



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN TURBINAS DE  
BAJA CAPACIDAD MEDIANTE EL MODELAMIENTO Y  
SIMULACIÓN EN LA LOCALIDAD DE SAN FELIPE**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**AUTORES:**

Kevin Alexis Alcaciega Tituaña  
Erick Joel Peralta Pánchez

**TUTOR:**

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina M.Sc

**LATACUNGA, FEBRERO 2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **Kevin Alexis Alcaciega Tituaña** y **Erick Joel Peralta Pánchez** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN TURBINAS DE BAJA CAPACIDAD MEDIANTE EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN EN LA LOCALIDAD DE SAN FELIPE**, siendo el **Ing. Gallardo Molina Cristian Fabián. M.Sc** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....  
**Nombres:** Kevin Alexis Alcaciega Tituaña  
C.I: 1723513170

.....  
**Nombres:** Erick Joel Peralta Pánchez  
C.I: 1727652701

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN TURBINAS DE BAJA CAPACIDAD MEDIANTE EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN EN LA LOCALIDAD DE SAN FELIPE**, de **Kevin Alexis Alcaciega Tituaña** y **Erick Joel Peralta Pánchez**, de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de **Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero, 2025

-----  
**Ing. Gallardo Molina Cristian Fabián, M.Sc.**  
**C.I: 0502847692**  
**TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta Tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: **Kevin Alexis Alcaciega Tituaña y Erick Joel Peralta Pánchez**, con el Título de Proyecto de Titulación: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN TURBINAS DE BAJA CAPACIDAD MEDIANTE EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN EN LA LOCALIDAD DE SAN FELIPE”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero del 2025

Para constancia firman:

-----  
**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Cruz Panchi Luis Rolando M.Sc.  
C.I. 0502595176

-----  
**Lector 2**

Dr. Hector Luis Laurencio Alfonso  
C.I. 1758367252

-----  
**Lector 3**

Ing. Mauro Dario Albarracin Alvarez  
C.I.0503113730

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero expresar mi agradecimiento hacia mi familia quienes fueron mi aliento, motivación y superación para alcanzar este logro, por todo el esfuerzo realizado de ambas partes y todos sus consejos que me llevaron por el buen camino

También, agradecer a todos mis amigos que hice, a aquellas personas que me apoyaron y ayudaron en las buenas y malas, por todas las experiencias vividas que formaron a la persona que soy, así como la Universidad Técnica de Cotopaxi por los conocimientos impartidos.

**Kevin**

## AGRADECIMIENTO

Primero quiero expresar mi agradecimiento hacia dios quien me ha bendecido con la salud y vida, que fue lo que necesité para concretar un sueño que en algún momento parecía imposible.

Seguido también quiero expresar mi agradecimiento hacia mis papas quienes fueron los pilares fundamentales de este logro, por la motivación dada, el apoyo que me dieron y todos sus consejos que me llevaron por el buen camino

Por último, agradecer a todos mis amigos que hice a lo largo de la carrera y aquellas personas que me apoyaron y ayudaron, por todas las experiencias vividas que formaron a la persona que soy, así como la Universidad Técnica de Cotopaxi por los conocimientos impartidos.

**Erick**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre, quien fue el pilar fundamental en el inicio de mi vida universitaria, brindándome su apoyo incondicional en cada paso del camino. A mi familia, por estar siempre a mi lado, acompañándome en los momentos difíciles y celebrando conmigo los logros alcanzados.

A mis amigos, por cada experiencia compartida, por su compañía y por hacer de este viaje académico una etapa inolvidable llena de aprendizaje y gratos recuerdos.

Kevin

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis papas quienes realmente conté desde el primer momento que inicie mi formación académica me apoyaron a conseguir este título, por la forma en que me educaron, la paciencia, los consejos y la buena crianza.

Para mi familia y amigos que me conocieron, me aconsejaron y fueron personas sinceras en todos los momentos posibles.

Erick

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**TÍTULO:” EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN TURBINAS DE BAJA**  
**CAPACIDAD MEDIANTE EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN EN LA**  
**LOCALIDAD DE SAN FELIPE”.**

**Autor/es:** Alcaciega Tituaña Kevin Alexis

Peralta Pánchez Erick Joel

**RESUMEN**

La investigación actual, examina la situación crítica de la energía en Ecuador, marcada por su alta dependencia de la energía hidroeléctrica, que satisface aproximadamente el 80% de la demanda nacional. Esta dependencia ha creado puntos débiles, especialmente en épocas de sequía prolongada, lo que ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas y renovables que puedan complementar la matriz energética del país. El estudio se centra en el análisis del viento en San Felipe, un lugar específico en Latacunga, donde se estableció un sistema para medir y evaluar las características del recurso eólico.

Se empleó el sensor de viento DNA 121 para recoger información sobre la velocidad y dirección del viento, los cuales fueron analizados mediante programas avanzados como MATLAB, EXCEL, WRPLOT y 3 DOM LSI. Con estos datos, se generaron modelos de simulación que permiten evaluar la posibilidad de instalar turbinas de baja capacidad en esta área. Los resultados preliminares del estudio sugieren que las condiciones del viento en San Felipe son favorables para la generación de energía eólica, con velocidades propicias para el funcionamiento de este tipo de turbinas. Así mismo, el estudio enfatiza la importancia de esta fuente de energía no solo como una respuesta a la crisis energética actual de Ecuador, sino también como un paso crucial hacia la sostenibilidad ambiental y la independencia energética de la comunidad local. La incorporación de pequeñas turbinas eólicas podría disminuir considerablemente la dependencia de fuentes nocivas y caras como el petróleo y el gas, ofreciendo una opción limpia y renovable que podría implementarse a nivel local.

El estudio hace la revelación de que las condiciones de viento que existen en San Felipe, no son las viables o adecuadas para la instalación de turbinas de baja capacidad. El análisis de datos menciona que, la variabilidad y la inestabilidad del viento limitan en gran medida la eficiencia de estas turbinas, siendo su resultado negativo. Esta conclusión resalta que, a través de la investigación y el análisis de datos, se determinó que las turbinas modeladas no son factibles para su implementación. Asimismo, se sugiere explorar otros modelos de turbinas que se adapten mejor a las características del viento en san Felipe.

**Palabras clave:** Potencial eólico, turbinas de baja capacidad, modelización, simulación computacional, sostenibilidad ambiental.

# COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

## FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE:** “EVALUATION OF WIND POTENTIAL IN LOW-CAPACITY TURBINES THROUGH MODELING AND SIMULATION IN THE SAN FELIPE AREA”

Authors: Alcaciega Tituaña Kevin Alexis

Peralta Pánchez Erick Joel

### ABSTRACT

The current research examines the critical energy situation in Ecuador, marked by its high dependence on hydroelectric energy, which meets approximately 80% of the national demand. This dependence has created vulnerabilities, especially during prolonged drought periods, which has led to the search for alternative and renewable sources that can complement the country's energy matrix. The study focuses on the analysis of wind in San Felipe, a specific location in Latacunga, where a system was established to measure and evaluate the characteristics of the wind resource.

The DNA 121 wind sensor was used to collect information on wind speed and direction, which were analyzed using advanced programs such as MATLAB, EXCEL, WRPLOT, and 3 DOM LSI. With this data, simulation models were generated to evaluate the possibility of installing low-capacity turbines in this area. The preliminary results of the study suggest that the wind conditions in San Felipe are favorable for wind energy generation, with speeds suitable for the operation of this type of turbine..

Likewise, the study emphasizes the importance of this energy source not only as a response to Ecuador's current energy crisis but also as a crucial step towards environmental sustainability and the energy independence of the local community. The incorporation of small wind turbines could significantly reduce dependence on harmful and expensive sources like oil and gas, offering a clean and renewable option that could be implemented at the local level.

The study reveals that the wind conditions present in San Felipe are not viable or suitable for the installation of low-capacity turbines. The data analysis indicates that the variability and instability of the wind significantly limit the efficiency of these turbines, resulting in a negative outcome. This conclusion highlights that, through research and data analysis, it was determined that the modeled turbines are not feasible for implementation. Likewise, it is suggested to explore other turbine models that better adapt to the wind characteristics in San Felipe.

**Keywords:** Wind potential, low-capacity turbines, modeling, computational simulation, environmental sustainability.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN</b> .....	<b>3</b>
2.3.1 Objeto de investigación: Estudio del potencial eólico en San Felipe, en el contexto de su viabilidad para turbinas de baja capacidad. ....	<b>3</b>
2.3.2 Campo de acción: Código UNESCO 3322 Tecnología Energética. ....	<b>3</b>
<b>2.4 BENEFICIARIOS</b> .....	<b>3</b>
2.4.1 Directo.....	<b>3</b>
2.4.2 Indirecto .....	<b>3</b>
<b>2.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2.6 OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
2.6.1 General .....	<b>4</b>
2.6.2 Específicos .....	<b>4</b>
2.6.3. Sistemas de tareas .....	<b>5</b>
<b>3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1. VIENTO (CIRCULACIÓN GENERAL)</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2 TIPOS DE VIENTOS</b> .....	<b>9</b>
3.2.1 Tipos de vientos. ....	<b>9</b>
<b>3.3 TURBINAS EÓLICAS</b> .....	<b>12</b>

3.3.1 Función de las turbinas eólicas.....	12
<b>3.4 DISEÑO DE PARÁMETROS PARA TURBINAS EÓLICAS DE BAJA POTENCIA .....</b>	<b>12</b>
3.4.1 Elección del Tipo de Turbina.....	12
3.4.2 Diseño de las palas.....	13
3.4.3 Altura de la Torre.....	13
<b>3.5 OPERACIÓN DE LA TURBINA EÓLICA.....</b>	<b>14</b>
3.5.1 Transformación de energía .....	14
<b>3.6 TIPOS DE SENSORES .....</b>	<b>15</b>
3.6.1 Sensores de velocidad de viento. [17].....	15
3.6.2 Sensores de dirección del viento. [17] .....	15
3.6.3 Sensores combinados de velocidad y dirección del viento. [17] .....	15
<b>3.7 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACIÓN EN SAN FELIPE .....</b>	<b>16</b>
<b>3.8 SOFTWARES .....</b>	<b>16</b>
3.8.1 registrador de datos (Data Logger) .....	16
3.8.2 3 DOM DATA MANAGEMENT APPLICATIONS.....	17
3.8.3 MICROSOFT EXCEL.....	17
3.8.4 WRPLOT .....	18
3.8.5 MATLAB Y SIMULINK .....	19
<b>4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO A REALIZAR. ....</b>	<b>21</b>
<b>4.2 ESTUDIO DEL VIENTO (DNA 121 Wind Sensor) .....</b>	<b>22</b>
4.2.1 Instrucciones de montaje del sensor de viento DNA 121 .....	22
4.2.2 Comprobación de funcionamiento de la medición de velocidad y dirección del viento.....	22
4.2.3 Mantenimiento .....	23
<b>4.3. INSTRUMENTACIÓN (E - LOG).....</b>	<b>23</b>
4.3.1 Alimentación E-log.....	24
4.3.2 Conexión sensor DNA 121 a E-Log .....	25
4.3.3 Conexión al ordenador o entorno digital (RS232 cables, USB Interface).....	26
<b>4.4 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS (3 DOM - EXCEL - WRPLOT) .....</b>	<b>28</b>
4.4.1 3DOM DATA MANAGEMENT APPLICATIONS.....	28
4.4.2 MICROSOFT EXCEL.....	30

4.4.3 WRPLOT .....	32
<b>4.5 MODELAMIENTO DE TURBINAS DE BAJA CAPACIDAD (SIMULINK) .....</b>	<b>33</b>
4.5.1 Turbina adecuada para el proyecto. ....	34
4.5.2 Modelamiento de turbina (vertical y horizontal) .....	35
4.5.3 Modelo Matemático de la turbina seleccionada.....	37
<b>5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 SIMULACIÓN DE LOS DATOS DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.....</b>	<b>38</b>
5.1.1 Simulación del comportamiento de un Día.....	38
5.1.2 Simulación del comportamiento de una Semana. ....	41
5.1.3 Simulación del comportamiento de un Mes.....	45
5.1.4 Simulación del comportamiento en un Año.....	49
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>6.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>6.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1: Radiación solar absorbida por la tierra sobre una superficie horizontal. [6]</b>	<b>6</b>
<b>Figura 3.2: Circulación del aire en la superficie de la Tierra. [7]</b> .....	<b>7</b>
<b>Figura 3.3: Aire frío que tiende a descender al Ecuador. [5]</b> .....	<b>8</b>
<b>Figura 3.4: Vientos particulares y locales (valles y montañas). [8]</b> .....	<b>10</b>
<b>Figura 3.5: Viento catabático. [8]</b> .....	<b>11</b>
<b>Figura 3.6: Efecto de viento (Föhn). [8]</b> .....	<b>11</b>
<b>Figura 3.7: Obstáculos topográficos y su influencia sobre la velocidad del viento. [8]</b> ...	<b>11</b>
<b>Figura 3.8 Categorías de turbinas: HAWT – VAWT [11]</b> .....	<b>12</b>
<b>Figura 3.9 Coeficiente de potencia en función a la velocidad específica [14]</b> .....	<b>14</b>
<b>Figura 3.10 Sensores y sistemas para el control medioambiental...LSI LASTEM. [17]</b> .	<b>16</b>
<b>Figura 3.11 Sistema de trabajo para la evaluación del potencial eólico. [23]</b> .....	<b>18</b>
<b>Figura 3.12 Diferencias de función (MATLAB –SIMULINK)</b> .....	<b>20</b>
<b>Figura 4.1: Sensor de viento DNA 121 (Wind Sensor LSI Lastem).</b> .....	<b>22</b>
<b>Figura 4.2: Data Logger (E-Log LSI Lastem)</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 4.3 Gabinete LSI Lastem (ELF Enclosure)</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 4.4 Conexión del convertidor AC DC</b> .....	<b>25</b>
<b>Figura 4.6: Esquema genérico de conexión eléctrica para data logger E/R/M-Log</b> .....	<b>26</b>
<b>Figura 4.7: Verificación del adaptador en el ordenador (administrador de dispositivos)</b> .....	<b>26</b>
<b>Figura 4.8 Convertidor alimentado y conectado para interfaz con el ordenador.</b> .....	<b>27</b>
<b>Figura 4.9 Cable RS232 conectado al E-log y en el ordenador para adquisición de datos.</b> .....	<b>27</b>
<b>Figura 4.10 Diagrama de flujo de conexión completa.</b> .....	<b>28</b>
<b>Figura 4.11: Pantalla principal (software 3DOM)</b> .....	<b>29</b>
<b>Figura 4.12: Sistema de trabajo o de operación (software 3DOM)</b> .....	<b>30</b>
<b>Figura 4.13: Sistema de tabulación de datos EXCEL (Curva de Weibull).</b> .....	<b>31</b>
<b>Figura 4.14: Pantalla principal (WRPLOT).</b> .....	<b>32</b>
<b>Figura 4.15: Interfaz de interacción con el software (WRPLOT)</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 4.16 Interfaz de interacción con el software (MATLAB / SIMULINK)</b> .....	<b>34</b>
<b>Figura 4.17: Modelo de turbina perteneciente al software MATLAB (SIMULINK).</b> ....	<b>34</b>
<b>Figura 4.18 Conexión completo del modelo de turbina vertical</b> .....	<b>35</b>
<b>Figura 4.19 Conexión completo del modelo de turbina Horizontal</b> .....	<b>36</b>

<b>Figura 4.20: Modelo matemático de la turbina de viento (SIMULINK).</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 4.21 Datasheet turbina vertical DS700W</b> .....	<b>91</b>
<b>Figura 4.22 Datasheet turbina horizontal HLD</b> .....	<b>93</b>
<b>Figura 4.23 Pantalla principal entorno MATLAB y redirección a SIMULINK</b> .....	<b>82</b>
<b>Figura 4.24 Panel inicial SIMULINK</b> .....	<b>82</b>
<b>Figura 4.25 Librería SIMULINK</b> .....	<b>83</b>
<b>Figura 4.26 Turbina a determinar su modelo matemático</b> .....	<b>83</b>
<b>Figura 4.27 Primera parte de la conexión del modelo matemático</b> .....	<b>85</b>
<b>Figura 4.28 Segunda parte de la conexión del modelo matemático.</b> .....	<b>86</b>
<b>Figura 4.29 Ecuación matemática del coeficiente de potencia</b> .....	<b>87</b>
<b>Figura 4.30 Tercera parte de la conexión del modelo matemático</b> .....	<b>88</b>
<b>Figura 4.31 Modelado matemático global de la turbina de viento seleccionada para trabajar.</b> .....	<b>89</b>
<b>Figura 5.1: Velocidad el viento de un día</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 5.2: Porcentaje de frecuencia de los vientos</b> .....	<b>39</b>
<b>Figura 5.3: Densidad de probabilidad y función de distribución acumulada</b> .....	<b>39</b>
<b>Figura 5.4 Comportamiento de dirección del viento de un Día</b> .....	<b>40</b>
<b>Figura 5.5 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)</b> .....	<b>40</b>
<b>Figura 5.6 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (TMpu)</b> .....	<b>41</b>
<b>Figura 5.7: Velocidad del viento de Diciembre</b> .....	<b>42</b>
<b>Figura 5.8: Porcentaje de frecuencia de Diciembre</b> .....	<b>42</b>
<b>Figura 5.9: Weibull de datos de Diciembre</b> .....	<b>43</b>
<b>Figura 5.10: Comportamiento de dirección de una semana</b> .....	<b>43</b>
<b>Figura 5.11 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)</b> ...	<b>44</b>
<b>Figura 5.12 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (Tpu)</b> .....	<b>45</b>
<b>Figura 5.13: Velocidad del viento registrada de un mes</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 5.14: Porcentaje de frecuencia del mes</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 5.15: Weibull de datos de Noviembre</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 5.16: Comportamiento de Dirección de un mes</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura 5.17 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)</b> ...	<b>48</b>
<b>Figura 5.18 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (Tpu)</b> .....	<b>49</b>
<b>Figura 5.19: Velocidad de viento de un año</b> .....	<b>50</b>
<b>Figura 5.20: Porcentaje de Frecuencia</b> .....	<b>50</b>
<b>Figura 5.21: Distribución de Weibull y acumulada</b> .....	<b>51</b>

<b>Figura 5.22: Comportamiento de dirección de un Año .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 5.23 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9) ...</b>	<b>52</b>
<b>Figura 5.24 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (Tpu) .....</b>	<b>53</b>

## INDICE DE TABLAS DIAGRAMAS

<b>Tabla 1.1: Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [2].</b> .....	<b>1</b>
<b>Diagrama 2.1: Diagrama de Ishikawa</b> .....	<b>74</b>
<b>Tabla 2.1: Ejemplo del Sistema de Tareas del Plan de Titulación.</b> .....	<b>5</b>
<b>Tabla 4.1: Especificaciones eléctricas y mecánicas (DNA 121).</b> .....	<b>59</b>
<b>Tabla 4.2: Entrada y salida para alimentación del instrumento (E-Log).</b> .....	<b>60</b>
<b>Tabla 4.3: Modelos de sensores combinados.</b> .....	<b>60</b>
<b>Tabla 4.4: sensores con señal de salida en tensión (0÷1 y 0÷5 V).</b> .....	<b>60</b>
<b>Tabla 4.5: Tabla de terminales Data Logger (E-Log).</b> .....	<b>60</b>
<b>Tabla 4.6: Cable DWA525A y Conector MG2251 (wind sensor DNA 121).</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.7: Pines del conector del sensor DNA 121.</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.8: Tabla de conversión señal/color para cables DWA505A, DWA510A, DWA525A, DWA526A y DWA527A.</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.9: ELF340.10 Enclosure.</b> .....	<b>62</b>
<b>Tabla 4.10: Batería (Battery).</b> .....	<b>62</b>
<b>Tabla 4.11: Esquema de terminales E - Log.</b> .....	<b>63</b>
<b>Tabla 4.12: Cable RS232, USB Interface.</b> .....	<b>63</b>
<b>Tabla 4.13: RS485 converters, TCP / IP.</b> .....	<b>63</b>
<b>Tabla 4.14: Conexión de sensores (3 DOM).</b> .....	<b>64</b>
<b>Tabla 4.15: Ejemplo de intervalos empleados para dirección y velocidad del viento (EXCEL).</b> .....	<b>65</b>
<b>Tabla 4.16: Ejemplo de tabla de distribución de frecuencia para su graficación.</b> .....	<b>65</b>
<b>Tabla 4.17: Ejemplo de tabla estructurada para determinar la rosa de los vientos (WRPLOT).</b> .....	<b>66</b>
<b>Tabla 4.18: Elementos turbina vertical.</b> .....	<b>89</b>
<b>Tabla 4.19: Datasheet de turbina Vertical DS700W Etneo.</b> .....	<b>90</b>
<b>Tabla 4.20: Elementos turbina Horizontal</b> .....	<b>91</b>
<b>Tabla 4.21: Datasheet de turbina Horizontal HLD 1.5kW</b> .....	<b>92</b>
<b>Diagrama 4.18: Plano original (Wind Sensor DNA 121).</b> .....	<b>72</b>
<b>Diagrama 4.19: Diagrama de conexión Wind Sensor DNA 121 - E-Log.</b> .....	<b>73</b>
<b>Tabla 5.1: Datos tabulados del 18 de octubre de 2024 para Distribución de Weibull.</b> ....	<b>76</b>
<b>Tabla 5.2: Datos tabulados del 18 de octubre de 2024 para Dirección del viento.</b> .....	<b>76</b>

<b>Tabla 5.3: Datos tabulados de la semana de Diciembre de 2024 para Distribución de Weibull.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 5.4: Muestra de datos tabulados de la semana de Diciembre de 2024 para Dirección del viento.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 5.5: Datos tabulados del Mes de Noviembre de 2024 para Distribución de Weibull.....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 5.6: Muestra de datos tabulados del Mes de Noviembre de 2024 para Dirección del viento.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 5.7: Datos tabulados de un Año desde Febrero 2024 a Enero 2025 para Distribución de Weibull.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 5.8: Muestra de datos tabulados de un Año desde Febrero 2024 a Enero 2025 para Dirección del viento.....</b>	<b>80</b>

# 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del proyecto:** Evaluación del potencial Eólico en turbinas de baja capacidad mediante el modelamiento y simulación en la localidad de San Felipe.

**Modalidad de Titulación:**

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

**Carrera:** Ingeniería Electromecánica

**Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:** DIRGI-CP2021-008 Implementación de tecnologías de eficiencia energética en el sector productivo del sector San Felipe para reducir las pérdidas en la red eléctrica.

**Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:**

Investigadores:

- Alcaciega Tituaña Kevin Alexis
- Peralta Pánchez Erick Joel

Tutor de Titulación:

- Ing. Gallardo Molina Cristian Fabián

**Área de Conocimiento:**

Tabla 1.1: Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [2].

3322 Tecnología energética	3313 Tecnología e ingeniería mecánica	3322.02 Generación de energía	5312.05 Energía
----------------------------------	--	----------------------------------	-----------------

**Línea de investigación:** Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:** Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

## 2. INTRODUCCIÓN

Ecuador enfrenta una crisis energética sin precedentes, exacerbada por la dependencia en fuentes hidroeléctricas, que generan alrededor del 80% de la energía del país. Esta dependencia de la energía hidroeléctrica expone a Ecuador a graves vulnerabilidades frente a eventos climáticos extremos, especialmente las sequías, las cuales han aumentado en frecuencia e intensidad debido al cambio climático. Las sequías prolongadas reducen significativamente los caudales de los ríos que alimentan las centrales hidroeléctricas, limitando su capacidad para abastecer la demanda nacional de energía y generando la necesidad de recurrir a fuentes de energía más costosas y contaminantes, como las termoeléctricas alimentadas por combustibles fósiles [2].

La escasez de energía renovable eólica en Ecuador representa una oportunidad desaprovechada en la transición hacia una fuente energética más sostenible y resiliente. Aunque el país cuenta con importantes recursos de viento en ciertas zonas geográficas, su aprovechamiento ha sido limitado hasta la fecha debido a la falta de información técnica específica y la escasa infraestructura para el desarrollo de proyectos de energía eólica.

Esta falta de diversificación es especialmente preocupante si se considera que Ecuador, al igual que otros países de la región, enfrenta riesgos derivados al cambio climático, la variabilidad climática y la inestabilidad de los precios internacionales del petróleo. Cada uno de estos factores añade incertidumbre y presión a la ya delicada situación energética del país, reforzando la necesidad de alternativas viables y sostenibles [1].

En este contexto representa una carga económica y ambiental importante para el Ecuador, un país que, por su ubicación geográfica y diversidad climática, tiene la oportunidad de diversificar su matriz energética hacia alternativas renovables, como la energía eólica. Sin embargo, el desarrollo de proyectos de energías eólica en el Ecuador se ha visto limitado en gran medida por la falta de estudios detallados que analicen el potencial eólico en áreas específicas, lo cual ha frenado la expansión de este tipo de infraestructura [3].

Este aprovechamiento eólico ha enfrentado varios obstáculos, tales como la falta de datos detallados sobre los patrones y velocidades del viento en zonas específicas, infraestructura e inversión limitada. Este déficit de información y tecnología ha frenado la expansión de este tipo de energía en el país subrayando la importancia de las investigaciones que permitan obtener datos precisos y modelar el potencial eólico en áreas con condiciones favorables.

La presente investigación busca contribuir a la mitigación de esta crisis mediante la evaluación del potencial eólico en el sector de San Felipe - Latacunga, utilizando tecnologías necesarias de medición, modelado y simulación. Al implementar el sensor de viento DNA 121 y emplear herramientas como *MATLAB*, *EXCEL*, *WRPLOT*, *3 DOM LSI*, evaluará si las condiciones de viento en esta localidad son adecuadas para soportar turbinas de baja capacidad. Este tipo de tecnología no solo sería una fuente alternativa de energía renovable, sino también una solución para reducir la dependencia de las fuentes hidroeléctricas en tiempos de sequía, aliviando la presión sobre la red nacional y contribuyendo a una matriz energéticas más resilientes y sostenible.

Esto permitirá determinar si esta área cuenta con un recurso eólico adecuado que pueda complementar la matriz energética y contribuir a reducir la dependencia de combustibles fósiles en el Ecuador. Este estudio es fundamental para abrir camino a futuras iniciativas de energía eólica en el Ecuador y tiene el potencial de ofrecer soluciones prácticas y sostenibles a la creciente demanda energética del país [1].

