique, provincia de Pacasmayo, región La Libertad, Perú)



### CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE

DENOMINACIÓN	CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE
EMPRESA CONCESIONARIA	ENERGÍA EOLICA S.A.
TECNOLOGÍA	Generación Eólica
UBICACIÓN	La Libertad Pacasmayo Cupisnique 20 msnm
DATOS TÉCNICOS	<p>Potencia Instalada: 80 MW</p> <p>Barra Guadalupe: 220 kV</p> <p>Cantidad de Aerogeneradores: 45 x 1,8 MW (3 en reserva)</p> <p>Potencia de Aerogenerador: 1,8 MW c/u</p> <p>Cantidad de Circuitos de Aerogeneradores: 6 (4 x 12,6 MW, 1 x 14,4 MW y 1 x 16,9 MW)</p> <p>Nivel de Tensión de Transformadores: 0,69/30 kV (2,1 kVA)</p> <p>Factor de Potencia de Generadores: 0,95</p> <p>Factor de Planta: 43%</p>
DATOS DE CONTRATO	<p>Firma de Contrato: 31.03.2010</p> <p>Puesta en Operación (POC): 30.08.2014</p> <p>Energía Anual Ofertada: 302952 MWh</p> <p>Precio de la Energía Ofertada: 8,5 Cts. US\$/kWh</p>
INFORMACIÓN RELEVANTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>La central se encuentra ubicada en la costa peruana, entre los puertos de Malabrigo y Puémape, en las pampas de Cupisnique.</li> <li>La central cuenta con 45 Aerogeneradores de 1,8 MW c/u. dispuestos estratégicamente en 6 Celdas de Transformación de 30 kV.</li> <li>La marca y modelo de los aerogeneradores instalados es VESTAS, modelo V100 de 1,8 MW, el cual posee un rotor a barlovento equipado con tres palas a 120° entre ellas.</li> <li>Dentro de cada aerogenerador, se encuentran la caja multiplicadora, el generador eléctrico, el transformador de baja tensión a media tensión y los equipos de control.</li> <li>Cada aerogenerador V100 de 1,8 MW está provisto de un transformador trifásico tipo seco, con refrigeración forzada por aire, ubicado en la parte trasera de la góndola (sus características principales son: potencia primaria 2.100 kVA, potencia secundaria (690 V) 1900 kVA, potencia secundaria (480 V) 200 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 30 kV y tensión secundaria 690/480 V.)</li> <li>Cada aerogenerador V100 de 1,8 MW está provisto de un transformador trifásico tipo seco, con refrigeración forzada por aire, ubicado en la parte trasera de la góndola (sus características principales son: potencia primaria 2.100 kVA, potencia secundaria (690 V) 1900 kVA, potencia secundaria (480 V) 200 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 30 kV y tensión secundaria 690/480 V.)</li> <li>La torre metálica que soporta al aerogenerador es de 80 m (3 cuerpos).</li> <li>La torre metálica que soporta al aerogenerador es de 80 m (3 cuerpos).</li> <li>El EIA se aprobó mediante R.D. N° 008-2011-MEM/AAE del 07.01.11.</li> <li>Mediante R.S. N° 029-2011-EM del 15.04.11 se otorgó Concesión Definitiva de Generación.</li> <li>Con Carta COES/D/DP-343-2014 del 17.03.2014 se aprobó el Estudio de Operatividad de la C.E. Cupisnique.</li> <li>Las pruebas de comisionamiento se culminaron satisfactoriamente.</li> <li>Con carta COES/D-644-2014, el COES declara fundado el recurso de reconsideración presentado por la concesionaria, señalando que la POC de la central es el 30.08.2014.</li> <li>El monto de inversión aproximado fue de 242 MM US\$</li> </ul>
ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN	