## **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Ecuador enfrenta una crisis energética, a nivel nacional esta situación ha impulsado el uso de fuentes termoeléctricas basadas en combustibles fósiles, que son costosas y perjudiciales para el ambiente. Ante la necesidad de una transición energética sostenible, surge la importancia de explorar fuentes renovables como la energía eólica, especialmente en zonas con condiciones favorables de viento. Sin embargo, en áreas como San Felipe (Lab. Energías Renovables UTC) - Latacunga, la falta de estudios y datos precisos sobre las características del viento limita el desarrollo de proyectos energéticos sostenibles, además de que con su generación de ser posible sea utilizada de manera exitosa.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Puede la evaluación del potencial eólico determinar la viabilidad para la colocación de turbinas de baja capacidad comerciales para la generación de energía eléctrica y ser utilizada para el laboratorio de Energías Renovables (UTC) en el sector de San Felipe?

## **2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

**2.3.1 Objeto de investigación:** Estudio del potencial eólico en San Felipe, en el contexto de su viabilidad para turbinas de baja capacidad.

**2.3.2 Campo de acción:** Código UNESCO 3322 Tecnología Energética.

## **2.4 BENEFICIARIOS.**

### **2.4.1 Directo**

Barrio San Felipe, Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la ingeniería y aplicadas UTC. San Felipe como área de estudio, podría implementar energía eólica de baja capacidad si los resultados son favorables, beneficiando a la comunidad local. La universidad, fortalece su enfoque en investigación aplicada y desarrollo sostenible además del uso para los mismos.

### **2.4.2 Indirecto**

Comunidades rurales cercanas, Instituciones educativas y de investigación, Sector energético del Ecuador. Todas estas ayudan a la sostenibilidad: aprovechar futuros proyectos, fomentar la formación de energías renovables, y promover alternativas sostenibles para el país.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La creciente demanda de energía y la necesidad de reducir la dependencia de fuentes no renovables han convertido a la energía eólica como una alternativa para el desarrollo sostenible. El cambio que este implica es fundamental para la mitigación del cambio climático y mejorar la seguridad energética para las diversas comunidades.

A nivel global, los sistemas de energía eólica han demostrado ser una solución efectiva para la generación de electricidad. Sin embargo, para las regiones rurales y semirurales, la implementación de grandes parques eólicos no siempre es viable debido a la infraestructura limitada y las características climáticas, por ello las turbinas de baja capacidad emergen como una opción adecuada para satisfacer las necesidades energéticas locales.

La presente investigación es relevante porque busca evaluar el potencial eólico de San Felipe, este estudio proporciona una base científica sólida para la toma de decisiones respecto a la instalación de turbinas de baja capacidad, considerando parámetros como dirección y velocidad del viento, su distribución temporal y su conversión energética de manera eficiente. Esta investigación se centra en la viabilidad de implementar turbinas de baja capacidad, lo cual es particularmente relevante en comunidades rurales y semirurales donde la infraestructura para parques eólicos a gran escala puede no estar disponible.

Además, esto contribuirá a la autonomía energética de la comunidad, reduciendo su dependencia de fuentes fósiles y promoviendo el uso de energías limpias, pueden proporcionar soluciones energéticas adecuadas y accesibles, no solo para satisfacer las demandas locales, sino también para fomentar la independencia energética y la autosuficiencia de las comunidades, reduciendo su vulnerabilidad ante crisis energéticas.

A nivel académico, la investigación genera conocimiento valioso en el ámbito energético, apoyando el desarrollo de tecnologías sostenibles. También servirá como un precedente para estudios futuros que busquen replicar esta metodología en otras zonas con condiciones similares, favoreciendo a una aplicación de las energías renovables en distintas regiones del país.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 General**

Evaluar el potencial eólico en la localidad de San Felipe mediante el modelamiento de turbinas de baja capacidad a fin de determinar su desempeño.

### **2.6.2 Específicos**

1. Revisar documentación pertinente al sensor de viento DNA 121 y su uso con los softwares *MATLAB*, *EXCEL*, *WRPLOT* Y *3 DOM LSI*.
2. Implementar un sistema de adquisición de datos de velocidad y dirección del viento en el área de estudio.
3. Modelar el comportamiento de turbinas comerciales de baja capacidad utilizando los datos del viento.
4. Analizar los resultados obtenidos mediante el software *MATLAB* para determinar el desempeño de la turbina.

### 2.6.3. Sistemas de tareas

Detallar las actividades que se realizarán para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos.

Tabla 2.1: Ejemplo del Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Revisar documentación pertinente al sensor de viento DNA 121 y su uso con los softwares <i>MATLAB</i> , <i>EXCEL</i> , <i>WRPLOT</i> Y <i>3DOM LSI</i>	Elaborar un informe sobre las capacidades del sensor DNA 121 y su compatibilidad con <i>3DOM</i> , <i>EXCEL</i> , <i>WRPLOT</i> y <i>MATLAB</i> .	Comprensión completa del funcionamiento del sensor y de los softwares relacionados.	Manuales técnicos, guías de software, literatura científica, computadora, internet.
	Analizar documentación técnica de <i>MATLAB</i> , <i>MATLAB</i> , <i>EXCEL</i> , <i>WRPLOT</i> Y <i>3DOM LSI</i> .		
Implementar un sistema de adquisición de datos de velocidad y dirección del viento en el área de estudio.	Instalar el sensor DNA 121 en la ubicación seleccionada.	Sistema operativo y funcional que recolecta datos precisos de viento en tiempo real.	Sensor DNA 121, <i>EXCEL</i> , <i>WRPLOT</i> , <i>3DOM LSI</i> equipos de instalación, computadoras, estación meteorológica.
	Configuración y conexión de la comunicación.		
Modelar el comportamiento de turbinas comerciales de baja capacidad utilizando los datos del viento.	Diseñar modelos comerciales de turbinas en <i>MATLAB</i> ( <i>SIMULINK</i> ) basado en los datos recolectados.	Modelos comerciales de turbinas con datos de viento.	<i>MATLAB</i> , datos recolectados, computadora, algoritmos de modelado.
	Cargar los datos de velocidad y dirección del viento.		
Analizar los resultados obtenidos mediante el software <i>MATLAB</i> para determinar el desempeño de la turbina.	Ejecutar simulaciones en <i>MATLAB</i> utilizando el modelo de la turbina.	Simulación del comportamiento de la turbina bajo diversas condiciones.	<i>MATLAB</i> , modelo de turbina, computadora, datos de simulación.
	Analizar los resultados de la simulación.		

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1. VIENTO (CIRCULACIÓN GENERAL)

El viento es cualquier movimiento de masas de aire que se produce como resultado del calentamiento desigual de la superficie terrestre. En una posición favorable, la Tierra recibe una gran cantidad de energía del sol, que puede alcanzar unos  $2000 \text{ kW/m}^2$ , de los cuales el 2% se convierte en energía eólica, que puede proporcionar unos  $10^{17} \text{ kW}$  de electricidad [4].

El viento es el movimiento de masas de aire en la atmósfera debido a las diferencias de presión provocadas por los cambios de temperatura en diferentes zonas. Este fenómeno juega un papel importante en la regulación del clima, la distribución de la humedad y la temperatura en la Tierra. La dirección, velocidad y características del viento dependen de factores como la presión atmosférica, la rotación de la Tierra y la topografía [6].

La Tierra es como una gran máquina térmica que convierte parte del calor del sol en energía cinética en el viento como se demuestra en la **Figura 3.1**.

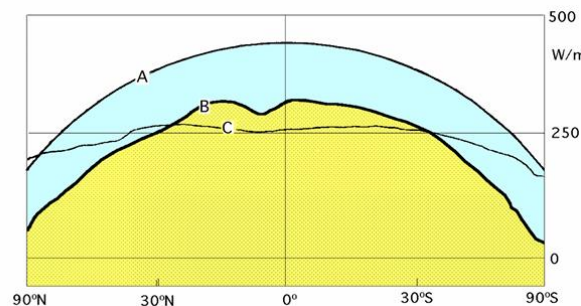


Figura 3.1: Radiación solar absorbida por la tierra sobre una superficie horizontal [6].

La energía eólica tiene las ventajas de ser inagotable, gratuita y respetuosa con el medio ambiente, pero también tiene los principales inconvenientes de la dispersión y la aleatoriedad. El viento se produce cuando el aire de la atmósfera se mueve de un lugar a otro bajo presión y a diferentes velocidades [5].

Cuanto mayor es la diferencia de presión, mayor es el gradiente de velocidad y su movimiento se ve afectado por la rotación de la Tierra. Las principales causas del viento son:

- La radiación solar es más importante en el ecuador que en los polos
- La rotación de la Tierra que provoca hacia la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur
- Las perturbaciones atmosféricas

El movimiento de la tierra se rige por la siguiente relación entre aceleraciones:

$$\alpha_{absoluto} = \alpha_{relativo} + \alpha_{arrastre} + \alpha_{coriolis} \quad (\text{E 3.1})$$

Ecuación que aplicada al movimiento del aire y simplificada adecuadamente proporcionada la siguiente ecuación vectorial:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\nabla p}{\rho} - \nabla\psi - 2(\omega \wedge r); \text{ Donde:} \quad (\text{E 3.2})$$

- $v$  = velocidad del viento
- $p$  = presión
- $\rho$  = densidad
- $\omega$  = velocidad angular de la Tierra
- $r$  = vector de posición de las partículas
- $\nabla\psi$  = aceleración de origen rotatorio

La radiación solar es más importante en el ecuador que en los polos. Como resultado de la rotación de la Tierra, el hemisferio norte gira en el sentido de las agujas del reloj y el hemisferio sur gira en el sentido contrario a la perturbación atmosférica. **Figura 3.2.**

En zonas de mayor radiación solar, como el ecuador, el calor de la Tierra se acumula principalmente en los océanos y viceversa, el calor se pierde en los polos, pero en promedio ni el ecuador ni los polos son los lugares más calientes o más fríos de la Tierra. . la superficie de la tierra. La circulación total en la superficie depende de la distribución media de la presión en un cuarto del meridiano de la Tierra [7].

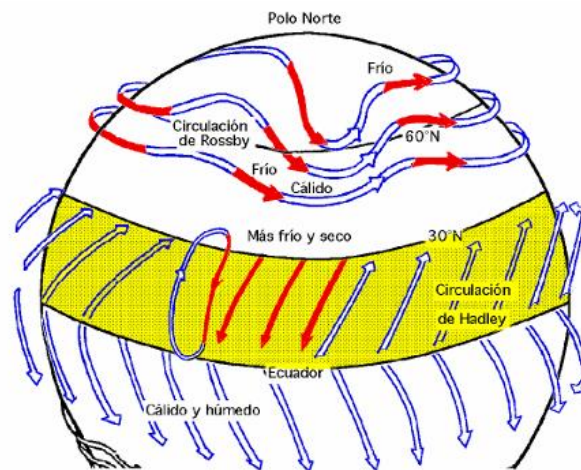


Figura 3.2: Circulación del aire en la superficie de la Tierra [7].

En el hemisferio norte, hay un centro de anticiclón en el polo, un eje de baja presión hacia la latitud de 60°N, un eje anticiclónico hacia la latitud de 30°N llamado cinturón subtropical y una banda de baja presión hacia el ecuador. Una forma o silueta con dirección opuesta al viento [7].

Un esquema de vientos generales es el siguiente:

- Entre 90°N y 60°N, aire ártico (muy frío) (Circulación de Rossby)
- Entre 60°N y 40°N, aire polar (frío)
- Entre 40°N y 5°N, aire tropical (templado)
- Entre 5°N y 5°S, aire ecuatorial (cálido)

En el límite de esta diferente masa de aire existen zonas conflictivas o zonas frontales como:

- El frente ártico entre el aire ártico y el aire polar
- El frente polar entre el aire polar y el aire tropical
- La zona de convergencia intertropical, entre el aire tropical y el aire ecuatorial, en la que soplan vientos regulares (alisios) del Nordeste, contorneando el anticiclón de las azores (corriente de Hadley)

Las diferentes masas de aire, así como el eje de baja presión ( $60^\circ$ ) y el eje del anticiclón ( $30^\circ$ ) se mueven en la dirección del movimiento del sol según la estación, generalmente hacia el norte en invierno y hacia el sur en verano. En el hemisferio sur ocurre lo contrario;

Sin embargo, las condiciones generales del viento pueden cambiar localmente debido al calentamiento desigual de la tierra y el agua o a los gradientes de temperatura causados por las tormentas y diversas características del terreno; se puede considerar que el viento está controlado por ciertos centros de actividad atmosférica, la mayoría de las veces influenciados por él movimiento es horizontal [9].

La atmósfera en sí no es homogénea porque está separada por grandes masas de aire más o menos cálidas como en la **Figura 3.3**. La transición entre masas de aire puede ser lenta y continua o repentina, pero forma un frente que forma una pendiente para que el aire cálido y más ligero pueda elevarse por encima del aire frío [5].

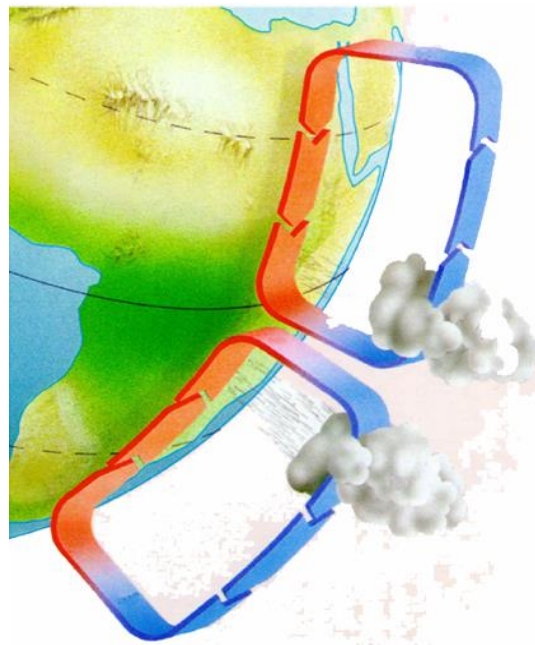


Figura 3.3: Aire frío que tiende a descender al Ecuador [5].

La proyección del frente sobre el suelo se denomina ejemplo típico, en el hemisferio norte, el Frente Polar Atlántico representa la zona de separación entre el aire polar impulsado por la vaguada islandesa y el aire tropical impulsado por el anticiclón Islas Azores [5].

Los frentes no son estacionarios porque el aire frío tiende a descender hacia el ecuador; el aire cálido tiende a ascender hacia el polo, creando olas en determinados momentos, que se

desarrolla y se intensifica a medida que es recogido por las corrientes de aire del oeste que lo acompañan. Un frente cálido ocurre cuando el aire caliente asciende cuando llega aire frío [6].

Está cayendo, se está formando un frente frío. Frente cálido-frente frío genera perturbaciones, cuando el frente frío llega al frente cálido, el aire cálido se proyecta hacia arriba y forma un frente. Una serie de disturbios o disturbios suelen estar asociados a diferentes acontecimientos, estos sistemas de nubes característicos determinan diferentes tipos de viento.

### **3.2 TIPOS DE VIENTOS**

Falta de comprensión de los vientos generales para su uso y colocación adecuados, las modificaciones de las máquinas eólicas son necesarias debido a factores que cambian la geología.

Esto debe entenderse y tenerse en cuenta al implementar un proyecto de este tipo. Existe un axioma (Bjerknes) que expresa la dirección del movimiento o rotación del viento:

Los dientes de presión y los gradientes de temperatura tienen diferentes direcciones y la circulación del aire es el camino más corto en la dirección del gradiente de presión al gradiente de temperatura.

En general, el desplazamiento vertical del aire es pequeño en comparación con el desplazamiento en línea horizontal para que la dirección del viento pueda considerarse como un nivel aparente en relación con dirección fija, es decir, norte geográfico [8].

Tanto los vientos generales y sinópticos, se refieren a la circulación atmosférica y conserva las mismas características de extensión de tierra. El viento sinóptico sopla casi horizontalmente, lo que permite sistematizar su movimiento, la dirección está orientada por un vector cuya dirección es la dirección del viento y cuyo origen son vientos regionales también están controlados por sesgos sinópticos [8].

Sus características se han determinado por condiciones meteorológicas dadas y muy precisas, la configuración isobárica y la ubicación del borde de ataque también se consideran en todo momento. Geografía regional y local.

#### **3.2.1 Tipos de vientos.**

##### **3.2.1.1 Vientos planetarios**

Son los que recorren grandes distancias y afectan regiones extensas [8].

- Alisios: vientos constantes que soplan desde las zonas subtropicales hacia el ecuador, influyen en la navegación y en el clima tropical

- Vientos del oeste: se desplazan desde las zonas subtropicales hacia latitudes medias y tienen un papel importante en el clima templado
- Vientos polares del este: Vientos fríos que soplan desde los polos hacia el ecuador y ayudan a regular el clima en regiones polares

### 3.2.1.2 Vientos estacionales

Vientos que cambian de dirección según las estaciones. Son comunes en Asia y causan estaciones de lluvias y sequías en regiones monzónicas [8].

### 3.2.1.3 Vientos locales.

Afectan áreas más pequeñas y se deben a diferencias de presión y temperatura en regiones específicas [8].

- Brisas marinas y terrestres: Cambian de dirección entre el día y la noche debido al calentamiento desigual entre el mar y la tierra.
- Viento de montaña y de valle: Causado por las diferencias de temperatura entre zonas elevadas y los valles. Detalles **Figura 3.4.**

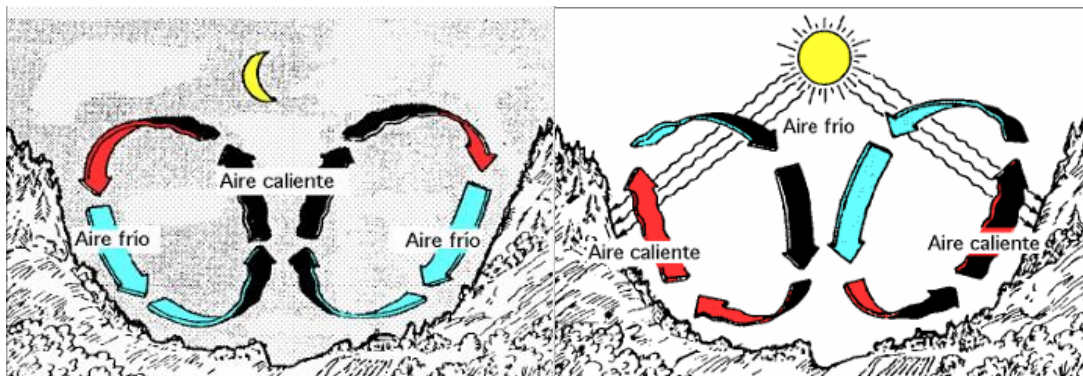


Figura 3.4: Vientos particulares y locales (valles y montañas) [8].

### 3.2.1.3 Vientos ciclónicos y anticiclónicos:

Asociados a sistemas de baja y alta presión, respectivamente. Los vientos ciclónicos giran en sentido anti horario hacia el centro de bajas presiones, mientras que los anticiclónicos, giran en sentido horario desde el centro de altas presiones [8].

### 3.2.1.4 Vientos catabaticos y anabaticos:

El viento catabático, es producido por el descenso de aire desde sitios o regiones elevadas a otras más bajas, en forma de brisas, a través de laderas y valles, este viento se rige principalmente por la dirección por la cual está descendiendo. **Figura 3.5 [8].**

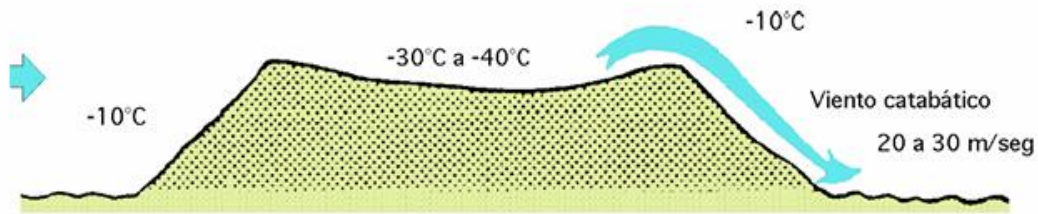


Figura 3.5: Viento catabático [8].

### 3.2.1.5 FÖHN

Es un viento fuerte, seco y cálido que a veces sopla en las laderas de sotavento, que es un sistema (contraria del viento). **Figura 3.6.** El sistema de baja presión de accionamiento crea fuertes vientos en la troposfera media y alta.

A medida que el sistema se acerca a la montaña, el aire despega contra el viento, enfriamiento por debajo de la temperatura de condensación que se forma las nubes todavía se aferran arriba. Las zonas montañosas provocan precipitaciones y, por tanto, el contenido de humedad del aire disminuye. El aire a favor del viento es seco y se calienta  $10^{\circ}\text{C}$  por kilómetro a medida que cae [8].

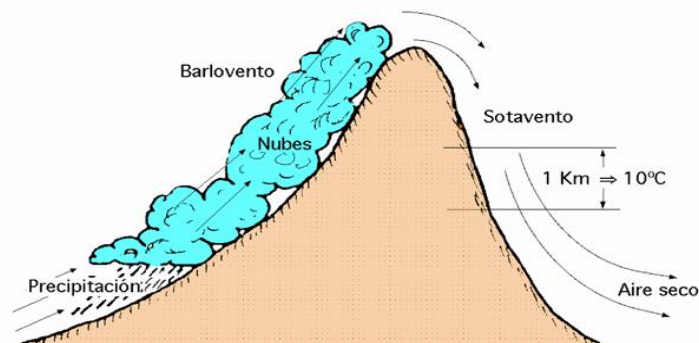


Figura 3.6: Efecto de viento (Föhn) [8].

También influye grandemente en la velocidad del viento la forma del relieve de la superficie de la tierra donde discurre la corriente, **Figura 3.7** las pendientes desnudas de obstáculos son considerados los mejores lugares de potencial eólico, puesto que tienen la característica de juntarse las líneas de corrientes y hacen que su velocidad aumente.

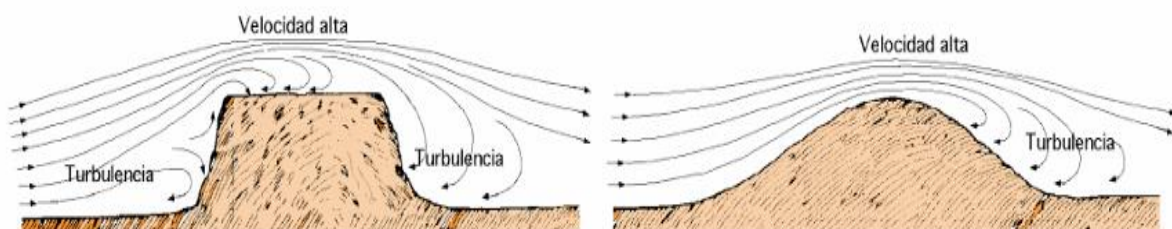


Figura 3.7: Obstáculos topográficos y su influencia sobre la velocidad del viento [8].

### 3.3 TURBINAS EÓLICAS.

Las turbinas eólicas son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica y luego en electricidad mediante un generador. Son una tecnología clave en la producción de energía renovable y sostenible, lo que las convierte en una excelente opción para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero [10].

#### 3.3.1 Función de las turbinas eólicas.

Su función principal es generar electricidad aprovechando el potencial eólico de una región. Las turbinas eólicas son especialmente útiles en áreas con vientos constantes y adecuados para la generación de energía, como zonas costeras, llanuras o áreas elevadas. En el caso expuesto el evaluar el potencial eólico en el sector San Felipe podría ayudar a identificar si cumple características propicias para la implementación de turbinas para generación eólica [10].

### 3.4 DISEÑO DE PARÁMETROS PARA TURBINAS EÓLICAS DE BAJA POTENCIA

El proceso de diseño y escogencia de una turbina eólica de baja potencia está condicionado por varios factores técnicos y ambientales. Elementos como la velocidad promedio del viento, la altura de instalación, el diseño de las palas y la eficiencia aerodinámica afectan la efectividad y factibilidad de captar la energía eólica en un área determinada. Este capítulo aborda los criterios principales de diseño y operación de turbinas eólicas de baja capacidad, con un enfoque particular en su uso en San Felipe.

#### 3.4.1 Elección del Tipo de Turbina

Las turbinas eólicas se dividen en dos categorías principales: **Figura 3.8 [11]**.

- **Turbinas de eje horizontal (HAWT):** Son las más comunes debido a su superior eficacia en la captación del viento
- **Turbinas de eje vertical (VAWT):** Ofrecen beneficios en áreas urbanas o con vientos irregulares, aunque tienden a ser menos eficientes

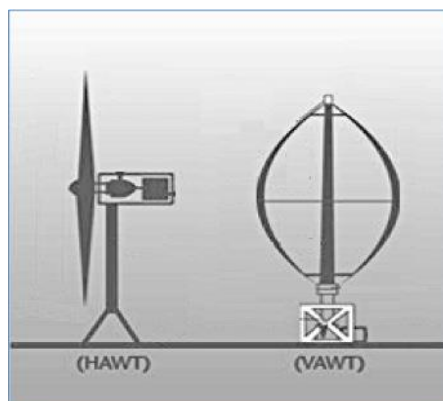


Figura 3.8 Categorías de turbinas: HAWT – VAWT [11].

Para San Felipe, donde los vientos pueden ser variables, se sugiere optar por una turbina de eje horizontal, dado que su capacidad para transformar energía cinética en energía eléctrica es superior, y su diseño favorece su rendimiento en rangos de velocidades de viento media.

Los factores clave en la elección de la turbina comprenden: [12]

- **Condiciones meteorológicas:** Velocidad promedio y dirección del viento.
- **Accesibilidad del terreno:** Consideraciones para la instalación segura y el mantenimiento.
- **Presupuesto y cuidado:** Análisis de costos y facilidad de reemplazo de piezas.
- **Impacto ambiental:** Niveles de ruido y su efecto sobre aves y la biodiversidad local.

Además, el tipo de generador eléctrico en la turbina juega un papel crucial, existiendo variantes como generadores de inducción, sincrónicos y de imanes permanentes, que influyen en la eficiencia y estabilidad del sistema.

### 3.4.2 Diseño de las palas

El diseño de las palas de una turbina es crucial para la captura y uso de la energía eólica [12].

Los aspectos más importantes a tener en cuenta son:

- **Cantidad de palas:** Los diseños más comunes incluyen 2 o 3 palas, optimizando el rendimiento aerodinámico y la estabilidad.
- **Materiales:** Las palas pueden estar hechas de fibra de vidrio, carbono o aluminio, buscando un equilibrio entre durabilidad y peso.
- **Perfil aerodinámico:** Diseñado para maximizar la elevación y minimizar la resistencia al viento.
- **Longitud de las palas:** Determina la cantidad de energía que se puede captar, con diseños que fomentan la mejor relación entre potencia y peso.
- **Curvatura y torsión:** Ajustes que optimizan la eficiencia en distintos rangos de velocidad del viento.
- **Ángulo de paso:** La capacidad de modificar el ángulo de las palas según el viento potencia la eficiencia general.

### 3.4.3 Altura de la Torre

La altura de la estructura influye en la capacidad de la turbina para captar vientos más estables y rápidos. Típicamente, para turbinas de menor capacidad, la altura varía entre 10 y 30 metros, con base en las características del terreno y el potencial de viento de la región [12].

Factores importantes incluyen:

- **Aumento en la altura:** Disminuye las turbulencias y optimiza la eficiencia.
- **Fuerza estructural:** Elección de materiales y diseño de acuerdo a las condiciones del lugar.
- **Sencillez en el mantenimiento:** Evaluación de la accesibilidad y los gastos de reparación.
- **Tipos de torres:** Estas pueden ser de tipo tubular, celosía o mono poste, cada una con su propio conjunto de beneficios y desventajas en estabilidad y costos.

### 3.5 OPERACIÓN DE LA TURBINA EÓLICA

#### 3.5.1 Transformación de energía

El funcionamiento de una turbina eólica se fundamenta en transformar la energía cinética del viento en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica a través de un generador. **Figura 3.9 [14].**

La eficacia de este proceso de transformación depende de:

- **Coefficiente de potencia ( $C_p$ ):** Proporción entre la energía utilizada y la energía presente en el viento.
- **Velocidad del viento:** La energía producida se relaciona con el cubo de la velocidad del viento.
- **Sistema de control:** Dispositivos diseñados para mejorar el rendimiento y resguardar la turbina en condiciones de viento extremas.
- **Sistemas de frenado:** Se implementan para prevenir daños en situaciones extremas.

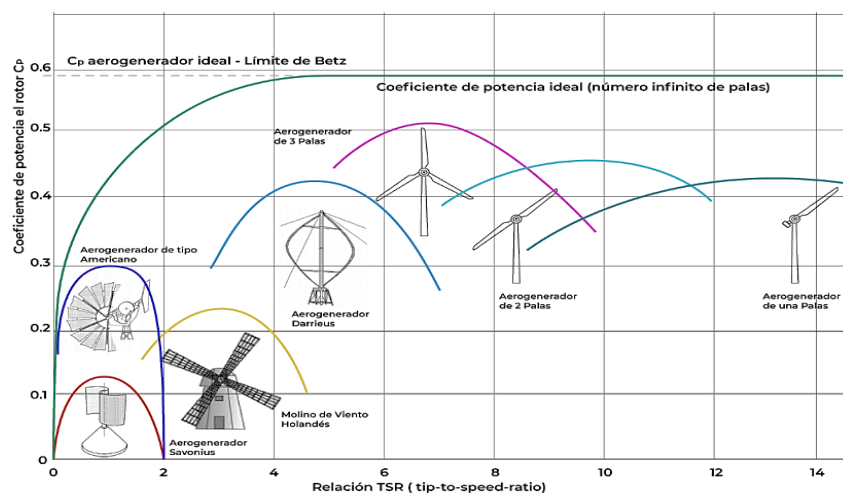


Figura 3.9 Coeficiente de potencia en función a la velocidad específica [14].

La relación del coeficiente de potencia con la velocidad del viento permite a su vez determinar el número de palas para la turbina en utilizar.

### 3.6 TIPOS DE SENSORES

#### 3.6.1 Sensores de velocidad de viento [17].

- **Anemómetro de copas:** Este sensor utiliza tres o cuatro copas en una rueda que gira cuando el viento las golpea. La velocidad de rotación se correlaciona con la velocidad del viento.
- **Anemómetro de Hélices:** similar a un ventilador, la velocidad del viento hace girar la hélice.
- **Anemómetro de tubo pitot:** mide la presión del viento mediante un tubo y calcula la velocidad del viento. se aplica más en aviación.
- **Anemómetro ultrasónico:** Usa ondas de ultrasonido para medir la velocidad y dirección del viento al calcular los cambios en el tiempo de transmisión de las ondas.

#### 3.6.2 Sensores de dirección del viento [17].

- **Veleta mecánica:** una veleta tradicional que grita con el viento y apunta en la dirección desde la cual sopla el viento.
- **Veleta electrónica:** combina sensores electrónicos que detectan la posición angular de la veleta y determina la dirección.

#### 3.6.3 Sensores combinados de velocidad y dirección del viento [17].

- **Sensor ultrasónico de viento 2D y 3D:** estos sensores avanzados miden tanto la velocidad como la dirección del viento en dos o tres ejes, brindando información precisa en tiempo real.
- **Sistema LIDAR o RADAR:** directa la velocidad y dirección del viento a diferentes alturas mediante pulsos láser (LIDAR) o de radio (RADAR), son útiles para estudios atmosféricos. Detalles en la **Figura 3.10**.



Figura 3.10 Sensores y sistemas para el control medioambiental...LSI LASTEM [17].

### 3.7 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACIÓN EN SAN FELIPE

Para determinar la factibilidad de la instalación, se analizan los siguientes parámetros:

- Distribución de velocidades del viento
- Variaciones estacionales
- Condiciones de turbulencia
- Influencia de obstáculos naturales y artificiales

### 3.8 SOFTWARES

#### 3.8.1 registrador de datos (Data Logger)

Las tecnologías modernas permiten que los registradores de datos ambientales integren herramientas avanzadas de procesamiento para calcular “magnitudes calculadas”, es decir, índices que facilitan una interpretación rápida y eficaz de la información recopilada. Tradicionalmente, los sensores enviaban datos brutos en instantáneos que requieren procesamiento posterior. Sin embargo, en el contexto de la monitorización ambiental, es fundamental sintetizar los datos en índices útiles de manera eficiente. Un registrador de datos ambiental versátil no solo recolecta y almacena información de varios sensores, sino que también procesa y transmite magnitudes calculadas, aplicando además reglas de validación para garantizar la calidad de datos [15].

##### 3.8.1.1 Ventajas de contar con un Data Logger

- Los datos recolectados están disponibles inmediatamente incluso en dispositivos que no son capaces de procesar los cálculos como son los dispositivos móviles

- Mediante los parámetros designados y umbrales apropiados, los datos se pueden utilizar para programar alarmas desde el Data Logger
- Su versatilidad para poder monitorear en todo momento las variaciones de datos y mediante programas externos podemos tener gráficas exactas.

### **3.8.2 3 DOM DATA MANAGEMENT APPLICATIONS**

Software de gestión de registradores de datos también desarrollado para usos múltiples. Su principal función es configurar el instrumento, almacenar datos y gestionar su descarga para su posterior análisis [18].

#### **3.8.2.1 Características principales**

##### **1. Configuración y gestión**

- Admite múltiples dispositivos como Alpha-Log, que le permite configurar la entrada lógica y la comunicación (WI-FI, VPN, SMS) y otros parámetros.

##### **2. Integración con otros sistemas**

- Usarlo preferencialmente con GUIDA VIEWER y otros módulos para procesar y analizar datos almacenados en base de datos SQL.

##### **3. Actualizaciones frecuentes**

- Optimización continua para incluir soporte para nuevos dispositivos y mejorar la experiencia del usuario.

Estos procedimientos son muy importantes para aplicaciones que requieren una medición y gestión precisa de datos meteorológicos, como estudios de viabilidad para proyectos de energía eólica.

### **3.8.3 MICROSOFT EXCEL**

Es una hoja de cálculo desarrollada en la que se puede realizar cálculos, análisis de datos y su visualización mediante gráficos y demás [20].

#### **3.8.3.1 Funciones y características principales**

- Hojas de cálculo organizadas en celdas.
- Uso de fórmulas y funciones predefinidas.
- Gráficos y herramientas de visualización.
- Tablas dinámicas para análisis de datos.
- Compatibilidad con macros y VBA.
- Importación y exportación de datos en diferentes formatos.
- Herramientas avanzadas de análisis estadísticos.

### 3.8.4 WRPLOT

**WRPLOT** es un software especializado y desarrollado para el análisis de datos meteorológicos, son usualmente utilizados para estudios de aire, modelados atmosféricos y evaluación del potencial eólico. Detalles de su interacción en la **Figura 3.11** [23].

#### 3.8.4.1 Características principales.

- **Generación de rosas de los vientos:** Permite visualizar las frecuencias de velocidad y dirección en un sitio determinado.
- **Compatibilidad con datos meteorológicos:** Permite la importación de datos en diferentes formatos de las estaciones meteorológicas.
- **Ajustes personalizados:** Se define a gusto propio intervalos de tiempo, colores a ocupar, entre otros.
- **Análisis estadístico:** Proporciona estadísticas de (viento, velocidad promedio, direcciones).
- **Exportación de resultados:** Amplia variedad para guardar información en formatos como (JPG, PNG, BMP y PDF).
- **Evaluación del potencial eólico:** Permite el conocimiento de las distribuciones del bien para determinar la viabilidad de las mismas para proyectos vinculados a estas.

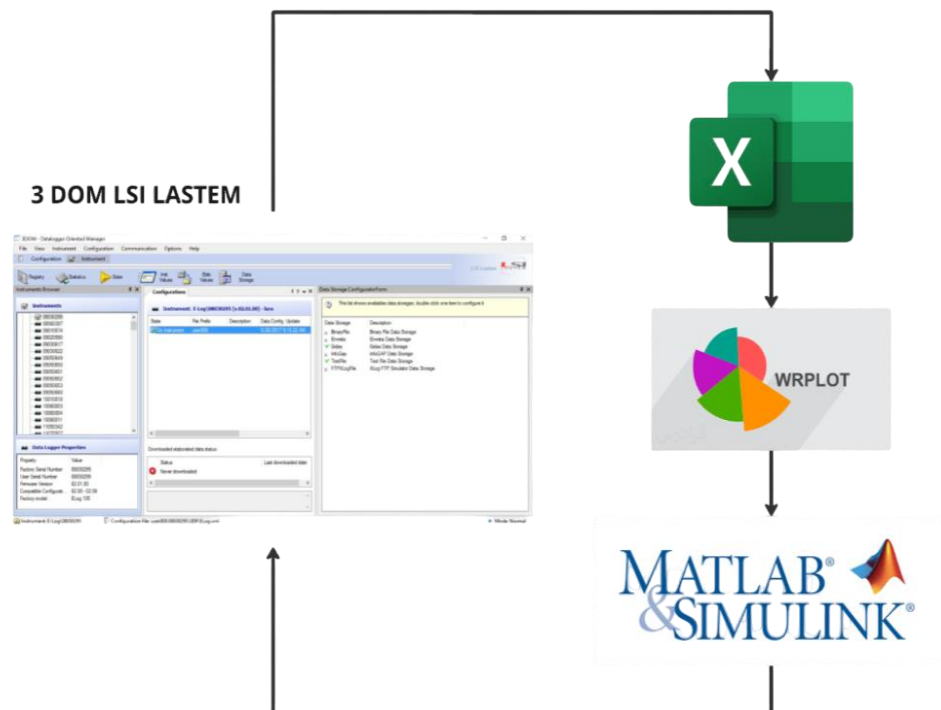


Figura 3.11 Sistema de trabajo para la evaluación del potencial eólico [23].

### 3.8.5 MATLAB Y SIMULINK

#### 3.8.5.1 MATLAB

Es una plataforma informática y un lenguaje de programación ampliamente utilizado en ingeniería, matemáticas, ciencias y economía. Destacada por su enfoque en operaciones matriciales, cálculos numéricos, visualización de datos y desarrollo de algoritmos, con las siguientes características: [24].

##### 1. Cálculo matemático avanzado

- Ideal para álgebra lineal, cálculo, numérico y ecuaciones diferenciales.
- Funciones predefinidas para optimización, interpolación y simulación.

##### 2. Visualización de datos

- Capacidad de producir gráficos 2D y 2D personalizables
- Herramientas avanzadas para animar y analizar grandes conjuntos de datos.

##### 3. Lenguaje de programación robusto

- Un marco para manipular matrices y datos.
- Admite programación estructurada, funcional y orientada a objetos.

##### 4. Toolboxes especializadas

- Más de 90 bibliotecas específicas para procesamiento de imágenes, aprendizaje automático, aprendizaje profundo, simulación financiera, análisis de señales, etc.

##### 5. Interoperabilidad

- Integración con lenguajes extremos como Python, C/C ++, Java y Fortran.
- Exporta datos en formatos como CSV, Excel o archivos gráficos.

##### 6. Desarrollo de aplicaciones

- Incluye herramientas para crear aplicaciones interactivas usando App Designer.
- Desarrolle rápidamente prototipos para su validación antes de la implementación.

#### 3.8.5.2 SIMULINK

Es una extensión de MATLAB para simulación y modelado de sistemas dinámicos y multidominios. Su interfaz gráfica le permite arrastrar y soltar bloques para representar ecuaciones diferenciales, sistemas de control y modelos físicos, con las siguientes características: [25].

##### 1. Entorno gráfico intuitivo

- Utiliza bloques de biblioteca predefinidos para el modelado visual.

- Conexiones claras entre bloques que representan relaciones matemáticas o flujos de datos.
- 2. Simulación dinámica**
    - Permite ejecutar simulaciones en tiempo instantáneo o discreto.
    - Admite simulación iterativa y análisis de sensibilidad.
  - 3. Modelado multidominio**
    - Compatible con sistemas eléctricos, mecánicos, térmicos, hidráulicos, etc.
    - Es ampliamente utilizado en el diseño de sistemas mecatrónicos.
  - 4. Diseño de sistemas de control**
    - Contiene módulos para el diseño y análisis de controladores PID y sistemas de tiempo discreto.
    - Integración con MATLAB para desarrollar algoritmos personalizables.
  - 5. Generación automática de código**
    - Simulink Coder le permite convertir modelos en código C/C++ optimizado para la implementación de hardware.
    - Compatible con FPGA, microcontroladores y sistemas integrados.
  - 6. Integración con MATLAB**
    - Utilice scripts de MATLAB para simulaciones enriquecidas.
    - Transmite los resultados directamente para realizar análisis avanzados.

- **DIFERENCIAS CLAVES**

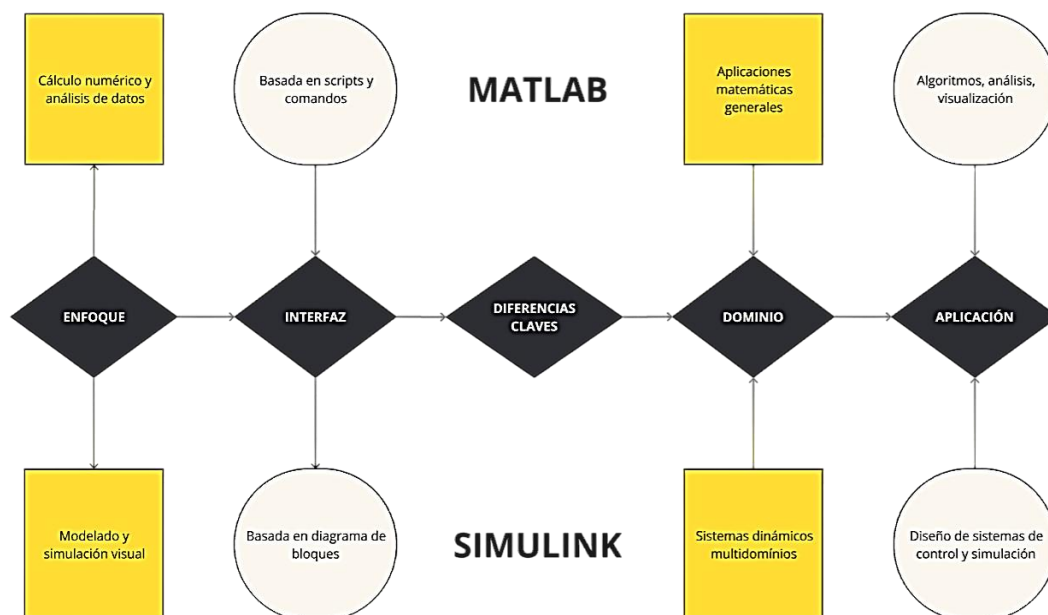


Figura 3.12 Diferencias de función (MATLAB –SIMULINK)

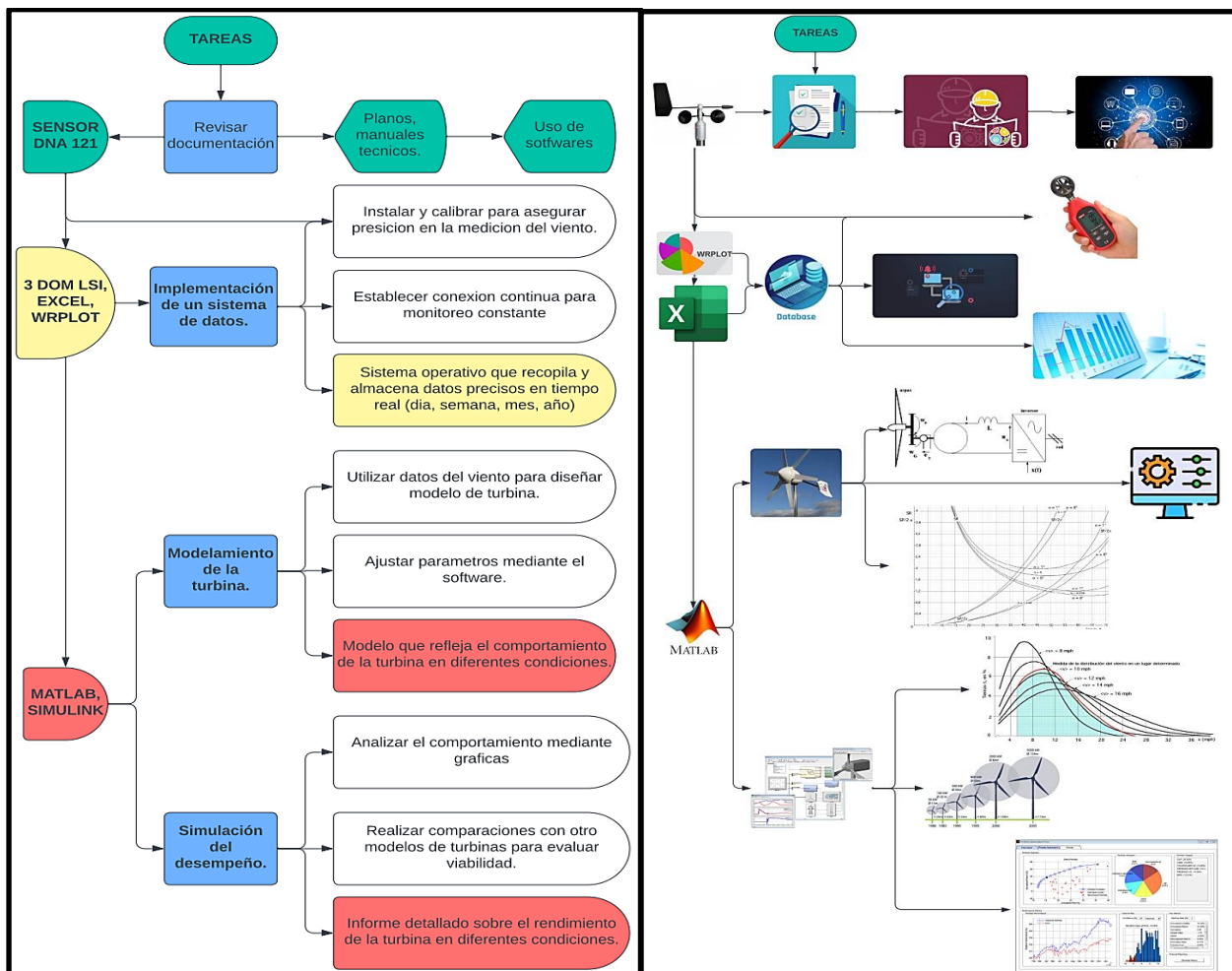
## 4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

A partir de la creación de las herramientas de monitoreo ambiental y meteorológico data de la creciente demanda de sistemas precisos de recolección de datos en diversos campos como meteorología, investigación ambiental y la gestión de energías renovables.

El alcance de este proyecto es evaluar el potencial eólico mediante el modelamiento de turbinas de baja capacidad a fin de determinar su desempeño. Este proceso además incluye la selección del sensor, data logger, softwares a usar y turbina de viento:

- SENSOR DNA 121
- E - LOG (DATA LOGGER)
- 3 DOM LSI LASTEM
- EXCEL
- WRPLOT
- MATLAB (SIMULINK)
- TURBINA DE VIENTO DE 3 ALAS (MATLAB - SIMULINK)

### 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO A REALIZAR.



## 4.2 ESTUDIO DEL VIENTO (DNA 121 Wind Sensor)

El DNA 121 es un sensor de viento desarrollado por LSI Lastem, especializado en medir dos parámetros fundamentales del viento: la velocidad y la dirección. Es un anemómetro adecuado para aplicaciones de energías renovables, proporcionando datos precisos en tiempo real que pueden ser utilizados para diversas finalidades, incluyendo la optimización de sistemas eólicos.

Dicho sensor en su interior, tiene transductores para medir la velocidad y dirección del viento. Su uso simplifica la instalación y el diseño de la planta en comparación con los sistemas con unidades separadas, además de ofrecer otras ventajas al ser más pequeño, ligero y económico.

El sistema de medición está compuesto por un sensor, los rotores DNA 124 y DNA 127 y el cable de Tipo DWA. El interior del conector del sensor se encuentra en la **Tabla 4.7**.

El conector MG2251 se utiliza cuando el usuario desea realizar su propio cable. Detalles **Tabla 4.6**.

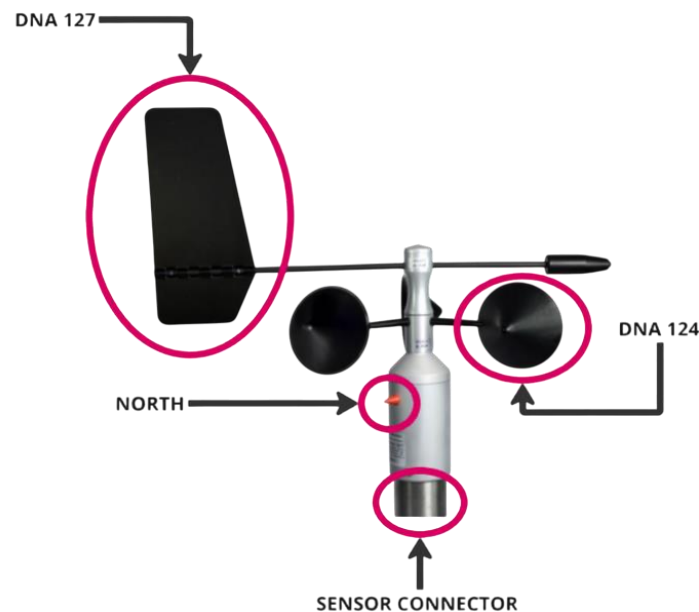


Figura 4.1: Sensor de viento DNA 121 (Wind Sensor LSI Lastem).

### 4.2.1 Instrucciones de montaje del sensor de viento DNA 121

Ubique el instrumento en una zona bien expuesta. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) aconseja que el dispositivo se instale a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo. Además, debe estar lo suficientemente alejado de cualquier obstáculo cercano, con una distancia mínima equivalente a 10 veces la altura de esos obstáculos, para evitar interferencias en las mediciones. Todos los detalles del montaje e instalación del sensor de viento DNA 121 están en el **ANEXO 2**.

### 4.2.2 Comprobación de funcionamiento de la medición de velocidad y dirección del viento.

La verificación que se realizará de manera análoga es mediante un multímetro.

Identifica las salidas del sensor según su código (**Tabla 4.3**) y procede de la siguiente manera:

En este caso para el sensor DNA 121 que su señal de salida se mide en frecuencias.

- Revise si tu multímetro está configurado para medir frecuencia (Hz).
- Coloque las puntas del multímetro a los dos cables o las borneras correspondientes al sensor de velocidad.
- Si el rotor está detenido debe marcar 0 Hz.
- Cuando el sensor se mueva marcará un valor superior a 0 Hz.R.

La verificación que se realizará de manera análoga es mediante un multímetro para la medición de la dirección del viento.

Identifica las salidas del sensor según su código (**Tabla 4.4**) y procede de la siguiente manera.

En este caso para el sensor DNA 121 que su señal de salida se mide en voltaje de (0÷1 y 0÷5 V).

1. Revisa si tu multímetro está configurado para medir Voltaje (DC) con una escala de 20V.
2. Coloque las puntas del multímetro a los dos cables o las borneras correspondientes al sensor de dirección.
3. Gire la paleta tal como se muestra en la tabla y verifique los valores.

#### **4.2.3 Mantenimiento**

Al menos una vez al año, deben realizarse comprobaciones rutinarias en el sensor combinado para asegurarse de que:

- El rotor y la bandera no están deformados.
- El pasador cónico sobre el que gira el rotor se mueve libremente.
- El sensor esté limpio y en buen estado; atención al espacio entre el transductor y el rotor.

#### **4.3. INSTRUMENTACIÓN (E - LOG)**

E-Log es un Data logger que fue diseñado para aplicaciones medioambientales cuenta con diversas entradas analógicas y digitales que son usadas para cálculos de magnitudes derivadas:

- Cuenta con 8/16 entradas analógicas.
- Cuenta con un consumo energético bastante bajo
- Cuenta con diversas mediciones entre canales para adquisición de sensores y magnitudes derivadas.
- Una gran biblioteca integrada para calcular cantidades derivadas y cálculos matemáticos.
- Protocolos Modbus-RTU Master/Slave, Protocolo TTY.

- Salidas digitales para implementar nuevos dispositivos externos que se pueden programar.
- Cuenta con conexión a una computadora vía RS232.