Plano de Ubicación



Vista de los Aerogeneradores montados



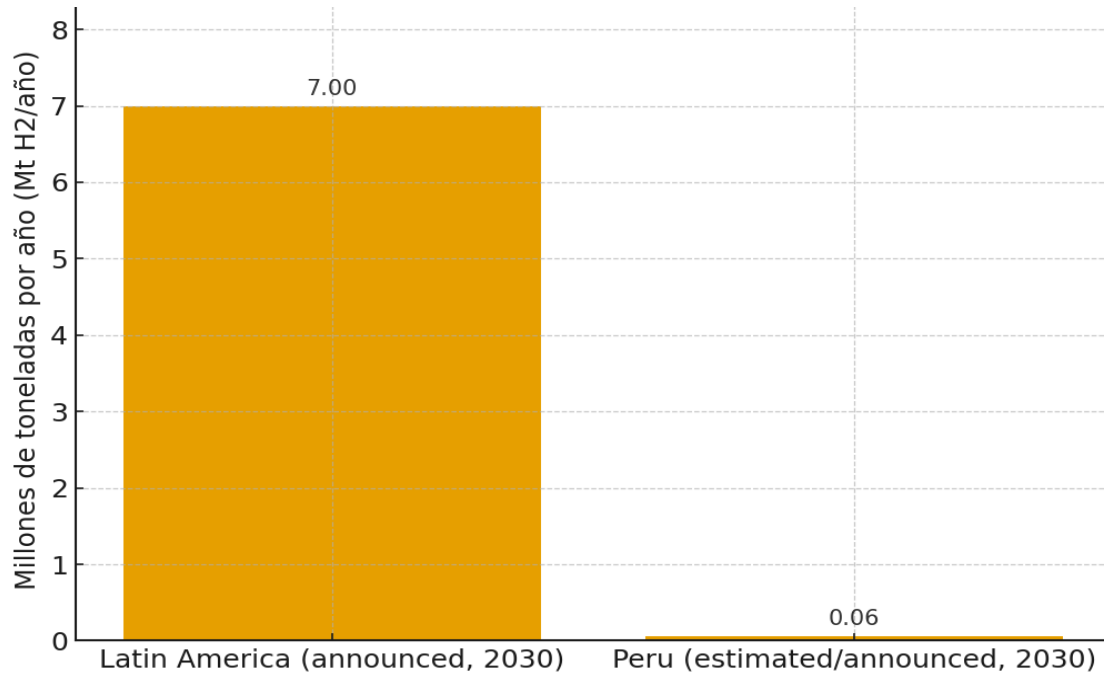
Montaje concluido del Aerogenerador



Pruebas Eléctricas al seccionador de Línea

## Anexo 5

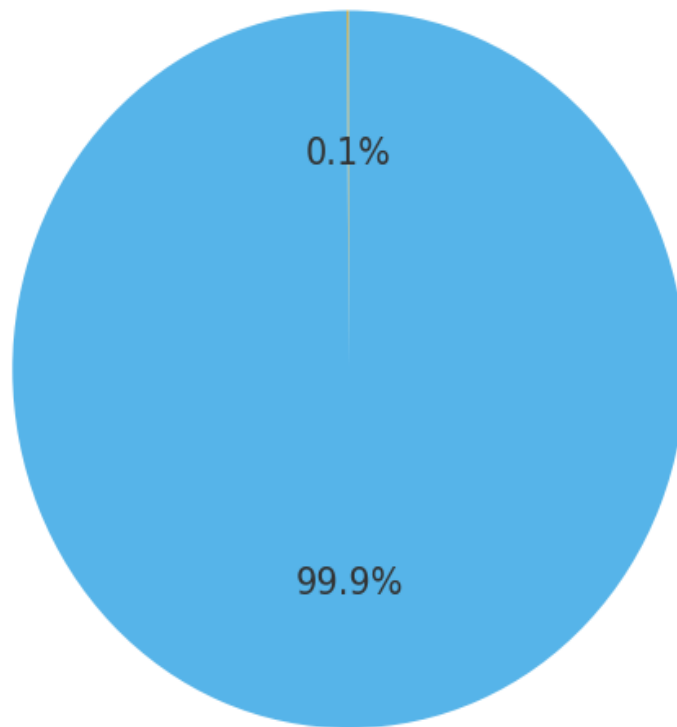
Proyección anunciada de hidrógeno de bajas emisiones (Mt/año) para 2030 — comparación LatAm vs Perú.



Fuente: International Energy Agency (IEA). (2024). *Global Hydrogen Review 2024 (America latina)*. Hydrogen Council — *Hydrogen Insights 2024 (Peru)*  
la barra para **América Latina (anunciada, 2030)** usa la estimación regional recopilada por IEA/Hydrogen Council ( $\approx 7$  Mt/año anunciado para 2030). La barra para **Perú (estimado/anunciado, 2030)** usa estimaciones nacionales y proyectos anunciados

## Anexo 6

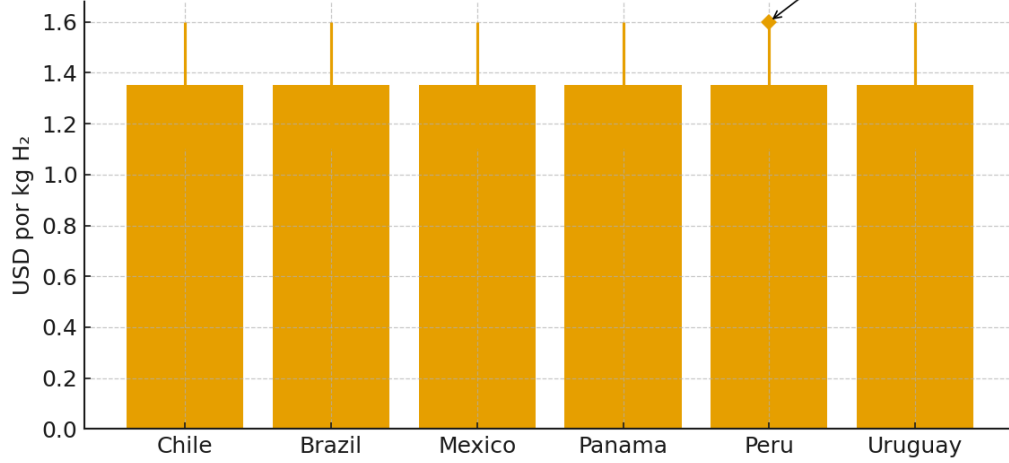
*Estado de proyectos de hidrógeno en América Latina (participación aproximada por etapa).*



según el **IEA (Global Hydrogen Review 2024)** la mayoría de los proyectos anunciados en LAC están aún en etapas tempranas; sólo ~**0.1%** del potencial anunciado está en operación/obra/FID.

El gráfico ilustra este dato (aprox. 0.1% vs 99.9%).

LCOH proyectado (corto plazo) — países seleccionados de América Latina  
(Fuente: OLADE, 2025; nota técnica)



Nivelizado del costo del hidrógeno verde (LCOH) comparación global, regional y Perú.