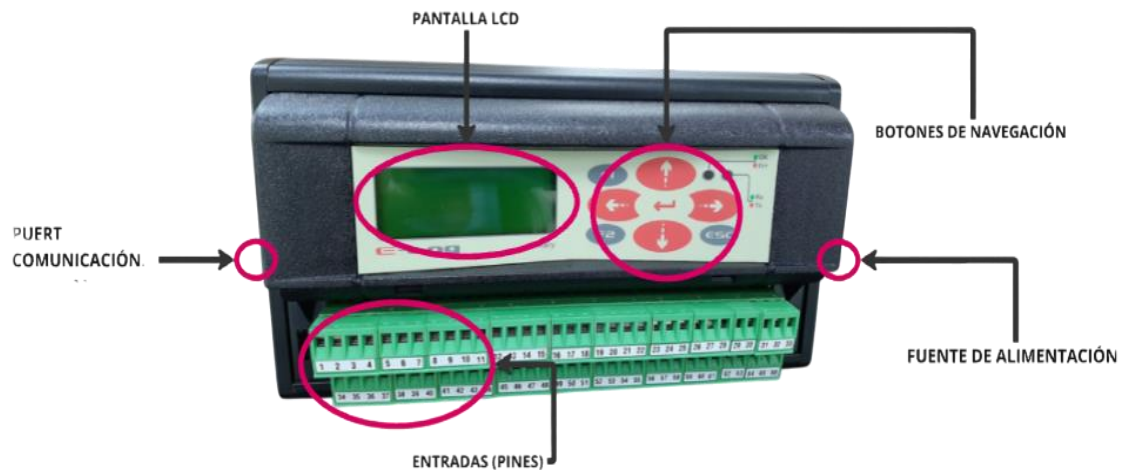


Figura 4.2: Data Logger (E-Log LSI Lastem).

Todos los datos adquiridos por los sensores E-Log almacena los datos y mediante diversos protocolos de comunicación transmite la información a una computadora donde se procederá a llevar un monitoreo en tiempo real.

#### 4.3.1 Alimentación E-log

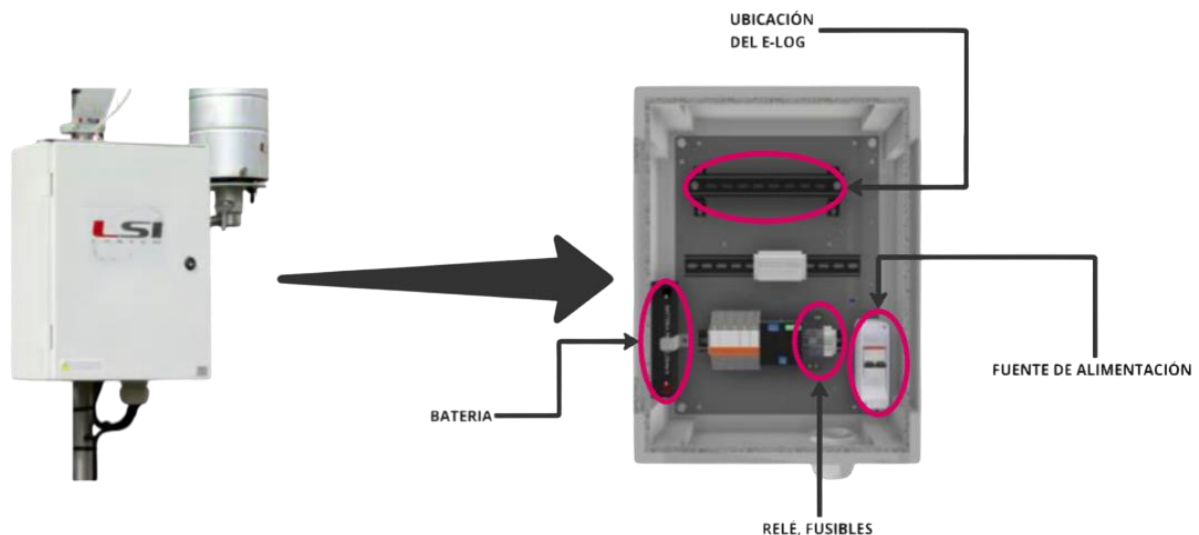


Figura 4.3 Gabinete LSI Lastem (ELF Enclosure).

Se alimenta mediante una fuente de alimentación externa (12 Vcc) o mediante su placa de terminales (**Tabla 4.2**)

Al conectar el convertidor AC DC a la batería, se logra la acción de encender el e-log para verificar si la batería está completamente cargada teniendo en cuenta que una batería cargada

es alrededor de 12,6 voltios con la alimentación principal no encendida podemos conectar el cable de alimentación principal pasando por el orificio del cable del gabinete a estos terminales: Detalles específicos en **Tabla 4.9** y **Tabla 4.10**.

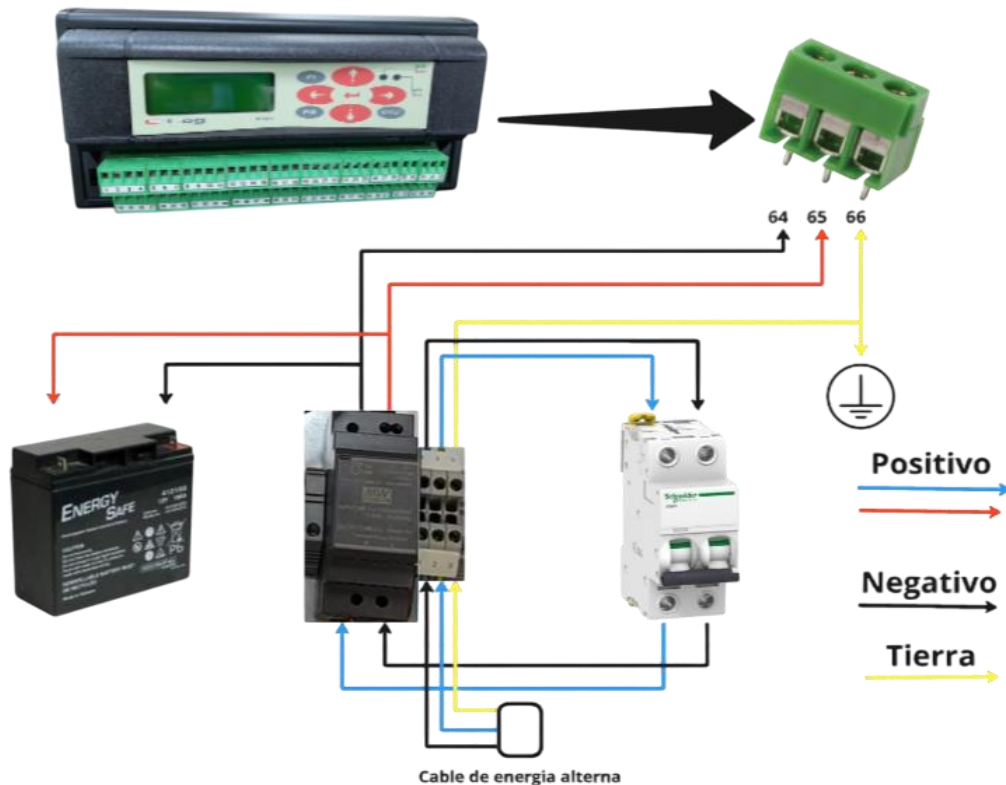


Figura 4.4 Conexión del convertidor AC DC

### 4.3.2 Conexión sensor DNA 121 a E-Log

Para realizar la conexión hay que tener en cuenta el esquema **Tabla 4.5** del sensor según el tipo de data logger (E-Log). Para ello se toma en cuenta la configuración de parámetros que este data logger tiene, para lo cual se utiliza estas dos secciones para su conexión.

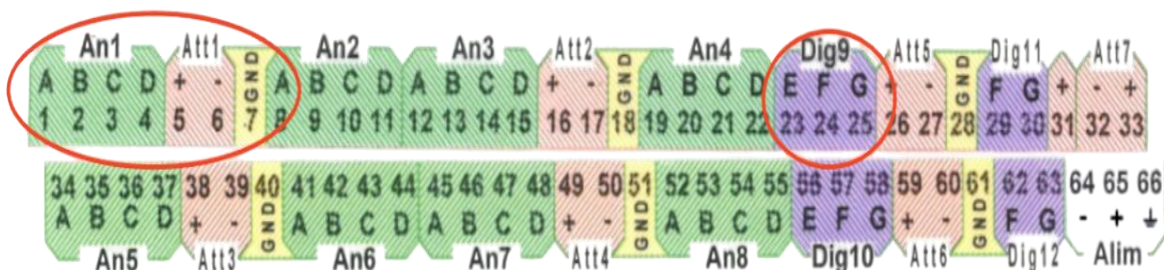


Figura 4.5 Tablero de terminales

A su vez, se debe considerar el cable a usar que en este caso es: **DWA525A**, y nos basaremos en la **Tabla 4.8** donde indica que significa cada color/señal de cables y las diferentes entradas a donde debe ir conectado en el data logger.

Quedando la conexión de esta manera: Detalles de la conexión en el **ANEXO 3 - Diagrama 4.18 y Diagrama 4.19.**

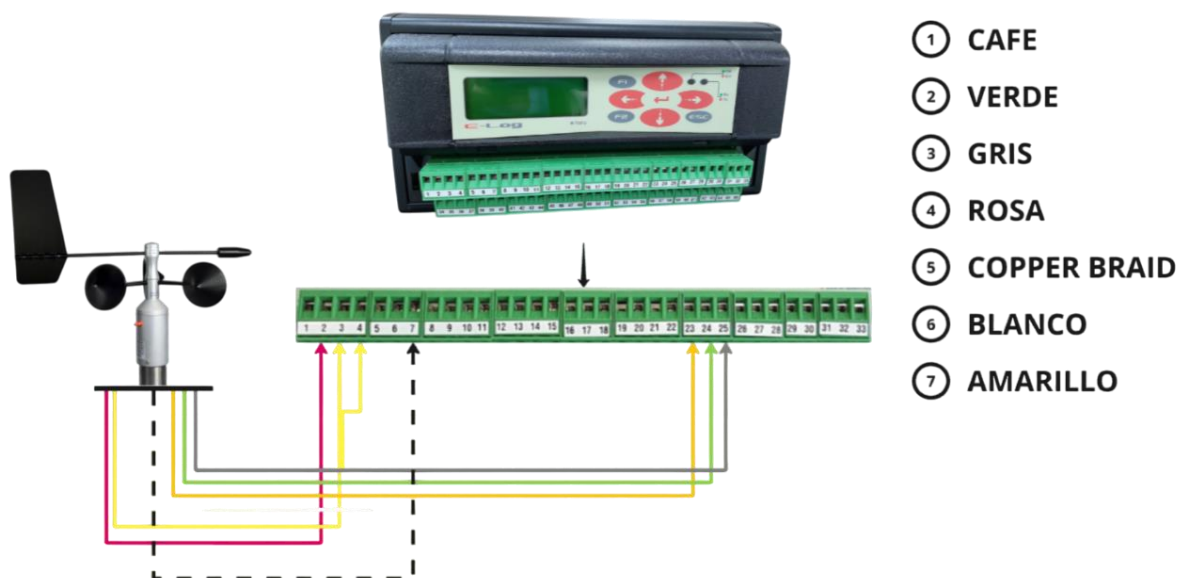


Figura 4.6: Esquema genérico de conexión eléctrica para data logger E/R/M-Log

### 4.3.3 Conexión al ordenador o entorno digital (RS232 cables, USB Interface)

Para poder conectar el registrador de datos E-Log a un ordenador destinado mediante el adaptador USB. El registrador de datos viene con un puerto RS232 y adaptador, si es la primera vez que se realiza se debe verificar si su ordenador ha reconocido el adaptador. Detalle **Tabla 4.12.**

Conecte el adaptador USB a un puerto USB del ordenador, hay que dar un tiempo de espera de 1 minuto para la instalación del controlador, una vez esperado abrimos el panel de control y nos dirigimos al administrador de dispositivos. Buscamos en puertos y verificamos el número de puerto COM asignado por el ordenador al adaptador.



Figura 4.7: Verificación del adaptador en el ordenador (administrador de dispositivos)

Una vez verificado, se procede a encender el E-Log y se conecta el lado hembra al adaptador USB y el otro al E-Log y así los LEDS del registrador comenzarán a parpadear.

Dicho convertidor posee muchas entradas que permiten diferentes tipos de conexión de sensores, sean estos: Analógicos, digitales y modbus (**Tabla 4.13**).

Además de ser compatible con el programa *3DOM LSI LASTEM* que ayudará con la configuración y adquisición de datos. Utilizaremos el cable RS232 y su convertidor tipo USB.



Figura 4.8 Convertidor alimentado y conectado para interfaz con el ordenador.

Ya conectada y completada la instalación del E-Log con el sensor DNA 121 entablamos la conexión con el ordenador.



Figura 4.9 Cable RS232 conectado al E-log y en el ordenador para adquisición de datos.

Finalizada la conexión tanto analógica como eléctrica del sensor de viento *DNA 121*, *Data Logger* (E-Log) y su comunicación o interfaz hacia el ordenador, procederemos a trabajar con los datos que *3DOM* recibirá a su plataforma, *WRPLOT* y *Excel* a su vez nos ayudaran con el análisis estadísticos y *MATLAB (SIMULINK)* con la generación del potencial eólico captado por la turbina eólica y su viabilidad.

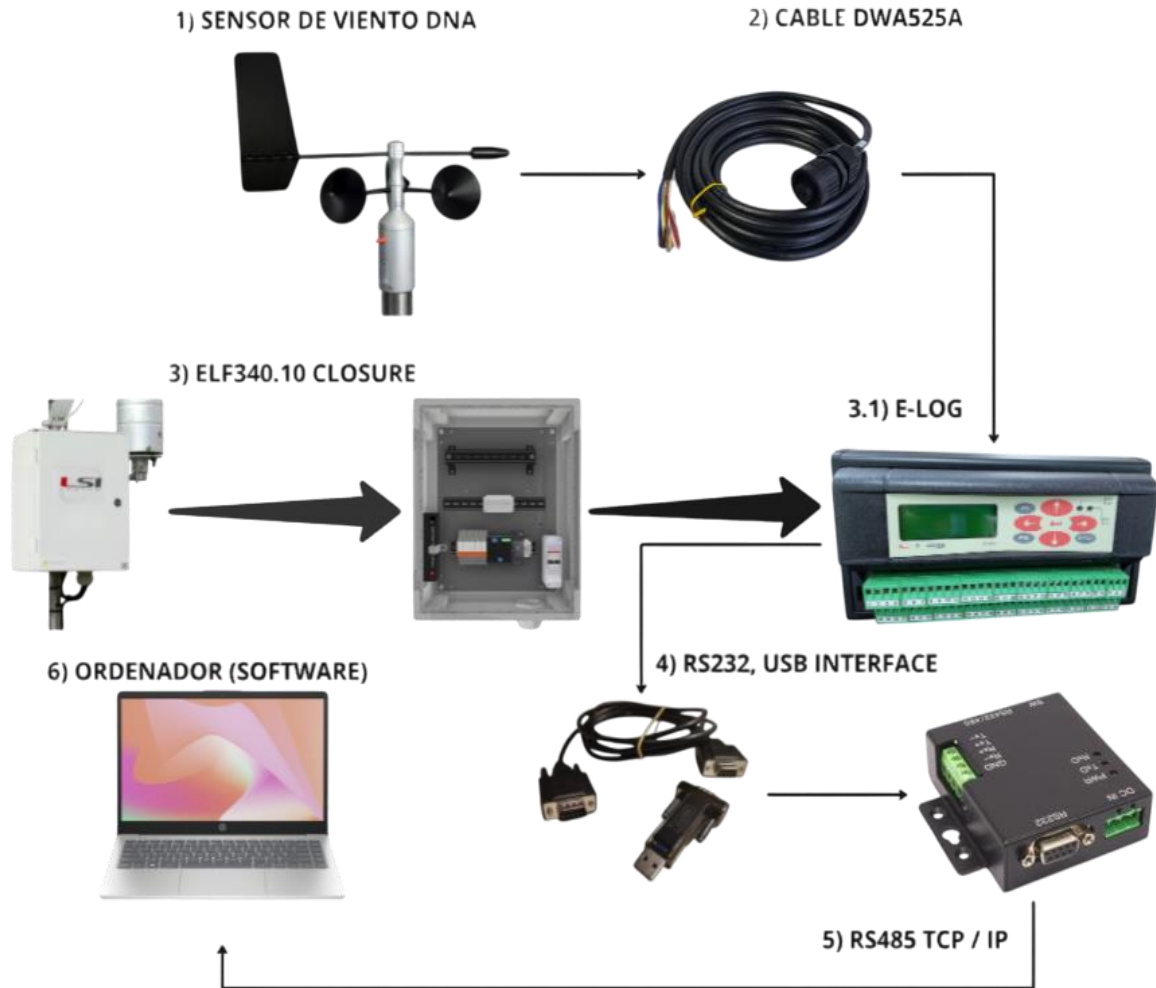


Figura 4.10 Diagrama de flujo de conexión completa.

#### 4.4 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS (3 DOM - EXCEL - WRPLOT)

Para iniciar el proceso de adquisición de datos que el sensor DNA 121 brinda, se requiere instalar y configurar el sistema E-log usando el programa 3DOM para obtener dichos datos.

##### 4.4.1 3DOM DATA MANAGEMENT APPLICATIONS

Mediante este software, se puede realizar la configuración del instrumento a manejar (E-Log), cambios de **Software 3DOM** hora/fecha del sistema y poder descargar los datos almacenados que serán guardados en uno o varios formatos.

Una vez realizado el proceso de instalación, iniciamos el programa mostrando la siguiente pantalla de inicio:

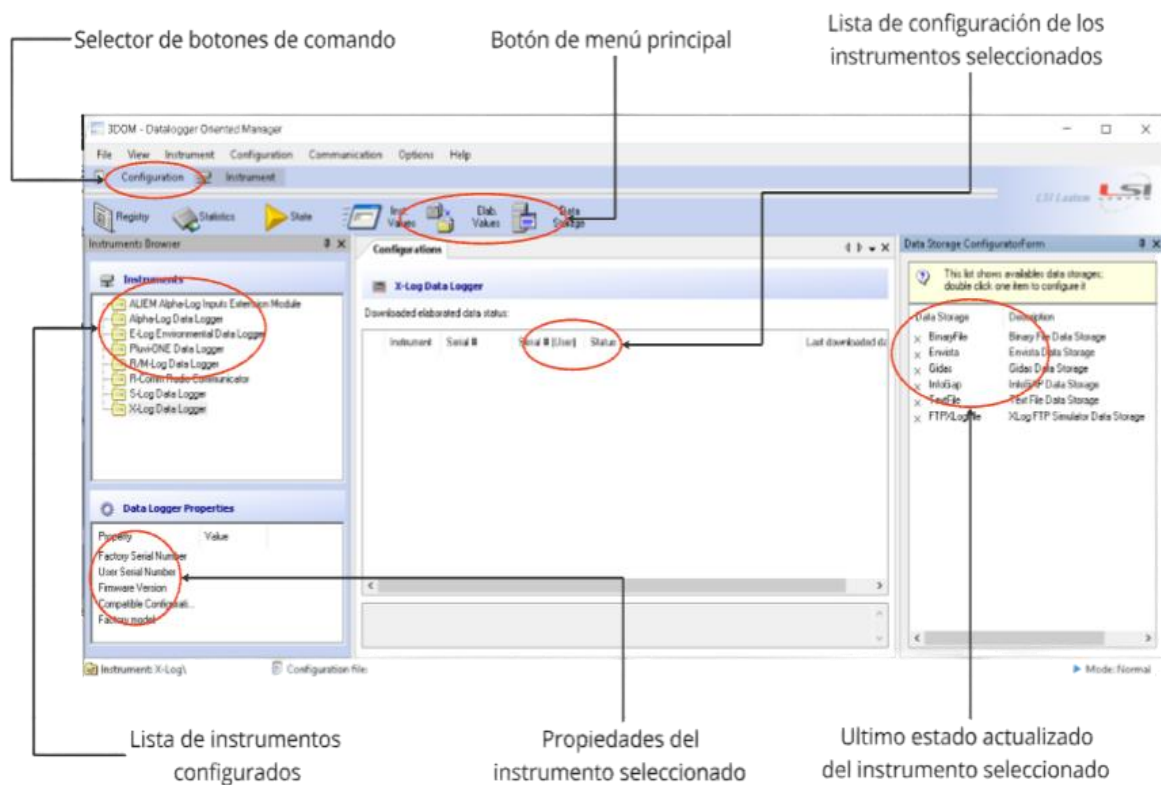


Figura 4.11: Pantalla principal (software 3DOM).

- **Selector de botones de comando:** Observa las diferentes configuraciones que el software proporciona.
- **Botón de menú principal:** Accede al menú donde realizar configuraciones, comunica con los dispositivos, descarga datos almacenados.
- **Lista de configuración de los instrumentos seleccionados:** Muestra el estado de configuración actual de los dispositivos conectados.
- **Lista de instrumentos configurados:** Muestra todos los dispositivos (E-Log) que se registran y se configuran.
- **Propiedades del instrumento seleccionado:** Brinda información del instrumento (N° de serie, firmware y compatibilidad).
- **Último estado de actualización del instrumento seleccionado:** Indica información sobre la actualización de cada instrumento seleccionado.

Para que la operación de adquisición de datos se mantenga debe estar enlazado con el RS232 y USB Interface (Detalles vistos en la **Tabla 4.12**, es fundamental que se revise el reloj interno que el software maneja para garantizar mayor precisión al momento de captar o recibir datos. En cuanto a la configuración del instrumento a utilizar (**E-Log**) se requiere el ajuste de los parámetros como características específicas, tasa de muestreos, entre otros.

En cambio, para el conector de diferentes sensores y sondas **Tabla 4.14**, debe manejarse con el debido cuidado por lo que se apagará el dispositivo para cualquier tipo de conexión. El software como tal cuenta con un modo rápido que permite el monitoreo y sondeo de datos en tiempo real, la configuración realizada permite sincronizaciones de información y luego poder exportar los datos ya almacenados.

Los datos que el software 3DOM nos remite son en formatos como base de datos SQL o archivos de texto (txt), para el uso y compatibilidad con el resto de programas de tabulación. (**EXCEL, WRPLOT**).

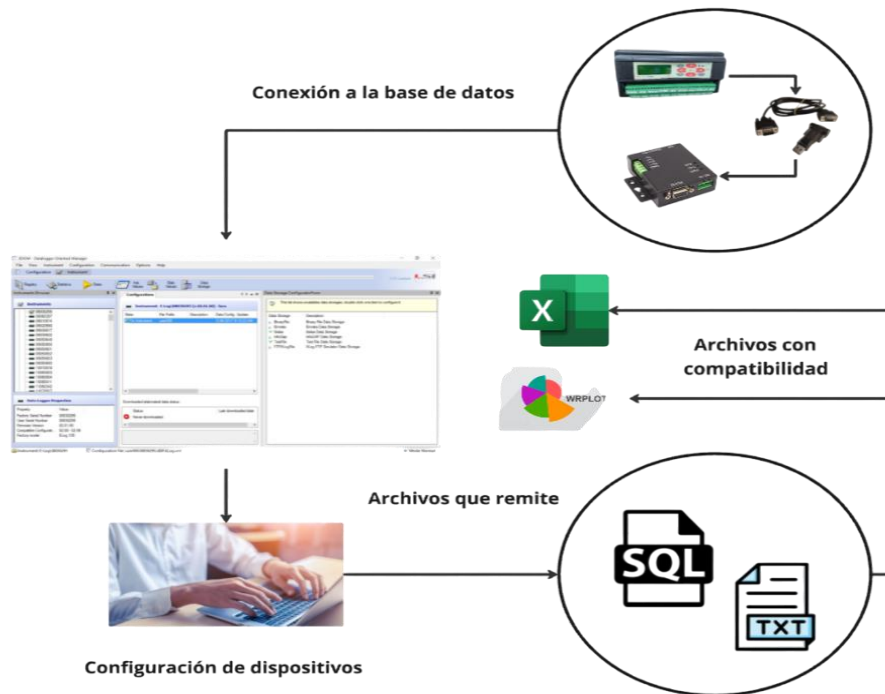


Figura 4.12: Sistema de trabajo o de operación (software 3DOM).

#### 4.4.2 MICROSOFT EXCEL

En cuestión al análisis, sobre todo para la velocidad del viento, se importe en formatos CSV (base de datos SQL) o TXT, en caso de no estar en ninguno de los formatos antes mencionados es más sencillo solo copiar y pegar en la hoja de cálculo. Se ordenan los datos según el uso correspondiente que se le dé, para posterior la eliminación de valores atípicos como 0 o valores negativos (valores que no dan algo relevante para la activación o funcionamiento correcto de una turbina de baja capacidad). Dichos datos que se realizará la tabulación correspondiente debe estar en períodos o tasas de 10 minutos cada dato recibido.

Un dato importante para poder trabajar o poder conseguir el estudio del viento es determinando la **Curva de Weibull** ya que esta permite prever diferentes o un comportamiento futuro de falla que esta pueda tener al momento de su funcionamiento. Detalles del procedimiento o como se debe de realizar en la **Tabla 4.15**.

Para la realización de la curva de Weibull o análisis de probabilidad de Weibull se trabaja con una distribución de frecuencias (Acumulada, Relativa, Absoluta), para lo cual se tendrá en cuenta lo siguiente: **Tabla 4.16**.

- **Contar la frecuencia absoluta:** Usar la función (**FRECUENCIA(datos, intervalos)**)
- **Calcular la frecuencia relativa:** Usar la formula

$$fr = \frac{\text{Frecuencia Absoluta}}{\text{Total de datos}} \quad (\text{E 4.1})$$

- **Obtener la frecuencia acumulada:** Sumar progresivamente los valores de la frecuencia absoluta.
- **Tabular los datos:** Crea una tabla adecuada y coloca los valores obtenidos de la distribución de frecuencias **Tabla 4.16**.

Determinar la distribución de frecuencia nos permite identificar variables a usar al momento del diseño de la turbina de viento de baja capacidad, que son los valores claves para el correcto funcionamiento. La curva o distribución de Weibull sirve para el modelamiento de la velocidad del viento. Su función en relación de la densidad de probabilidad se expresa como:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k} \quad (\text{E 4.2})$$

Donde:

- v = Velocidad del viento (m/s)
- k = Parámetro de forma (adimensional)
- c = Parámetro de escala (m/s)

Ya calculado los parámetros necesarios que servirán tanto para el gráfico como para el otro Software (**Matlab - Simulink**) aplicaremos la siguiente función o comando que **EXCEL** nos otorga: **AJUSTA.WEIBULL (datos, VERDADERO)**. Finalmente se insertará un gráfico de dispersión donde el eje X serán los datos de la velocidad de viento y el eje Y la densidad o curva de Weibull el cual se debe agregar una línea de tendencia exponencial para mejor visualización y entendimiento.

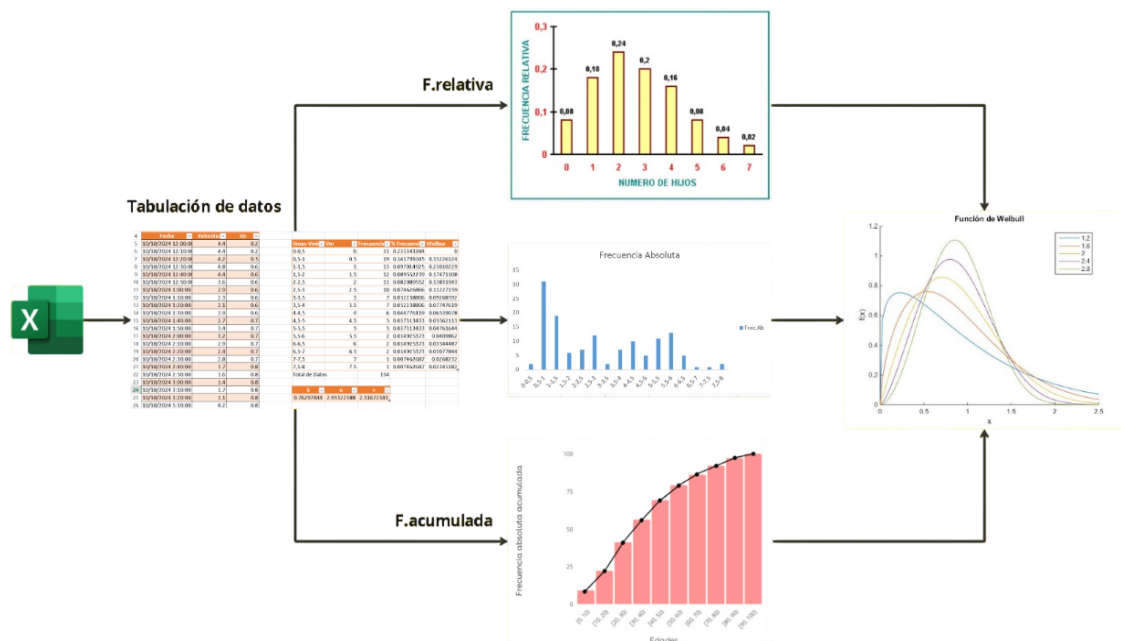


Figura 4.13: Sistema de tabulación de datos EXCEL (Curva de Weibull).

### 4.4.3 WRPLOT

Una vez realizado el proceso de instalación, iniciamos el programa mostrando la siguiente pantalla de inicio:

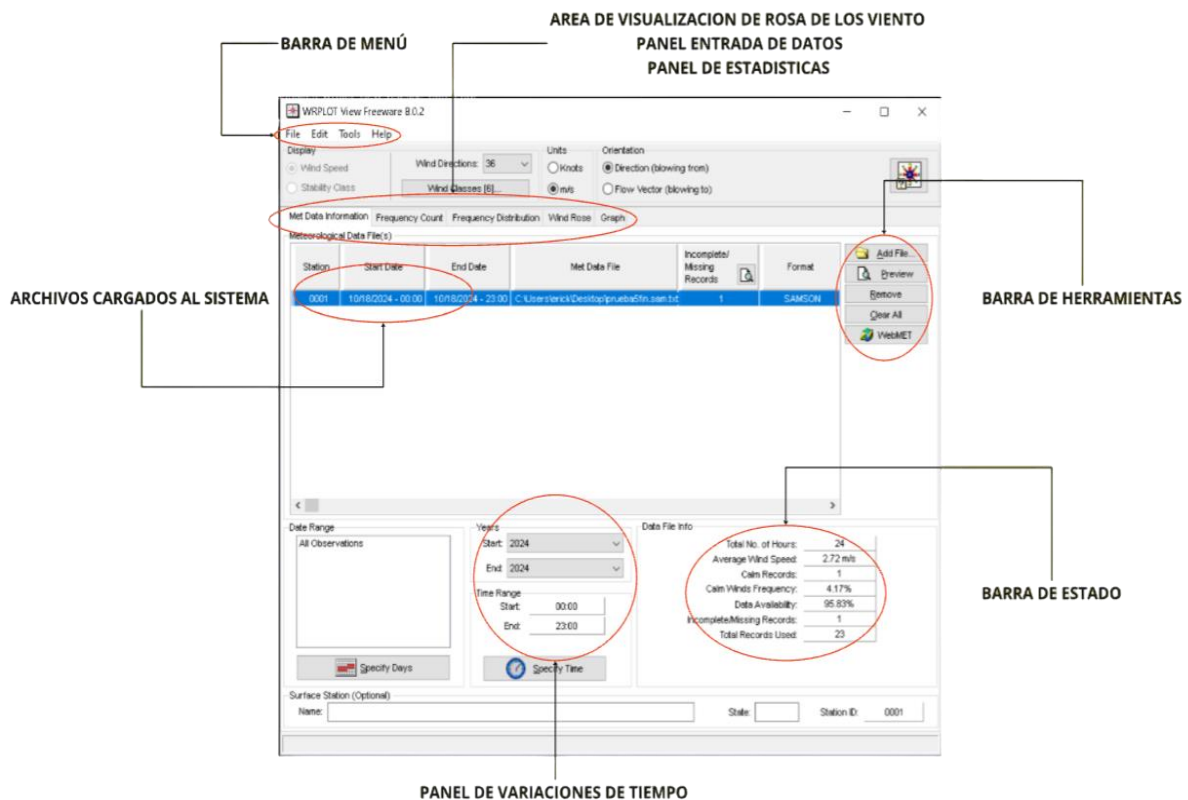


Figura 4.14: Pantalla principal (WRPLOT).

- **Barra de menú:** Contienen las opciones básicas de (Archivo, Editar, Herramientas, entre otros).
- **Barra de herramientas:** Iconos principales para abrir, guardar archivos y modificar estadísticas y la rosa de los vientos.
- **Área de visualización, panel de entrada, panel de estadística:** Muestra la representación gráfica de la rosa de los vientos, además de las distribuciones de frecuencias y el ingreso de datos en caso de modificaciones.
- **Barra de estado:** Permite visualizar la información que el archivo tiene (o si tiene alguna falla de compilación).
- **Panel de variaciones del tiempo:** Indica rangos o intervalos que podemos dar para modificar gráficas.
- **Archivos cargados al sistema:** Indica la cantidad de archivos que están ya en el sistema para revisar sus gráficas.

Dicho programa en cuestión en cambia nos ayudará a determinar la rosa de los vientos ya que esta aparte de servir para la orientación, señal la dirección de los vientos, puntos cardinales y para este tipo de proyecto es de utilidad para saber de qué lado del hemisferio ecuatorial viene el viento y hacia dónde se dirige. Para la importación al **WRPLOT** se necesita el formato CSV proveniente del **EXCEL**, para determinar dicha gráfica los datos se establecerá una tabla donde se detalle: **Tabla 4.17**

- Velocidad del viento (m/s).
- Dirección del viento (°).
- Los datos receptados deberán estar en períodos o tasas de muestreo de una hora.

El programa automáticamente una vez se haya registrado o importado los datos, abrirá pestañas que se puede visualizar sea de la tabulación de datos y del grafico de la rosa de los vientos. En dicho gráfico se definen por sectores (**colores**) en los cuales se dividirá el gráfico según la dirección que el viento haya tomado (**16 a 32 direcciones**)

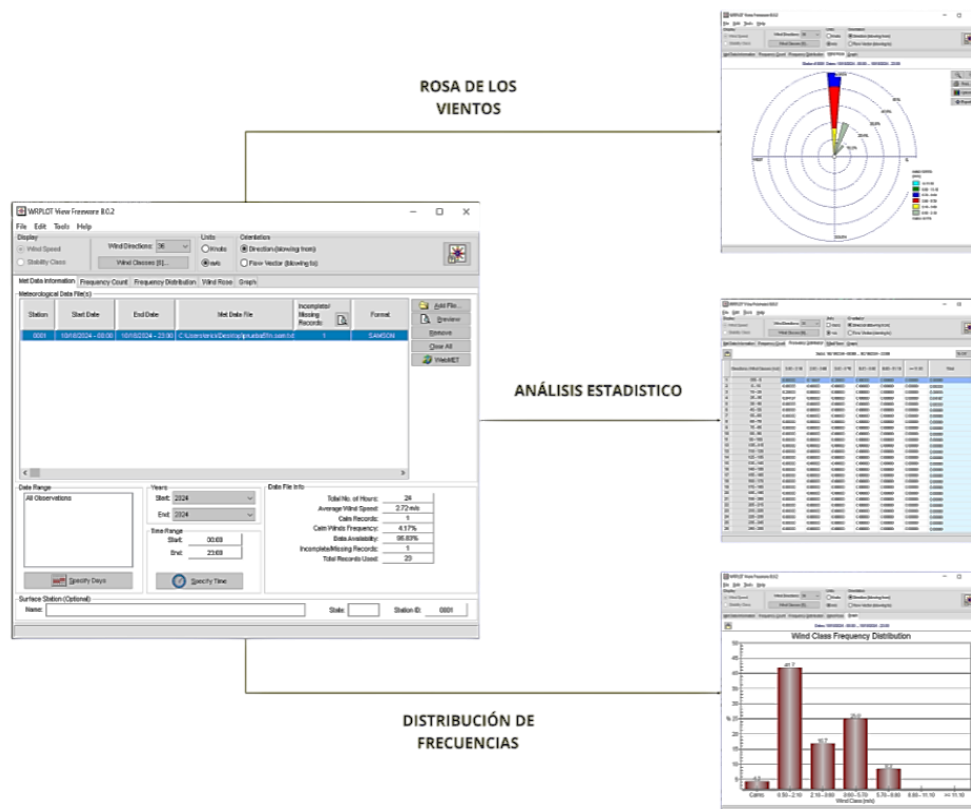


Figura 4.15: Interfaz de interacción con el software (WRPLOT)

#### 4.5 MODELAMIENTO DE TURBINAS DE BAJA CAPACIDAD (SIMULINK)

Para poder modelar turbinas de baja capacidad, se necesita de un fabricante para poder determinar todos los valores necesarios que se requiera para determinar el  $TM_{pu}$ .

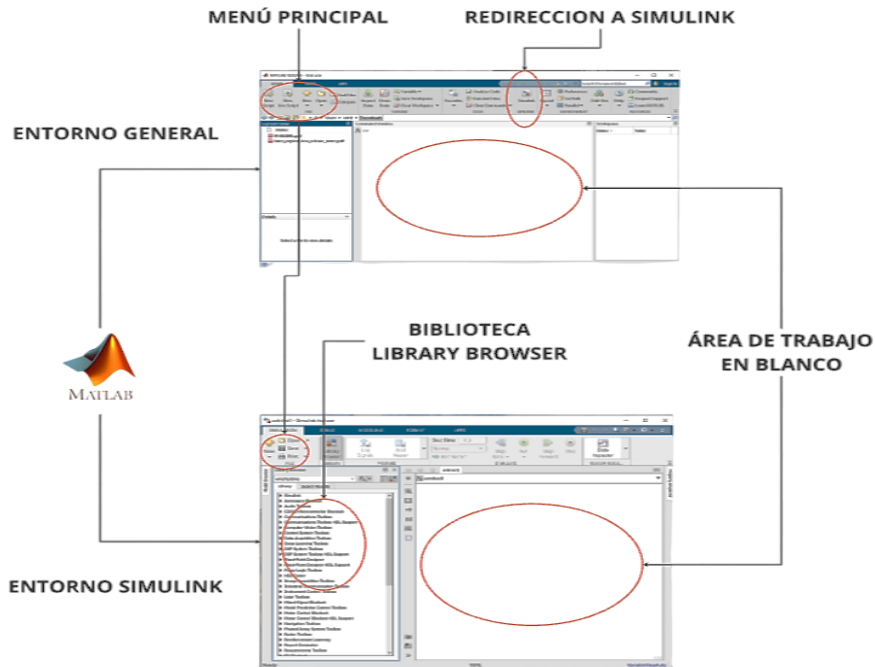


Figura 4.16 Interfaz de interacción con el software (MATLAB / SIMULINK)

#### 4.5.1 Turbina adecuada para el proyecto.

Utilizaremos la turbina del software MATLAB (Simulink) de 3 alas (tanto para el vertical como el horizontal):

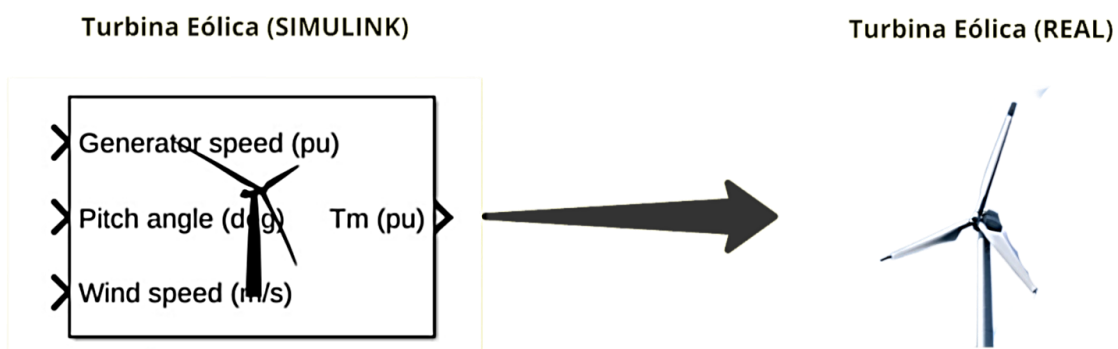


Figura 4.17: Modelo de turbina perteneciente al software MATLAB (SIMULINK).

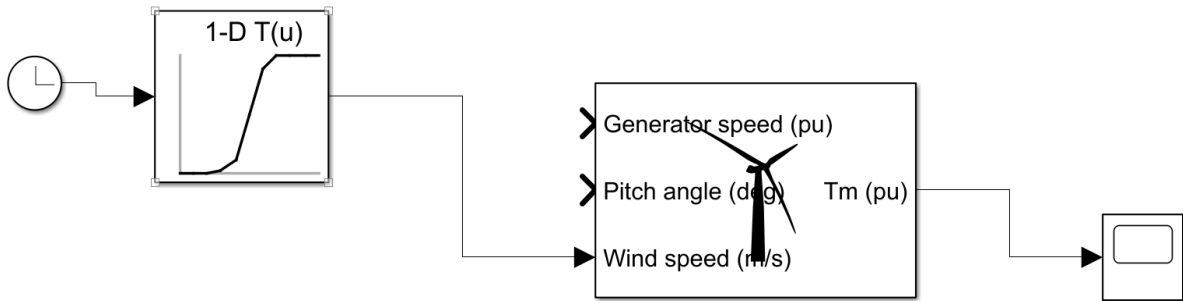
- **Wind speed (m/s):** Entrada de datos de velocidad de viento siendo un parámetro que sirve para calcular la potencia de salida.
- **Pitch angle (deg):** Ángulo en grados, controla y protege de velocidades extremas para generar eficiencia en la turbina.
- **Generator speed (pu):** Presenta la velocidad del generador por unidad..
- **TM(pu):** Es el torque mecánico que la turbina va a generar por unidad, usada para el cálculo de la conversión de energía del viento en energía mecánica.

## 4.5.2 Modelamiento de turbina (vertical y horizontal)

- **Modelo de turbina vertical.**

Para la implementación y trabajo en el Simulink necesitaremos los siguientes elementos a buscar en la librería: **Tabla 4.18.**

Una vez encontrado los elementos se procede a su conexión:



4.18 Conexión completo del modelo de turbina vertical

Para poder determinar su comportamiento en el osciloscopio colocaremos los siguientes datos (según los datos reales del fabricante). **Tabla 4.19.**

En el bloque de parámetros en el apartado Table data hacemos llamado a los datos de la velocidad de viento que se encuentran en el Workspace, el siguiente paso es ir al apartado Breakpoints colocamos la cantidad de datos que se van a analizar para luego dar click en aplicar y en el apartado Stop time colocamos la cantidad de datos que se van a simular.

Para calcular los datos que se deben ingresar en el cuadro o bloque de la turbina se requiere de los siguientes cálculos: **Detalles Anexo 5 – Figura 4.21**

1. **Potencia nominal:** La que viene del datasheet del fabricante. (**700W**).
2. **Potencia base del generador eléctrico:** Asumiendo el caso de una eficiencia del 50% (**0.5**).

$$\frac{700W}{0.5} \approx 1400 VA \quad (E 4.3)$$

3. **Velocidad Nominal del viento:** Valor determinado por el fabricante (**12 m/s**)
4. **Potencia máxima a la velocidad nominal del viento pu:** Valores determinados por el fabricante (**MAX 1000W – MIN 700W**), se requiera una relación por unidad (pu).

$$\frac{700W}{1000W} = 0.7 p. u. \quad (E 4.4)$$

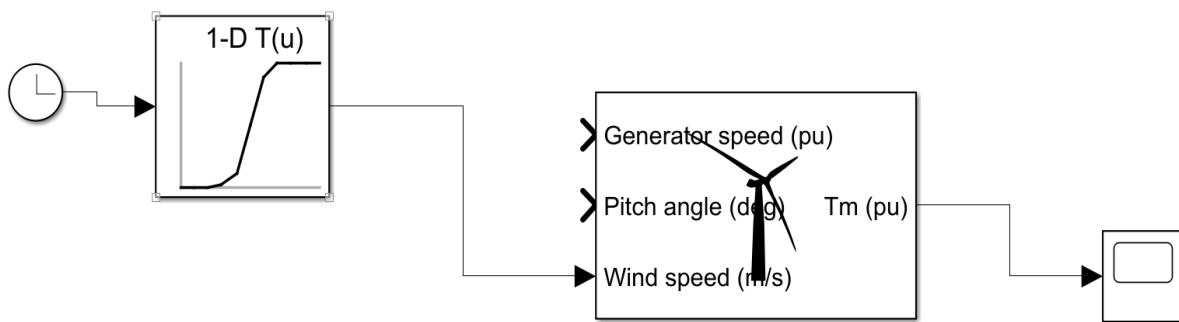
5. **Velocidad rotacional del generador:** Para una configuración precisa, se optó por un estimado común para este tipo de generadores (**1000 rpm**). Se ingresa **0.1** (que representa el 100% de la velocidad base asumida).
6. **Angulo beta para mostrar las características de potencia de la turbina (beta >=0):** La turbina vertical DS700 Etneo utiliza una combinación de palas (Darrieus y Savonius), pero no se menciona un ángulo de paso variable, por lo tanto se asume un ángulo de **0° (0 deg)**.

Finaliza la acción dando Run a la simulación y poder ver el comportamiento que la turbina tendrá con la cantidad de datos ingresados.

- **Modelo de turbina Horizontal.**

Para la implementación y trabajo en el Simulink necesitaremos los siguientes elementos a buscar en la librería: **Tabla 4.20**.

Una vez encontrado los elementos se procede a su conexión:



4.19 Conexión completo del modelo de turbina Horizontal

Para poder determinar su comportamiento en el osciloscopio colocaremos los siguientes datos (según los datos reales del fabricante). **Tabla 4.21**.

En el bloque de parámetros en el apartado Table data hacemos llamado a los datos de la velocidad de viento que se encuentran en el Workspace, el siguiente paso es ir al apartado Breakpoints colocamos la cantidad de datos que se van a analizar para luego dar click en aplicar y en el apartado Stop time colocamos la cantidad de datos que se van a simular.

Para calcular los datos que se deben ingresar en el cuadro o bloque de la turbina se requiere de los siguientes cálculos: **Detalles Anexo 5 – Figura 4.22**

1. **Potencia nominal:** La que viene del datasheet del fabricante. (**15kW**) (**15e3**).

- Potencia base del generador eléctrico:** Asumiendo el caso de una eficiencia del 50% (0.5).

$$\frac{15000W}{0.5} \approx 30000 VA \quad (E 4.5)$$

- Velocidad Nominal del viento:** Valor determinado por el fabricante (10 m/s)
- Potencia máxima a la velocidad nominal del viento pu:** Valores determinados por el fabricante (MAX 20kW – MIN 15kW), se requiera una relación por unidad (pu).

$$\frac{15kW}{20kW} = 0.75 p. u. \quad (E 4.6)$$

- Velocidad rotacional del generador:** Para una configuración precisa, se opto por un estimado común para este tipo de generadores (12000 rpm). Se ingresa 1.2 (que representa el 100% de la velocidad base asumida).
- Angulo beta para mostrar las características de potencia de la turbina (beta >=0):** La turbina Horizontal si cuenta con un control de ángulo de paso, que es de 0° (0 deg).

Finaliza la acción dando Run a la simulación y poder ver el comportamiento que la turbina tendrá con la cantidad de datos ingresados.

#### 4.5.3 Modelo Matemático de la turbina seleccionada

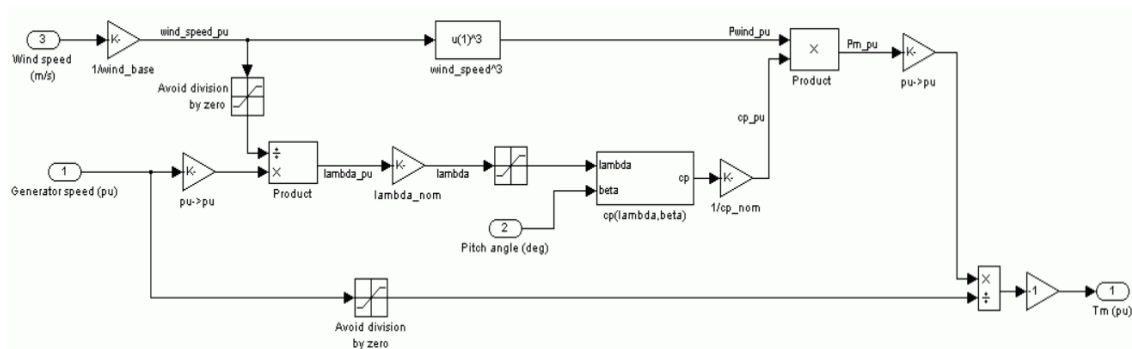


Figura 4.20: Modelo matemático de la turbina de viento (SIMULINK).

Para más detalles de los componentes y conexión del modelo matemático en el ANEXO 5.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El resultado obtenido a partir de la valoración de los datos generados mediante el modelamiento y la simulación del potencial eólico en el sector San Felipe para turbinas de baja capacidad

permite analizar su comportamiento en diversas condiciones. Para ello se presentan diversas gráficas que muestran la variación y el comportamiento de los datos en diversos factores.

## 5.1 SIMULACIÓN DE LOS DATOS DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.

Las simulaciones se llevan a cabo con el propósito de analizar el comportamiento del viento en la zona de San Felipe y evaluar la viabilidad de instalar una turbina de baja capacidad. Para ello, se recopilaron y analizaron múltiples muestras de datos, garantizando un estudio preciso y fundamentado.

### 5.1.1 Simulación del comportamiento de un Día.

- **Velocidad de viento**

Para la simulación de la velocidad del viento, se utilizó la teoría de Weibull, la cual permite modelar la distribución de velocidades y evaluar su variabilidad a lo largo del día. En este caso, la muestra corresponde al 18 de octubre de 2024, como se observa en el **Figura 5.1**, que representa la variación de la velocidad del viento.



Figura 5.1: Velocidad el viento de un día

En la gráfica de velocidad de viento, se calculó y representó la velocidad media, la cual está indicada con una línea amarilla. El valor promedio obtenido es de 2.9552 m/s, proporcionando una referencia clave para el análisis del potencial eólico.

Con el objetivo de analizar la frecuencia y distribución de la velocidad del viento, se recopilaron y tabularon los datos de su variación, como se muestra en la **Tabla 4.17**. A partir de esta información, se generó una gráfica que representa la probabilidad de ocurrencia de distintas velocidades del viento, como se observa en la **Figura 5.2**.

En esta gráfica, se aprecia que la velocidad del viento con mayor probabilidad mayor probabilidad de ocurrencia se encuentra en el rango de 0 a 0.5 m/s, mientras que la menos probable se sitúa entre 7.5 y 8 m/s.

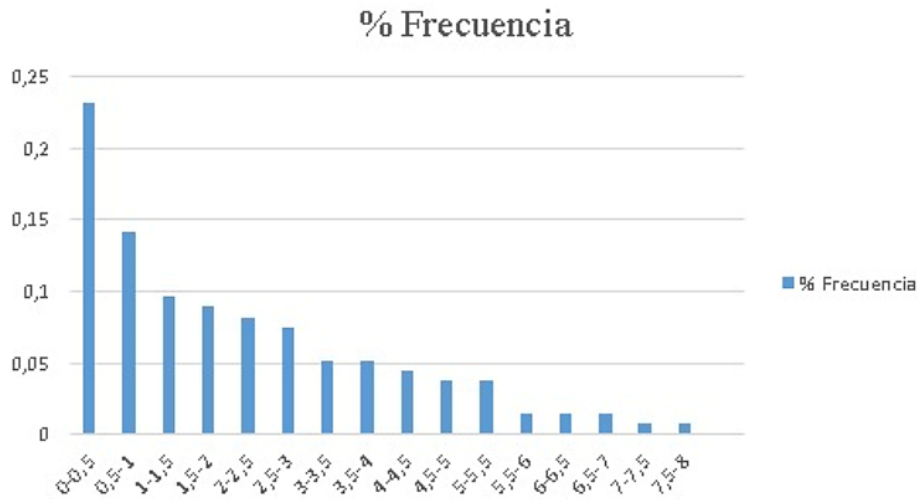


Figura 5.2: Porcentaje de frecuencia de los vientos

Una vez obtenido los datos de frecuencia, se procede a aplicar la teoría de Weibull utilizando la fórmula (E 4.2). Esto permite representar la función de densidad de probabilidad de la muestra, así como la función de distribución acumulada, tal como se muestra en la Figura 5.3.

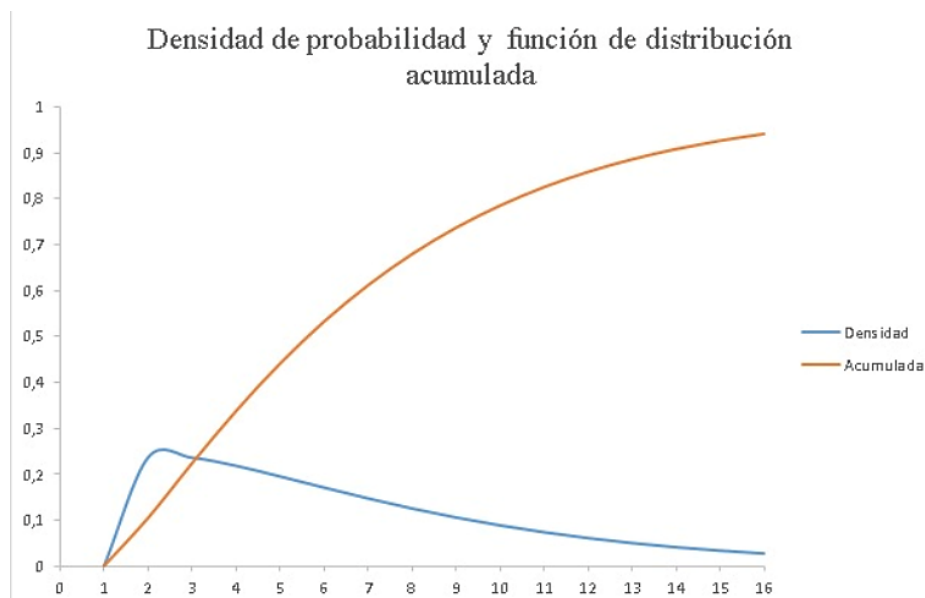
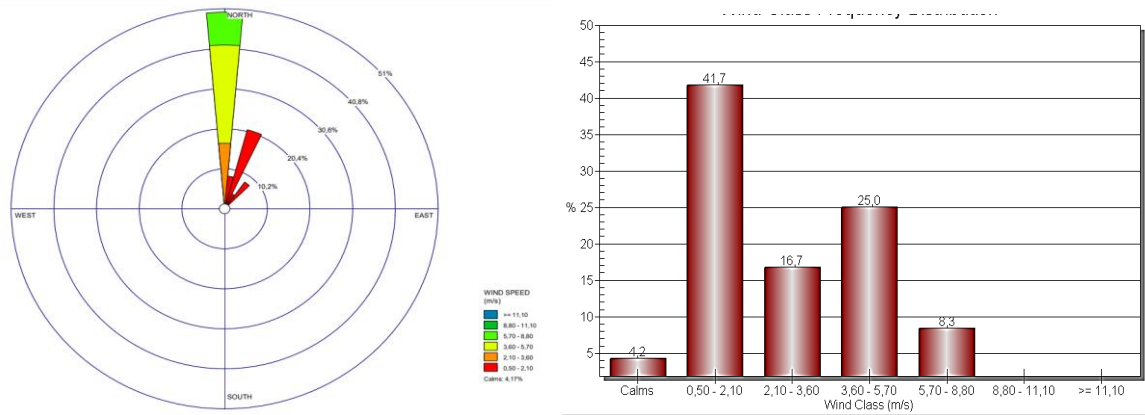


Figura 5.3: Densidad de probabilidad y función de distribución acumulada

La curva azul, que representa la densidad de probabilidad, muestra que los valores más frecuentes se encuentran en el rango de 0.5 a 2.5 m/s, con un máximo de ocurrencia en 0.5-1 m/s, como se evidencia en la **Tabla 4.17**, mientras que la curva naranja que representa la función de distribución acumulada, indica que más del 60% del tiempo, la velocidad del viento es inferior a 3 m/s, lo que sugiere que la disponibilidad de viento para generación eléctrica es limitada.

- **Dirección del viento.**

El sensor también nos proporciona datos sobre la dirección del viento, los cuales son organizados y tabulados según se muestra en la **Tabla 5.1**. A partir de estos datos, se empleó el software WRPLOT para generar la rosa de los vientos, un gráfico que nos permitirá visualizar las direcciones predominantes del viento en la zona de estudio como se muestra en la **Figura 5.4**.



(a) Rosa de los vientos

(b) Frecuencia de distribución

Figura 5.4 Comportamiento de dirección del viento de un Día

Podemos evidenciar que la mayor parte del viento proviene del norte, con contribuciones del noroeste, En el 10% del tiempo el viento sopla desde el norte a una velocidad de 5.70 a 8.80 m/s, reduciéndose posteriormente a 3.60 a 5.70 m/s durante un 23% del tiempo. Esta velocidad sigue disminuyendo a 2.10 a 3.60 m/s durante un 17% del tiempo. Además, se observa que desde el noreste existen tres variaciones en la velocidad del viento, con rangos de 0.5 a 2.10m/s, que ocurren en un 20% del tiempo.

También podemos evidenciar la dirección hacia la que se desplaza los vientos, los cuales siguen patrones similares a los descritos, pero con un cambio en su orientación, dirigiéndose hacia el sur y el suroeste, estos vientos presentan variaciones de velocidad similares, pero con la diferencia de su rumbo, manteniéndose en rangos de 0.5 a 2.10 en el 20% del tiempo, tal como ocurre con los vientos provenientes del norte y noreste.

- **Coefficiente de potencia en función a la rosa de los vientos**

En la **Figura 5.5**, se estableció una relación basada en la rosa de los vientos y el coeficiente de potencia, permitiendo analizar la distribución direccional del viento y su impacto en la eficiencia de generación eólica.

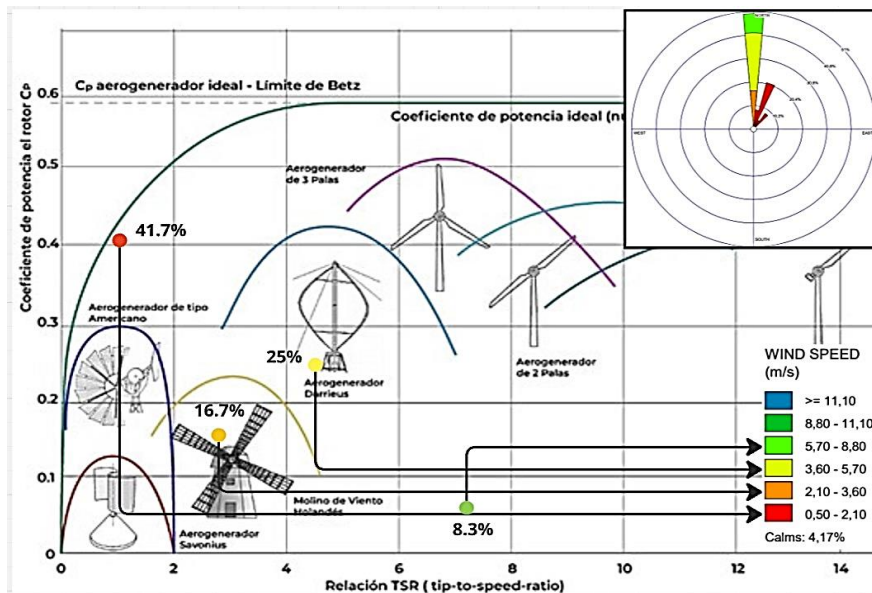


Figura 5.5 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)

Podemos evidenciar que los valores de dirección y velocidad del viento se encuentran por debajo del coeficiente de potencia ideal en todo momento. Como ejemplo, observamos que en el 41.7% del tiempo, la velocidad del viento se encuentra en un rango de 0.5 a 2.1 m/s, mientras que los vientos con velocidades entre 5.7 y 8.8m/s tiene una probabilidad de ocurrencia del 8.3%.

Este análisis nos permite concluir que existe una probabilidad del 91.7% de que los vientos en la zona sean inferiores a 8m/s, siendo esta la velocidad más alta registrada en el área de estudio.

- **Simulación Simulink**

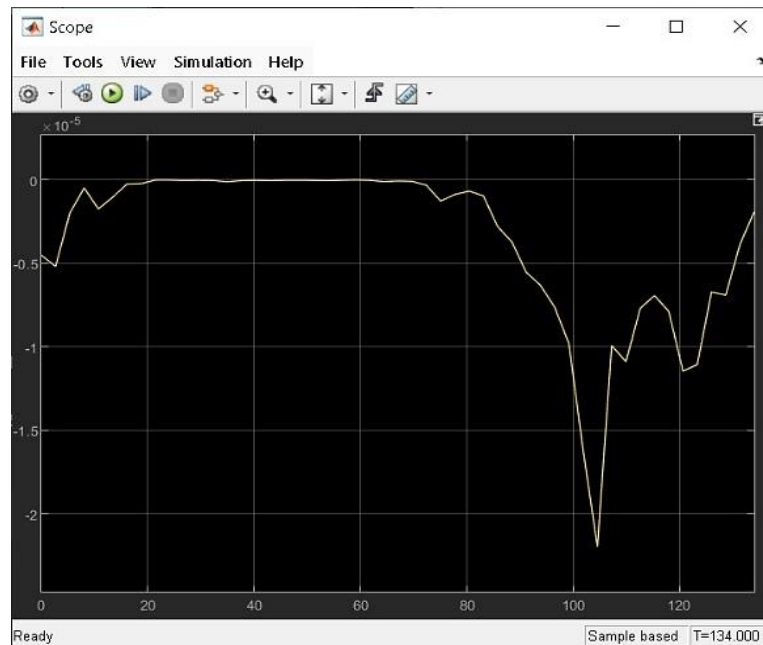


Figura 5.6 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (TMpu)

Tras modelar la turbina en Simulink e ingresar los datos registrados a lo largo del día, podemos analizar su comportamiento dinámico como se muestra en la **Figura 5.6**. La simulación muestra la evolución del torque por unidad generado por la turbina eólica a lo largo del tiempo. Inicialmente, se observa una fase de estabilización, seguida de una caída significativa alrededor de la marca de 100 unidades de tiempo. Este fenómeno está relacionado principalmente por las variaciones en la velocidad del viento también está relacionado por la estrategia de control del generador o ajustes en el ángulo de las palas todo esto relacionado al tipo de turbina seleccionado. Posteriormente, el torque se recupera con ciertas oscilaciones antes de alcanzar nuevamente un estado más estable demostrando que no es viable.

### 5.1.2 Simulación del comportamiento de una Semana.

- **Velocidad del viento**

Para la siguiente simulación, se recolectaron datos sobre la velocidad y dirección del viento durante una semana en Diciembre de 2024, específicamente desde el día 23 hasta el 29, los datos fueron registrados cada 10 minutos con el fin de obtener una resolución temporal precisa.

En la siguiente **Figura 5.7**, se representa el comportamiento del viento durante este periodo, permitiendo observar las variaciones en la velocidad del viento a lo largo de la semana. Este análisis es uno de los más importantes para entender sus patrones eólicos y revisar si varían o no a la muestra de datos anterior.

En la gráfica, la velocidad media del viento fue representada mediante tabulación de las mediciones registradas a lo largo del periodo de muestreo. Como resultado, se obtuvo un valor promedio de 2.5648 m/s para esta semana, el cual está destacado visualmente con una franja azul. Esta representación facilita la interpretación de la variabilidad de los vientos.



Figura 5.7: Velocidad del viento de Diciembre

A los datos recolectados en Diciembre de 224 se les realizó un análisis de porcentaje de frecuencia, como se muestra en el **Figura 5.8**, con el objetivo de identificar la distribución de las velocidades de viento en la zona de estudio. Este análisis es fundamental para la posterior aplicación de la distribución de weibull, permite determinar cuál es la velocidad de viento más probable en el sector. A través de este procedimiento, se podrá estimar con mayor precisión el comportamiento del recurso eólico.

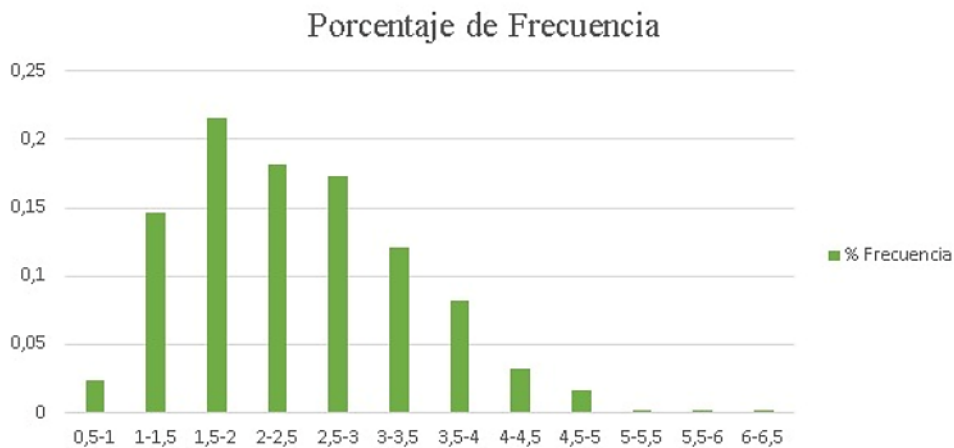


Figura 5.8: Porcentaje de frecuencia de Diciembre

A partir de la probabilidad de frecuencia, podemos evidenciar que la velocidad de viento con mayor probabilidad de ocurrencia se encuentra entre el rango de 1.5 a 2 m/s. Asimismo, las dos velocidades más probables después de este rango corresponden a 2 a 2.5 m/s y 2.5 a 3 m/s, lo que indica que la mayor parte del tiempo los vientos en la zona se mantienen en niveles bajos.

En contraste, la probabilidad de que se registre velocidades en rangos de 6 a 6.5 m/s es prácticamente nula, lo que confirma la baja incidencia de vientos fuertes en el área de estudio. Estos datos nos permiten tener una mejor noción de la distribución de Weibull como se muestra en la **Figura 5.9**.

### Densidad de Probabilidad y Función de Distribución Acumulada

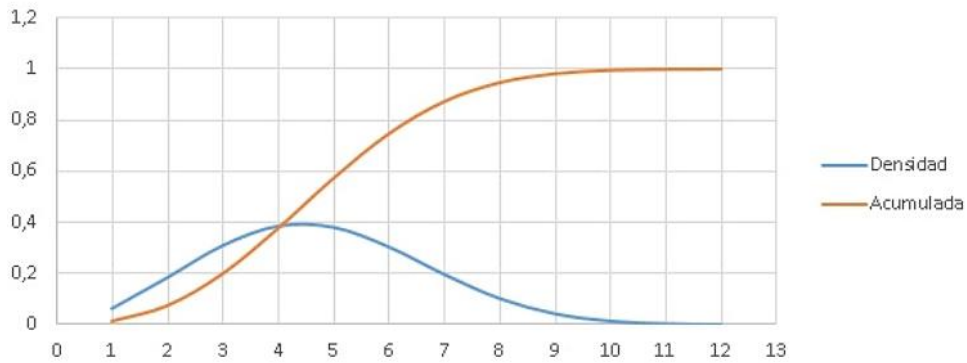


Figura 5.9: Weibull de datos de Diciembre

Para comprender mejor la interpretación de los datos, es necesario revisar la **Tabla 5.2**, en el cual se detallan los valores utilizados en la gráfica de densidad de probabilidad y en la función de distribución acumulada. En la gráfica, la curva azul, corresponde a la distribución de Weibull, permite identificar que el rango de 2 a 3.5 es de mayor ocurrencia en la zona de estudio, indicando que estas velocidades son las más frecuentes.

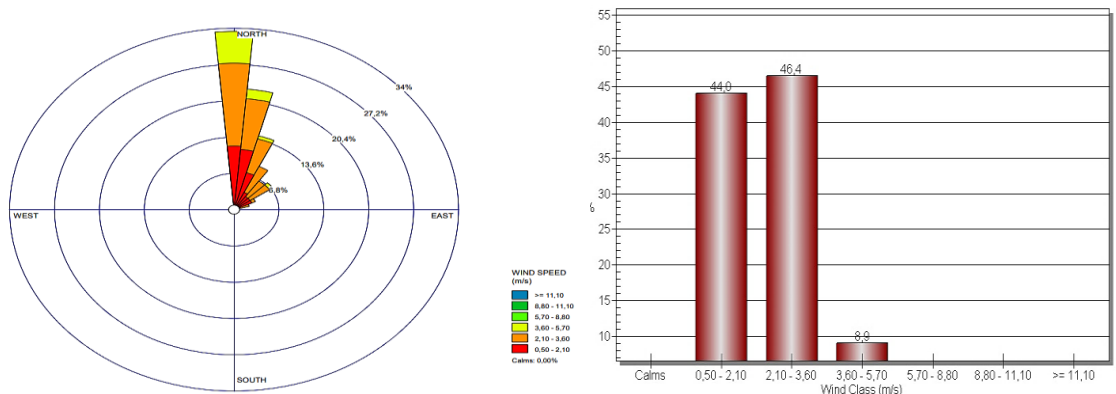
Por otro lado, la curva naranja, que representa la función de distribución acumulada, muestra que aproximadamente el 98% del tiempo la velocidad del viento se mantiene por debajo de 4.5 m/s. Este resultado es un indicador clave que limita la disponibilidad de viento en la zona de estudio.

- **Dirección del viento**

Los datos de dirección del viento recopilados en el periodo comprendido entre el 23 y 24 de diciembre registran un total de 10008 mediciones. lo que proporciona una descripción detallada del comportamiento del viento en la zona de estudio.

Para su análisis, los datos deben de ser tabulados, como se muestra en la **Tabla 5.3**, lo que facilita su posterior procesamiento. Una vez organizados, los valores fueron ingresados en el software WRPLOT, con el cual se generó el **Figura 5.10**.

Esta representación visual, conocida como rosa de los vientos, permite identificar la frecuencia con la que el viento sopla desde diferentes direcciones, proporcionando información esencial para la selección óptima de la orientación y ubicación de turbinas eólicas en la región.



(a) Rosa de los vientos

(b) Frecuencia de distribución

Figura 5.10: Comportamiento de dirección de una semana

Al analizar las imágenes, se pueden identificar ligeros cambios con respecto a la gráfica anterior de dirección del viento, se observa que, durante esta semana, hubo una mayor incidencia de vientos provenientes del noreste, además de una variación en la frecuencia de ocurrencia

- En el primer caso, el viento sopló desde el norte en un 8.9% del tiempo, con una velocidad de 3.60 a 5.70 m/s. Posteriormente, esta velocidad se redujo a 2.1 a 3.6 m/s durante un 17% del tiempo y finalmente, descendió a un rango de 0.5 a 2.1 m/s en un 12% del tiempo.
- En el segundo caso, el viento proviene del noreste en un 4% del tiempo, con una velocidad de 3.6 a 5.7 m/s. Luego, disminuyó a 2.1 a 3.6 m/s durante un 9.4% del tiempo y terminó en el rango de 0.5 a 2.10 m/s en un 11% del tiempo.
- En el tercer caso, el viento sopló desde el noreste en un 2% del tiempo, con velocidades iniciales de 3.6 a 5.7 m/s reduciéndose progresivamente de manera similar a los anteriores casos.

La dirección hacia la que se desplaza el viento mantiene un patrón similar a la dirección del origen, con la diferencia que el viento sigue una trayectoria predominante en el eje norte a sur, y noreste a suroeste.

- **Coefficiente de potencia en función a la rosa de los vientos**

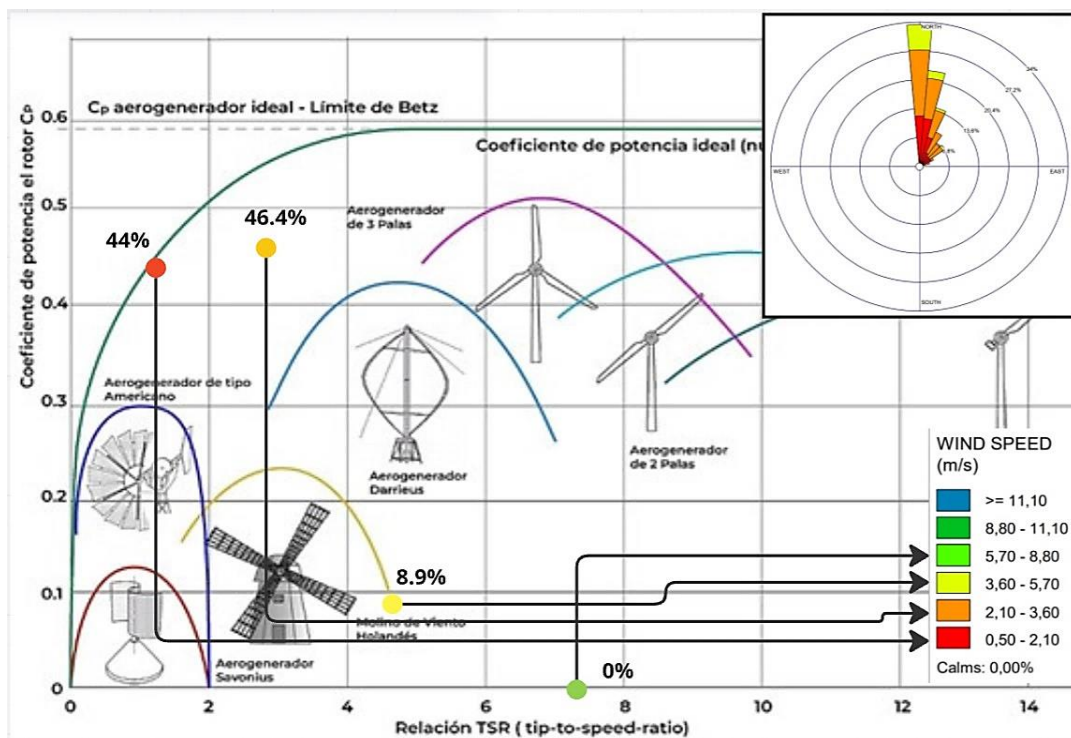


Figura 5.11 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)

En la **Figura 5.11** podemos evidenciar que los valores de dirección y velocidad del viento se encuentran por debajo del coeficiente de potencia ideal en todo momento. Como ejemplo, observamos que en el 44% del tiempo, la velocidad del viento se encuentra en un rango de 0.5

a 2.1 m/s, mientras que los vientos con velocidades entre 3.6 y 5.7m/s tiene una probabilidad de ocurrencia del 8.9%.

Este análisis nos permite concluir que existe una probabilidad del 91.1% de que los vientos en la zona sean inferiores a 5.7m/s, siendo esta la velocidad más alta registrada en el área de estudio.

- **Simulación Simulink**

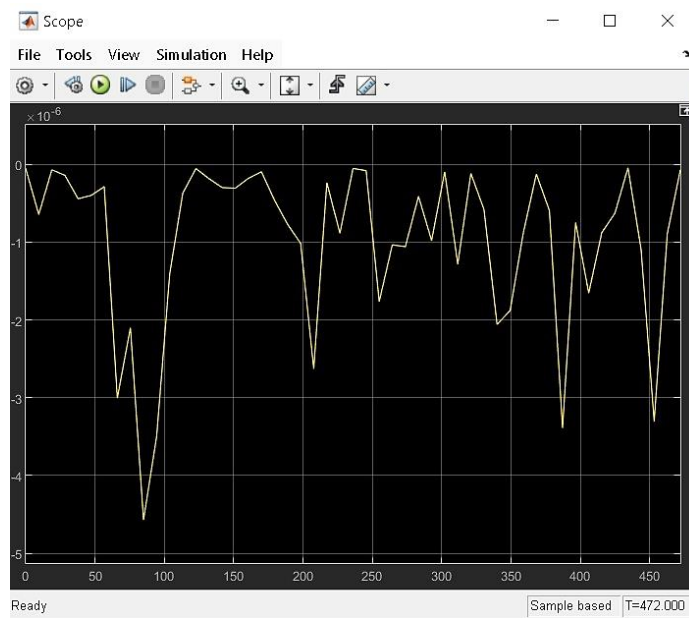


Figura 5.12 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (Tpu)

Podemos evidenciar en la **Figura 5.12** que la simulación refleja la evolución del torque por unidad de la turbina eólica a lo largo del tiempo, se observa una alta variabilidad en los valores del torque, con oscilaciones significativas y descensos pronunciados en múltiples puntos de la curva, este comportamiento sugiere la influencia de variaciones en la velocidad y dirección del viento.

La usencia de una estabilización clara indica que el sistema opera bajo condiciones dinámicas cambiantes, lo cual resalta el poco rendimiento y estabilidad de la turbina bajo estas condiciones de viento.

### 5.1.3 Simulación del comportamiento de un Mes.

- **Velocidad del viento**

Esta simulación del comportamiento del viento se realizó utilizando datos recopilados durante el mes de noviembre de 2024, con un total de 2355 mediciones. En este conjunto, se observa que la velocidad del viento varía en un rango de 0 a 6.5 m/s como máximo.

Al igual que en las muestras anteriores, los datos fueron registrados en intervalos de 10 minutos, lo que permite una resolución detallada de variabilidad del viento. Sin embargo, al tratarse de un análisis de un mes, se notan cambios ligeros en la gráfica de velocidad.

En la **Figura 5.13**, se evidencia esta variabilidad, dejando evidenciar que es más caótica que las anteriores gráficas.

Como se puede observar en la gráfica, se ha determinado la media de la velocidad del viento, la cual equivale a 2.71 m/s. Esta medida se representa visualmente mediante la línea naranja, permitiendo identificar de manera clara el valor promedio dentro de la distribución de velocidad registrada.

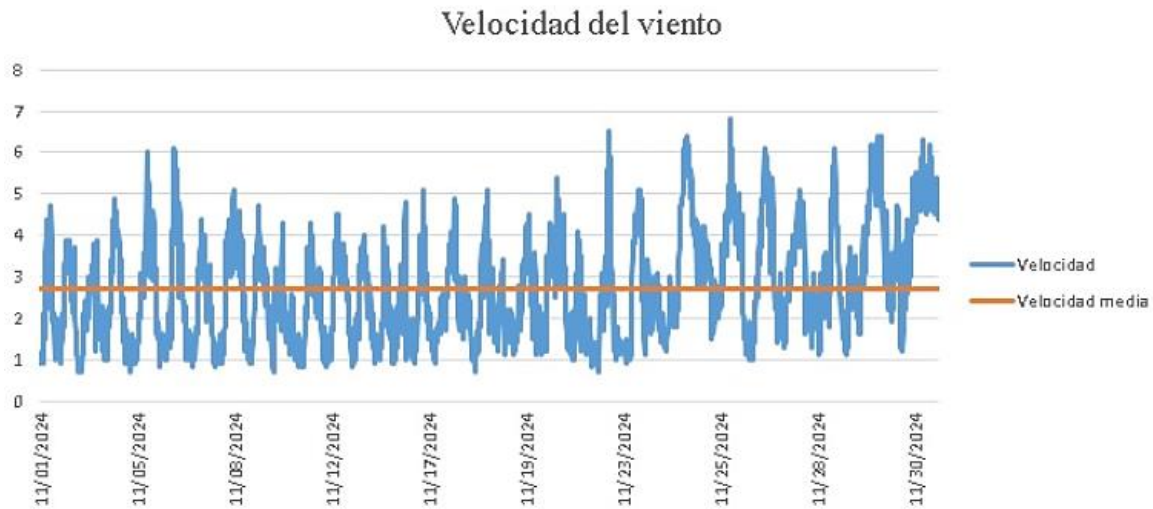


Figura 5.13: Velocidad del viento registrada de un mes

A partir de los valores obtenidos, se realizó la tabulación de los datos, considerando las frecuencias de ocurrencia de la velocidad del viento en intervalos de 0.5 m/s, como se presentan en la **Tabla 5.4**.

Con esta información, se generó la gráfica de porcentaje de frecuencia, representada en la **Figura 5.14**, la cual permite visualizar la distribución de las velocidades del viento en la zona de estudio.

Esta gráfica es fundamental para la posterior construcción de la curva de densidad de probabilidad y la función de distribución acumulada, herramientas clave para modelar el comportamiento del viento y evaluar su potencial energético.

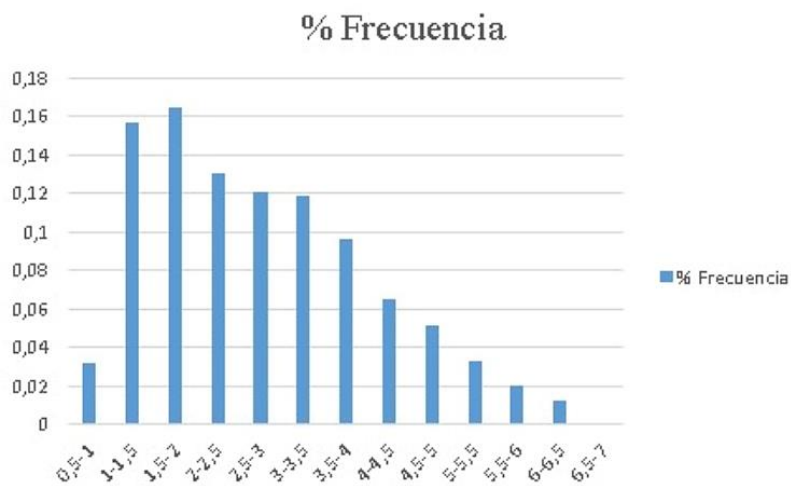


Figura 5.14: Porcentaje de frecuencia del mes

A partir del análisis de los datos, se puede evidenciar que el rango de velocidad del viento con mayor probabilidad de ocurrencia es de 1.5 a 2 m/s, seguido por los intervalos de 1 a 1.5 m/s y

2 a 2.5 m/s, lo que indica que estas velocidades son más comunes en la zona de estudio durante ese mes,

Por otro lado, el intervalo de 6.5 a 7 m/s presenta la menor probabilidad de ocurrencia, evidenciando que los vientos de alta velocidad son poco frecuentes en la región.

Este comportamiento puede interpretarse a través de la **Figura 5.15**, que representa la distribución de Weibull, permitiendo modelar la probabilidad de ocurrencia de diferentes velocidades del viento y con su impacto en la evaluación del recurso eólico disponible.

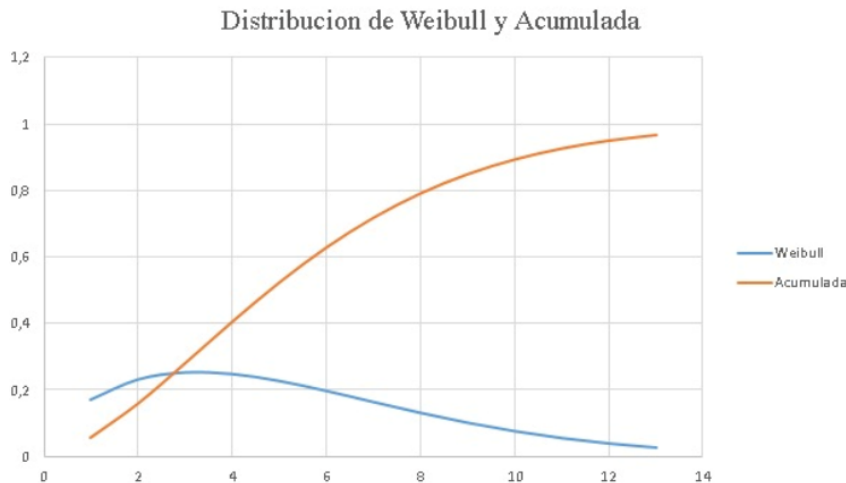


Figura 5.15: Weibull de datos de Noviembre

Los resultados obtenidos mediante la distribución de Weibull permiten caracterizar el comportamiento del viento. La función de la densidad de probabilidad muestra que los valores más frecuentes se encuentran en el rango de 1.5 a 3.5 m/s, alcanzando su máximo en el intervalo 1.5 a 2.5 m/s con una alta probabilidad. A partir de este punto, la frecuencia de valores comienza a disminuir gradualmente.

La función de distribución acumulada revela que aproximadamente el 52.15 de los valores se encuentran por debajo de 3 m/s, lo que indica que la mitad de las velocidades de viento analizadas ocurren dentro de este intervalo.

A medida que la variable aumenta, la acumulada también se incrementa, alcanzando un 84.86% para valores menores a 4.5 m/s y llegando al 96.66% en 6.5 m/s lo que hace imposible obtener velocidades superiores.

Mediante esto podemos determinar que en el mes los vientos predominantes se encuentran en el rango de 1.5 a 3.5 m/s lo que tiene implicación en la evaluación del potencial energético.

- **Dirección del viento**

Los datos recopilados durante el mes de Noviembre sobre la dirección del viento evidencian cierta variabilidad y cambios en su comportamiento, los cuales pueden estar influenciados por diversos factores externos.

Este análisis revela un cambio sustancial en la gráfica generada por WRPLOT, reflejando la distribución y predominancia de los vientos durante el periodo estudiado.

Todos estos datos se han organizado en la **Tabla 5.5**, la cual sirvió como base para que el software generará la rosa de los vientos representada en la **Figura 5.16**. Esta visualización permite indicar mayor calidad la dirección predominante del viento y su variabilidad en la zona.

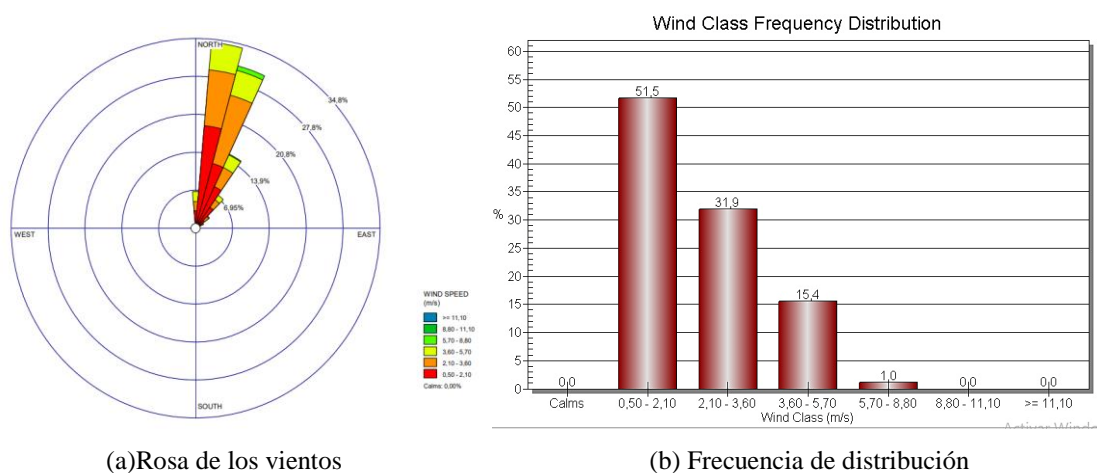


Figura 5.16: Comportamiento de Dirección de un mes

Se puede analizar, en este caso, a diferencia de los anteriores, la rosa de los vientos indica que la dirección predominante del viento es desde el noreste.

En el primer caso, el viento sopla desde el noreste aproximadamente a 7% del tiempo, con una velocidad de 3.6 a 5.7 m/s. Posteriormente, su velocidad disminuye a un rango de 2.1 a 3.6m/s en el 9% del tiempo y continúa reduciendo a un intervalo de 0.5 a 2.1 m/s en el 18% del tiempo.

En el segundo caso, el viento sopla desde el noreste el 8.8% del tiempo con una velocidad de 5.7 a 8.8 m/s, presentando una disminución progresiva en la velocidad, tal como se observa en la gráfica.

Así mismo, es posible analizar la dirección hacia donde se dirige el viento. en este caso, los datos indican que la dirección predominante de salida es hacia el suroeste, manteniendo las mismas tendencias de velocidad, pero reflejado la dirección opuesta en la rosa del viento.

- **Coefficiente de potencia en función a la rosa de los vientos**

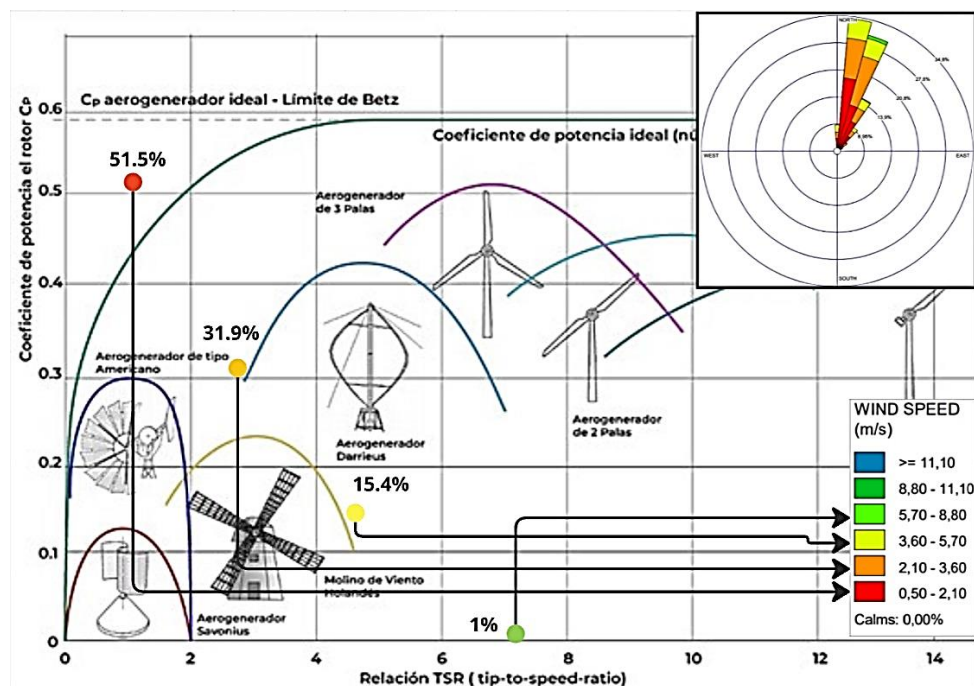


Figura 5.17 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)

En la **Figura 5.17** podemos evidenciar que los valores de dirección y velocidad del viento se encuentran por debajo del coeficiente de potencia ideal en todo momento. Como ejemplo, observamos que en el 51.5% del tiempo, la velocidad del viento se encuentra en un rango de 0.5 a 2.1 m/s, mientras que los vientos con velocidades entre 5.7 y 8.8m/s tiene una probabilidad de ocurrencia del 1%.

Este análisis nos permite concluir que existe una probabilidad del 99% de que los vientos en la zona sean inferiores a 8m/s, siendo esta la velocidad más alta registrada en el área de estudio.

- **Simulación Simulink**

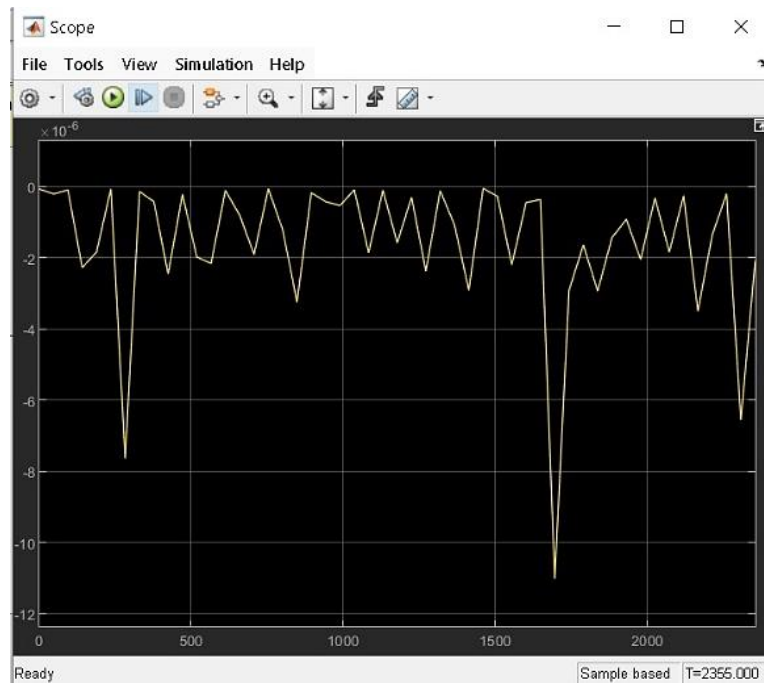


Figura 5.18 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (Tpu)

En la **Figura 5.18** la simulación del torque por unidad de la turbina eólica revela un comportamiento dinámico caracterizado por fluctuaciones constantes y eventos de caídas abrupta. Estas variaciones se atribuyen a cambios de velocidad y dirección del viento, así como la respuesta del sistema de control de generador para regular la potencia entregada.

Se observa que el troque permanece mayormente en valores negativos, lo que indica que la turbina está absorbiendo energía del viento de manera efectiva, pero con ciertos eventos de inestabilidad. En particular, los picos de caída extrema se deben a transiciones rápidas en el flujo de viento.

#### 5.1.4 Simulación del comportamiento en un Año

- **Velocidad del viento**

La simulación se realizó utilizando datos recolectados entre febrero de 2024 y enero de 2025. Como se observa en la **Figura 5.19**, la velocidad del viento presenta una variabilidad significativa a lo largo del periodo de estudio, mostrando un comportamiento altamente fluctuante y caótico.

A pesar de estas variaciones, se puede identificar una velocidad media de 2.74m/s, representada por una línea naranja en el gráfico. Esta medida es clave para evaluar el potencial eólico de la

zona, ya que permite determinar la estabilidad y viabilidad del recurso para su aprovechamiento en turbinas de baja capacidad.

Adicionalmente, el análisis de distribución de frecuencia de los valores de velocidad del viento permitirá profundizar en la caracterización del comportamiento eólico.

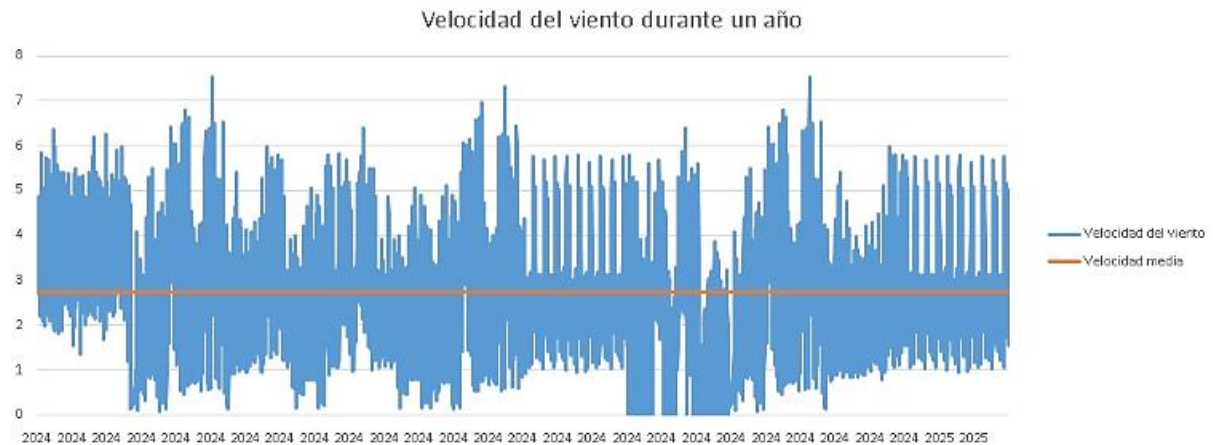


Figura 5.19: Velocidad de viento de un año

Con todos los datos recolectados a lo largo de este periodo, se realizó una tabulación, como se muestra en la **Tabla 5.7**. En total, se recopilieron aproximadamente 46475 datos, los cuales permitieron determinar el porcentaje de frecuencia de cada rango de velocidad del viento.

A partir de este análisis, se identificó que la velocidad del viento más probable se encuentra en el rango de 1.5 a 2 m/s, seguida por los rangos de 1 a 1.5 m/s y 2 a 2.5 m/s. En contraste, la velocidad de viento menos frecuente corresponde al intervalo de 8 a 8.5 m/s como se ve en la **Figura 5.20**.

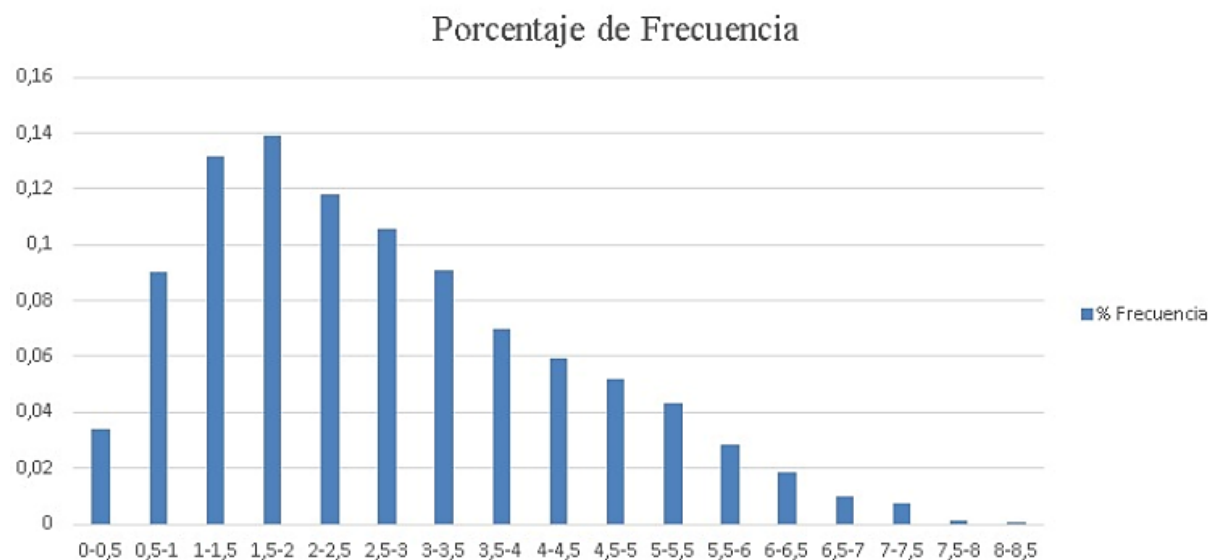


Figura 5.20: Porcentaje de Frecuencia

Una vez tabulados los datos, se procedió a generar las gráficas correspondientes de la distribución de Weibull y la distribución acumulada como se muestra en la **Figura 5.21**.

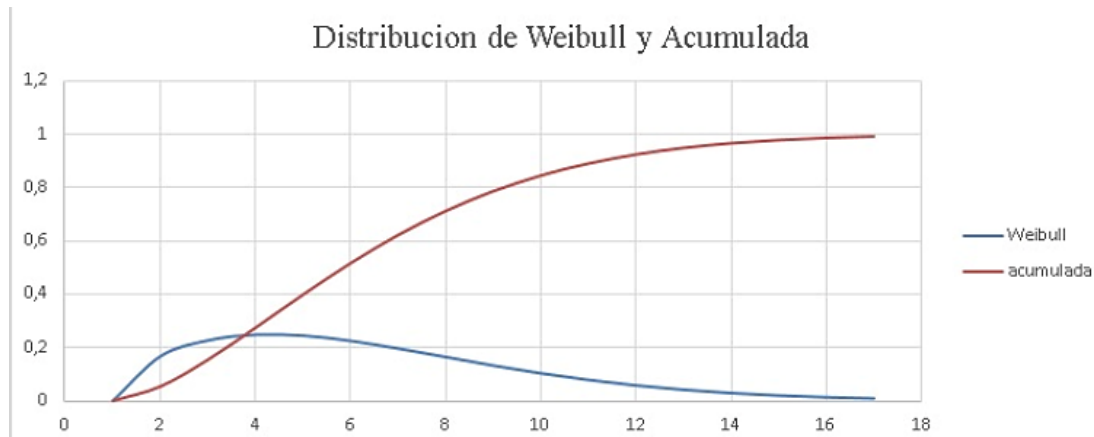


Figura 5.21: Distribución de Weibull y acumulada

Se puede observar que los valores más altos de la función de Weibull corresponden a la velocidad en rangos de 1.5 a 3 m/s, lo que indica que estas son las más frecuentes en la zona de estudio.

A medida que la velocidad del viento aumenta, los valores de la función de weibull disminuyen progresivamente, lo que significa que las velocidades más altas son cada vez menos probables.

La distribución acumulada representada por la franja roja nos demuestra que el 40% de los datos presentan velocidades de hasta 2.5m/s, lo que significa que casi la mitad del tiempo el viento se mantiene en niveles bajos y alrededor del 95% de los datos tiene velocidades inferiores a 7 m/s lo que nos confirma que los vientos fuertes son poco probables.

- **Dirección del viento**

Los datos recolectados al largo del periodo de estudio han sido fundamentales para analizar el comportamiento del viento, permitiendo identificar tanto su variabilidad como dirección en la que fue más constante. Este análisis es clave y que la dirección predominante del viento influye directamente en la eficiencia y el diseño de los sistemas de captación eólica, Además, se observó que la velocidad del viento tendía a disminuir antes de llegar al sensor.

Este comportamiento es crucial para la evaluación del funcionamiento de las turbinas, ya que ayuda a determinar si el sitio es adecuado para la generación de energía eólica y qué ajustes podrían ser necesarios para optimizar su rendimiento.

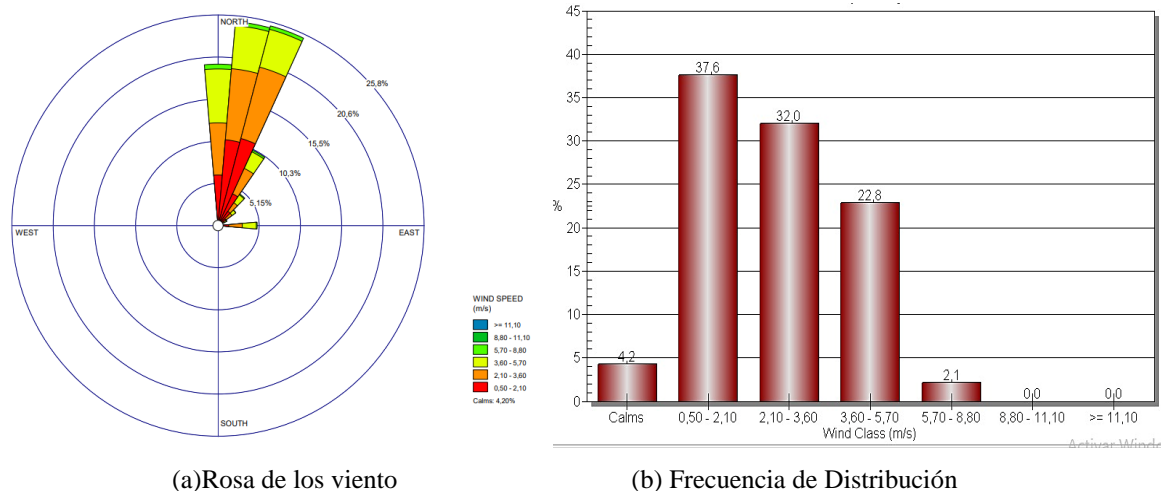


Figura 5.22: Comportamiento de dirección de un Año

Como se observa en la **Figura 5.22**, a lo largo del año los vientos predominantes provienen del norte y del noreste, dirigiéndose principalmente hacia el sur y el suroeste. Esta información es clave ya que nos permite determinar la orientación para la instalación de turbinas.

Además, se puede notar que aproximadamente el 2% del tiempo, el viento sopla con velocidades en el rango de 5.7 a 8.8 m/s. Sin embargo, a medida que el viento avanza, su velocidad disminuye gradualmente a un intervalo de 3.6 a 5.7 m/s, del 7% del tiempo.

Asimismo, se observa que en ciertas condiciones el viento aumenta inicialmente su velocidad, pero luego se desacelera progresivamente, alcanzando valores en el rango de 0.5 a 2.1 m/s al momento de llegar al sensor. Este comportamiento sugiere la presencia de factores externos que influyen en la disipación de la energía del viento, como obstáculos naturales, variaciones topográficas o efectos de rugosidad del terreno.

- **Coefficiente de potencia en función a la rosa de los vientos**

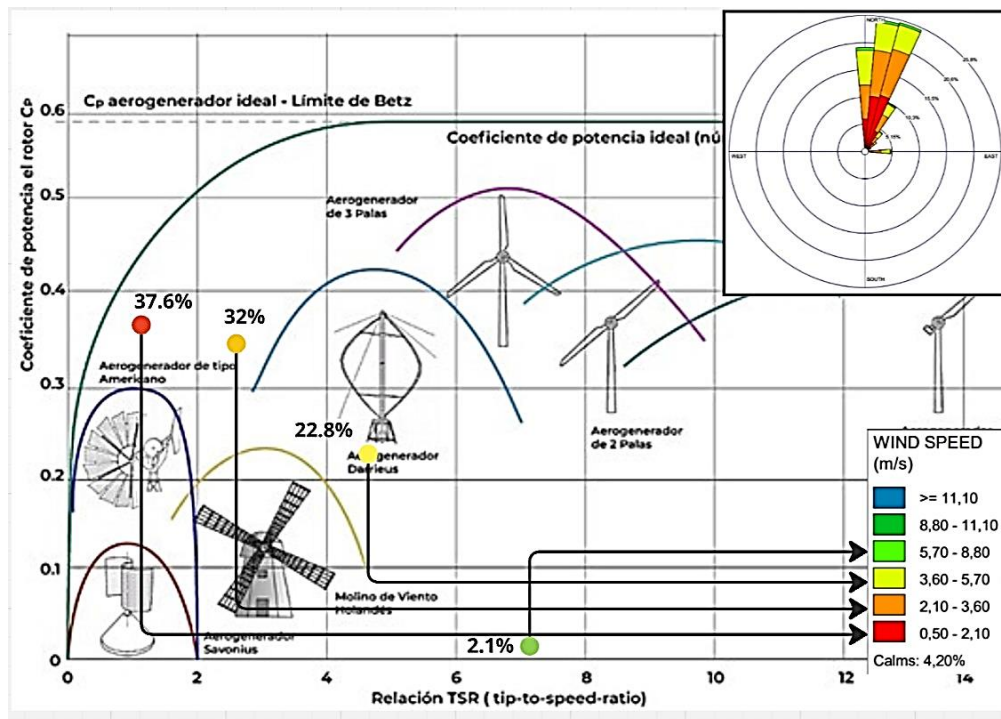


Figura 5.23 Coeficiente de potencia en relación de la rosa de los vientos (Figura 3.9)

En la **Figura 5.23** podemos evidenciar que los valores de dirección y velocidad del viento se encuentran por debajo del coeficiente de potencia ideal en todo momento. Como ejemplo, observamos que en el 37.6% del tiempo, la velocidad del viento se encuentra en un rango de 0.5 a 2.1 m/s, mientras que los vientos con velocidades entre 5.7 y 8.8m/s tiene una probabilidad de ocurrencia del 2.1%.

Este análisis nos permite concluir que existe una probabilidad del 97.9% de que los vientos en la zona sean inferiores a 8m/s, siendo esta la velocidad más alta registrada en el área de estudio.

- **Simulación Simulink**

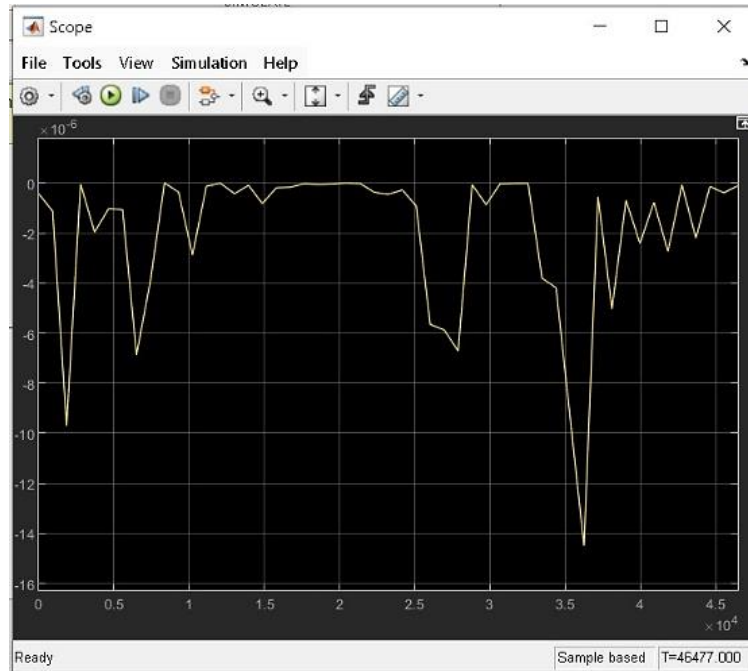


Figura 5.24 Comportamiento de los datos del viento en la turbina (Tpu)

En la **Figura 5.24** la simulación del torque por unidad de la turbina eólica revela un comportamiento dinámico caracterizado por fluctuaciones constantes y eventos de caídas abrupta con pequeños lapsos de calma y armonía. Estas variaciones se atribuyen a cambios de velocidad y dirección del viento, así como la respuesta del sistema de control de generador para regular la potencia entregada.

Se observa que el torque permanece mayormente en valores negativos, lo que indica que la turbina está absorbiendo energía del viento de manera efectiva, pero con ciertos eventos de inestabilidad lo cual lo hace ineficiente. En particular, los picos de caída extrema se deben a transiciones rápidas en el flujo de viento.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- Se logró implementar un sistema de adquisición de datos para medir la velocidad y dirección del viento en la localidad de San Felipe, utilizando el sensor DNA 121 y su integración con los softwares: MATLAB, EXCEL, WRPLOT Y 3DOM LSI. El procesamiento de los datos permitió identificar la variabilidad del viento en la zona, determinando velocidades predominantes en rangos de 0.5. Además se evidencio que la dirección predominante del viento es del norte y noroeste, lo que proporciona información clave para la posible orientación de aerogeneradores en la zona.
- En este estudio se evaluó el potencial eólico en la localidad de San Felipe mediante el análisis de datos de velocidad del viento recolectados con muestras de un día, una semana, un mes y un año. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar la variabilidad del recurso eólico, evidenciando que las velocidades del viento predominantes oscilan entre 1.5 y 2 m/s. A partir de este análisis, se determinó que la instalación de turbinas de eje horizontal y vertical para generación de energía eólica no

es viable en esta localidad, ya que las bajas velocidades de viento no alcanzan los umbrales mínimos requeridos para un funcionamiento eficiente de los aerogeneradores simulados en esta ocasión. Esto indica que la capacidad de generación sería insuficiente para una producción sostenible de energía se recomienda usar turbinas diseñadas para operar con velocidades inferiores a 3m/s, las cuales podrán optimizar la captación del recurso eólico disponible.

- Mediante el análisis de los resultados obtenidos a partir de la rosa de los vientos generada con la aplicación WRPLOT utilizando los datos de dirección y velocidad del viento recolectadas, se pudo determinar que la velocidad del viento en la zona de estudio se reduce progresivamente a medida que avanza. Se identificó que existe una probabilidad del 50% de registrar vientos con velocidad inferior a 2.5 m/s, los cuales continúan disminuyendo hasta alcanzar velocidades de entre 0.5 y 1 m/s al llegar a la turbina. Este fenómeno hace que la generación de energía eólica en la localidad sea poco efectiva.
- El modelado y analista en MATLAB mostraron que las velocidades del viento registradas en la zona no alcanzan los valores mínimos necesarios para una generación de energía eólica, reduciendo significativamente la capacidad operativa de una turbina.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Para una mayor seguridad de evaluación del viento, se recomienda colocar diversas estaciones en la comunidad de San Felipe, especialmente para la UTC (**Universidad Técnica de Cotopaxi**) para tener mas variedad de datos sobre velocidad y dirección. Con este tipo de análisis que puede llegar a largo plazo llegara a tener un perfil fundamentado sobre el recurso eólico.
- Es crítico el poder realizar un estudio sobre el impacto ambiental, geográfico para evaluar como la instalación o la viabilidad de instalar una turbina de baja capacidad para la economía local, todos estos tipos de factores se deberá ver como el ruido, ubicación, alteración de paisajes, además; se podría realizar estrategias para llegar a minimizar los efectos negativos que hoy por hoy el Ecuador está padeciendo.
- Es fundamental realizar iniciativas de prueba que involucren la colocación de aerogeneradores de pequeña escala en varias localizaciones de San Felipe. Estas iniciativas no solo ayudarán a comprobar la información recolectada sobre el viento, sino que también proporcionarán una oportunidad para analizar el rendimiento de estas máquinas en las condiciones particulares del suelo. Las lecciones aprendidas de estos proyectos experimentales podrían sentar un precedente para futuras instalaciones en otras áreas y promover el avance de soluciones ajustadas a las demandas energéticas locales.

## 7. REFERENCIAS

- [1] M. Roncal, B. Ernest, and B. Vásquez, “Sostenibilidad y Energías Renovables: Evaluación del Potencial Eólico y Viabilidad de Turbinas Verticales para el.” Available: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670153/Montoya\\_RB.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670153/Montoya_RB.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- [2] L. Maldonado, “Evaluación del potencial eólico y propuesta preliminar para la instalación de un parque aerogenerador en el área de La Choclatera - Puntilla de Santa Elena,” *Espol.edu.ec*, 2016, doi: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31983>.
- [3] “Vista de Evaluación del potencial eólico en Unión Hidalgo, Oaxaca para el dimensionamiento de aerogeneradores de baja potencia,” *Tecnm.mx*, 2025. <https://revistas.milpaalta.tecnm.mx/index.php/IPSUMTEC/article/view/306/503> (accessed Feb. 13, 2025).
- [4] Cesar, “Evaluación de la capacidad de generación de energía eléctrica a partir de energía eólica para su aprovechamiento en las Salinas del Distrito de Huacho – 2015,” *Unjpsc.edu.pe*, 2015, doi: <http://hdl.handle.net/20.500.14067/10145>.
- [5] “Vista de Evaluación del potencial eólico en el Consejo Popular de Cojímar,” *Insmet.cu*, 2025. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/432/520> (accessed Feb. 13, 2025).
- [6] D. Fabricio and P. Joffre, “Caracterización de la velocidad y dirección del viento para evaluación del potencial energético en el campus matriz de la Universidad Técnica de Cotopaxi,” *Utc.edu.ec*, 2022. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/6c202a82-29aa-4b55-83a6-8439471f5aeb> (accessed Feb. 13, 2025).
- [7] “Vientos,” *SlideShare*, 2016. <https://es.slideshare.net/slideshow/vientos-62445481/62445481> (accessed Feb. 13, 2025).
- [8] T. Fin De Grado, C. Herrero, N. Tutores, I. Pérez, B. Ma, and L. Sánchez Gómez, “Facultad de Ciencias Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución.” Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/22939/TFG-G2337.pdf>
- [9] U. Austral De Chile, C. Bustamante, C. Jans, and M. Higuera, Available: <https://www.redalyc.org/pdf/2817/281732449006.pdf>
- [10] David, “Estudio del potencial eólico y solar para establecer un modelo de simulación para micro generación distribuida en el sector de Zumbahua, cantón Pujilí,” *Utc.edu.ec*, 2022. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/250eea99-de66-49ad-9c2d-d1a4a22bbcba> (accessed Feb. 13, 2025).
- [11] “Vista de Circulaciones atmosféricas en el Ecuador y su influencia sobre la ciudad de Quito,” *Cienciamerica.edu.ec*, 2025. <https://www.cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/147/136> (accessed Feb. 13, 2025).
- [12] A. Josefina and D. Fernando, “Diseño e implementación de un Sistema de medición de temperatura ambiental, velocidad y Dirección del Viento en base a sensores ultrasónicos,” *Epn.edu.ec*, 2025, doi: <https://doi.org/T-IE%20/%203005%20/%20CD%202345>.
- [13] Héctor Darío Barona-Posligua, G. J. Paredes-Morillo, and M. A. Ponce-Jara, “Estación meteorológica automática y medición de variables atmosféricas,” *Revista Científica FINIBUS - Ingeniería, Industria y Arquitectura*, vol. 5, no. 9, pp. 2–8, 2022, Accessed: Feb. 13, 2025. [Online]. Available: <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/finibus/article/view/420>

- [14] M. Stalin and R. Anderson, “Implementación de un sistema de adquisición de datos para la obtención de variables meteorológicas en tiempo real,” *Utc.edu.ec*, 2022. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/511426a9-a0f3-4478-b791-b9d10ad06d79> (accessed Feb. 13, 2025).
- [15] P. Leonidas, “Modelos sinópticos para determinar la velocidad del viento en la provincia de Chimborazo,” *Epoch.edu.ec*, 2022, doi: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/17492>.
- [16] H. Guzman, “Análisis de tendencias de las variables meteorológicas: precipitación, velocidad del viento y temperatura utilizando la Distribución de Weibull en la ciudad del Cusco, durante el periodo 2001 a 2021,” *Unsaac.edu.pe*, 2021, doi: <https://doi.org/253T20231155>.
- [17] B. Obed, “Determinación de la densidad de potencial eólico en la provincia de Jaén, Perú, utilizando el Método Weibull,” *Revista Científica Pakamuros*, vol. 12, no. 4, pp. 19–34, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.37787/wbdsxy54>.
- [18] Steve and Tucto Guarniz, Víctor Raúl, “Grado de predicción del software Screen View de las emisiones particuladas (PM10, PM2.5) de la agroindustrial Laredo, Trujillo, 2021,” *Unitru.edu.pe*, 2022. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/e2d92867-c522-4aa9-8d0e-658fd26a9850> (accessed Feb. 13, 2025).
- [19] J. A. Aragón-Moreno, E. D. Serna-Castaño, and D. S. Solano-Romero, “Estudio climatológico de los vientos para la ciudad de Bogotá en el periodo 2010 – 2016,” *ENTRAMADO*, vol. 15, no. 2, pp. 286–307, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.5733>.
- [20] T. Sundari, B. Samra, and A. B. Saptono, “The Use of Wind Rose to Improve the Quality of Site Analysis,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 469, no. 1, p. 012017, Apr. 2020, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/469/1/012017>.
- [21] E. M. Villegas, S. R. Herrera, M. Carrera, H. Barajas, and A. V. Manzanilla, “Diseño del software de análisis de datos meteorológicos: Fase de prueba,” *Emerging Trends in Education*, vol. 16, no. 30, p. 8, 2025, doi: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9492595.pdf>.
- [22] J. Patricia, “Simulación y control de una turbina eólica para generación de energía eléctrica,” *Pucp.edu.pe*, Mar. 09, 2016. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/0e669108-3832-4181-8359-af09bacbfc29> (accessed Feb. 13, 2025).
- [23] “Introducción rápida a Matlab y Simulink para ciencia e ingeniería,” *Google Books*, 2025. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xBu1jHbsUrsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=manejo+de+matlab+y+simulink&ots=67fXC1sPtU&sig=T9KRPY\\_YZPQZN4DYrABHr1ng\\_LA#v=onepage&q=manejo%20de%20matlab%20y%20simulink&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xBu1jHbsUrsC&oi=fnd&pg=PA1&dq=manejo+de+matlab+y+simulink&ots=67fXC1sPtU&sig=T9KRPY_YZPQZN4DYrABHr1ng_LA#v=onepage&q=manejo%20de%20matlab%20y%20simulink&f=false) (accessed Feb. 13, 2025).
- [24] G. S. Beatriz, “Plataforma de simulación en Matlab-Simulink de un accionamiento regulado para emular aerogeneradores | Archivo Digital UPM,” *Oa.upm.es*, Jul. 2015, doi: <https://oa.upm.es/37761/>.

- [25] C. Daniel, "Simulación de viento, componentes y control de un sistema de generación eólica," *Ucuenca.edu.ec*, Oct. 04, 2023. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/af9c5bb7-111a-46de-9946-37f85e22a1a8> (accessed Feb. 13, 2025).

# **ANEXO 1**

# **TABLAS**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Anexo 1**

**Tablas**

**Tabla 4.1: Especificaciones eléctricas y mecánicas (DNA 121).**

PN	DNA121	DNA821 DNA821.1 DNA821.2	DNA827	DNA921
Wind speed output	0+833 Hz	4+20 mA	0+5 Vdc	RS485
Wind speed range	0+75 m/s (damage limit)	DNA821: 0+60 m/s DNA821.1: 0+50 m/s DNA821.2: 0+75 m/s	0+60 m/s	0+60 m/s
Wind direction output	0+1 Vdc	4+20 mA	0+5 Vdc	RS485
Protocol	-	-	-	Modbus RTU®, TTY-ASCII
Configuration	-	-	-	Hyperterminal
EMC	EN61326-1 2013	EN61326-1 2013	EN61326-1 2013	EN61326-1 2013
RS485 protection	-	-	-	Galvanic insulation (3 kV, UL1577)
RS485 speed	-	-	-	1.2+115 kbps
Poer supply	10+30 Vac/dc	10+30 Vac/dc	10+30 Vac/dc	10+30 Vac/dc
Power consumption	0.5 W	0.5 W	0.5 W	0.5 W
Data logger compatibility	M-Log (ELO008), E-Log, A-Log using ALIEM modem	M-Log (ELO008), E-Log, A-Log using ALIEM modem	-	E-Log using RS485->232 converter, Alpha-Log.

<b>Velocità del vento</b>	Principle	N. 32 step optoelectronic disk
	Accuracy	0+25 m/s: ± 0.25 m/s or 3% >25 m/s: 2%
	Threshold	0.26 m/s
	Delay distance	4.8 m @ 10 m/s, according to VDI3786 and ASTM 5096-96
	Resolution	0.06 m/s
<b>Direzione del vento</b>	Principle	Hall effect
	Range	0+360°
	Accuracy	1%
	Threshold	0.15 m/s
	Delay distance	1.2 m @ 10 m/s, according to VDI3786 and ASTM 5366-96
	Resolution	0.3°
<b>Informazioni Generali</b>	Damping coeff.	0.21 @ 10 m/s, according to VDI3786 and ASTM 5096-96
	Damage limit	75 m/s
	Connector	7 pin IP65 watertight connector
	Housing	Anodized aluminium
	Cups	PA6 plastic and fiberglass
	Vane	Aluminium
	Protection	IP66
	Mounting	Mast Ø 48+50 mm
Operative temperature	>-30 °C (without ice)	

**Tabla 4.2: Entrada y salida para alimentación del instrumento (E-Log).**

Line	Model	Connection	Terminal
Input	ELO105	0 Vdc battery	64
	ELO305	+ 12 Vdc battery	65
	ELO310	GND	66
	ELO505		
	ELO515		
Output	Tutti	+ Vdc fixed to power sensors/external devices	31
		0 Vdc	32
		+ Vdc actuated to power sensors/external devices	33

**Tabla 4.3: Modelos de sensores combinados.**

Power supply	12 Vdc	10÷30 Vdc/Vca	10÷30 Vdc/Vca	10÷30 Vdc/Vca
Output WS	Hz	4÷20 mA	0÷5 V	RS485
Output WD	0÷1 V	4÷20 mA	0÷5 V	RS485
Direct output wind speed/direction sensor	DNA121			
Direct output and low energy consumption wind speed/direction sensor				
Microprocessor based wind speed-direction sensor with normalized output.		DNA821 DNA821.1 DNA821.2	DNA827	
Speed-direction sensor with RS485 output.				DNA921

**Tabla 4.4: sensores con señal de salida en tensión (0÷1 y 0÷5 V).**

Vane tip position	Voltage value (V)		Direction (°N)
	0÷1 V output	0÷5 V output	
North (above the red hake)	About 0/1	About 0/5	About 0/360
East	About 0,25	About 1,25	About 90
South	About 0,5	About 2,5	About 180
West	About 0,75	About 3,75	About 270

**Tabla 4.5: Tabla de terminales Data Logger (E-Log).**

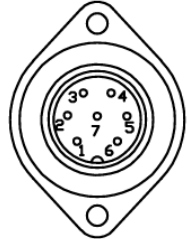
TERMINAL BOARD								
Analogue Input	Signal				GND	Actuators		
	A	B	C	D		Number	+V	0 V
1	1	2	3	4	7	1	5	6
2	8	9	10	11		18	2	16
3	12	13	14	15	40		3	38
4	19	20	21	22		51	4	49
5	34	35	36	37				
6	41	42	43	44				
7	45	46	47	48				
8	52	53	54	55				

Digital Input	Signal			GND	Actuators		
	E	F	G		Number	+V	0V
9	23	24	25	28	5	26	27
10	56	57	58				
11	-	29	30	61	6	59	60
12	-	62	63				
				28	7	33	32


**Tabla 4.6: Cable DWA525A y Conector MG2251 (wind sensor DNA 121).**

	<b>DWA525A</b>	Cable L = 25m
	<b>MG2251</b>	Conector hembra libre de 7 pines


**Tabla 4.7: Pines del conector del sensor DNA 121.**

	<b>PIN</b>	<b>SEGNAL/SIGNAL</b>
	1	Power in (10...30Vdc/Vac)
	2	Speed freq. (0.9...1.1mA)
	3	COM_SIG
	4	Direction (0...1V)
	5	Shield
	6	Power in (10...30Vdc/Vac)
	7	COM_SIG

**Tabla 4.8: Tabla de conversión señal/color para cables DWA505A, DWA510A, DWA525A, DWA526A y DWA527A.**

DWA5xx			DWA5xxA	
Connector pin	Colour	Signal	Connector pin	Colour
1	Brown	+ Power	1	Brown
2	Black	+ Signal 1	2	Green
3	Blue	Signals Common	3	Grey
4	Red	+ Signal 2	4	Pink
5	Copper braid	Screen	5	Copper braid
6	White	- Power	6	White
	Yellow	Signals Common	7	Yellow

**Tabla 4.9: ELF340.10 Enclosure.**

	<b>ELF340 .10 Enclosure</b>	IP66 Box, Incluye alimentador 85-264 V AC -> 13.8 V DC, batería de 2 Ah y transformador 230/24 V. Posible instalación de relés para accionamientos (MG3023.R), ternal IN-OUT para diferentes salidas analógicas.		
		<b>Fuente de alimentación</b>	85-264 V CA -> 13.8 V CC ; 3W.  230 V CA/24 V CA ; 40 VA.  Termomagnético.	
		<b>Provisión para relés (no incluye)</b>	Hasta N.5 relés (MG3023.R)	
		<b>Placa para terminales de señales IN-OUT</b>	Terminal para entrada de señales analógicas  N.7 Señales IN  N.7 Señales OUT	


**Tabla 4.10: Batería (Battery).**

	<b>MG0558.R</b>	12 V Pb 18 Ah		
		<b>Tipo</b>	Batería de plomo - ácido sellada, recargable.	
		<b>Dimensiones</b>	181 x 76 x 167 mm	
		<b>Peso</b>	6 Kg	
		<b>Compatibilidad</b>	Caja ELF 345-345, 1.340.340, 1-340.5-340.8	
		<b>Temperatura de funcionamiento</b>	Carga: -15°C a 40°C Descarga: -15°C a 50°C Almacenamiento: -15°C a 40°C	

**Tabla 4.11: Esquema de terminales E - Log.**



**Tabla 4.12: Cable RS232, USB Interface.**

	<b>ELA105.R</b>	L = 1.8 m cable serie  Incluido en cada paquete M-Log y E-Log
	<b>DEB518.R</b>	Convertidor RS232 -> USB  Incluido en cada paquete M-Log y E-Log

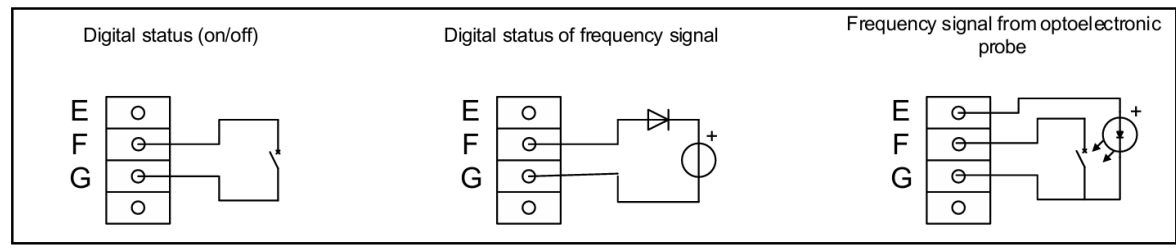
**Tabla 4.13: RS485 converters, TCP / IP.**

	<b>DEA504.1</b>	Convertidor RS232 <-> RS485/422 422 con protecciones eléctricas.	
		<b>Aislamiento (óptico)</b>	Ópticamente aislado (2000 V)
		<b>Aislamiento (protección contra sobretensiones)</b>	Por descarga electrostática (25 kV ESD)
		<b>Tasa de bits</b>	300 puntos básicos (1Mbps)

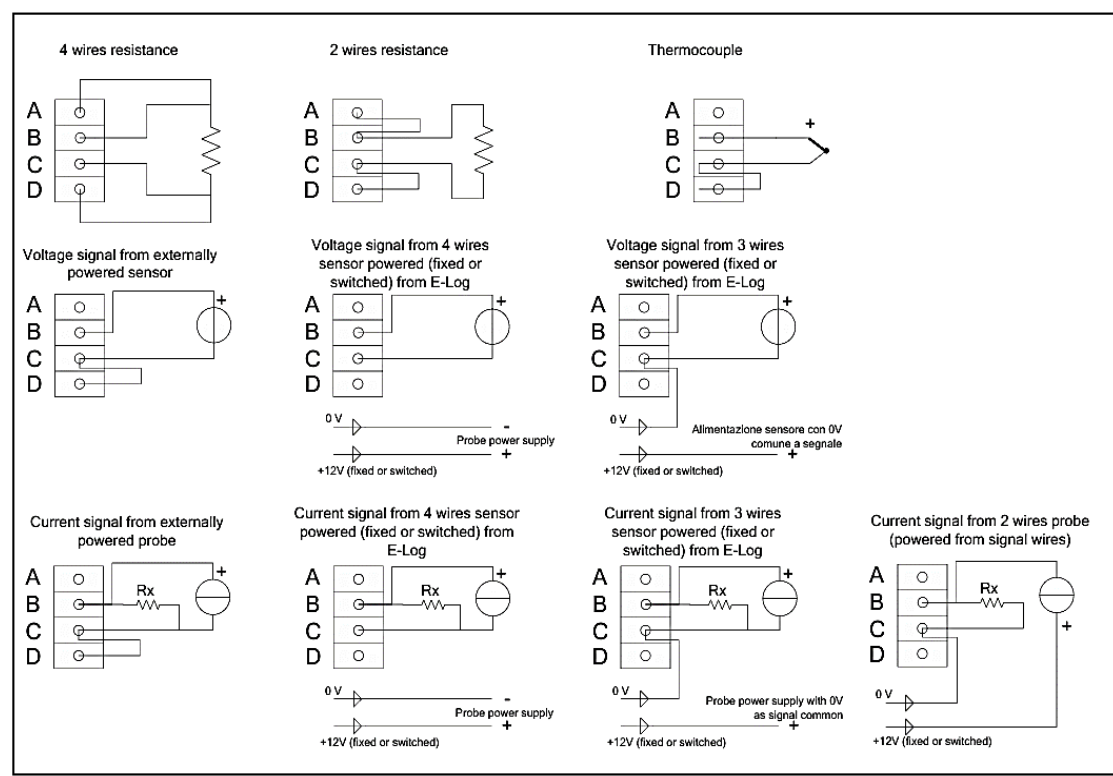
		<b>Conector RS232</b>	DB) hembra
		<b>Conector RS422/485</b>	DB) macho, terminal de 5 pines
		<b>Fuente de alimentación</b>	9...48 V DC (Fuente de alimentación incluida)
		<b>Fijación</b>	Barra Din
		<b>Cable</b>	DB9M/MB9F (incluido)

**Tabla 4.14: Conexión de sensores (3 DOM).**

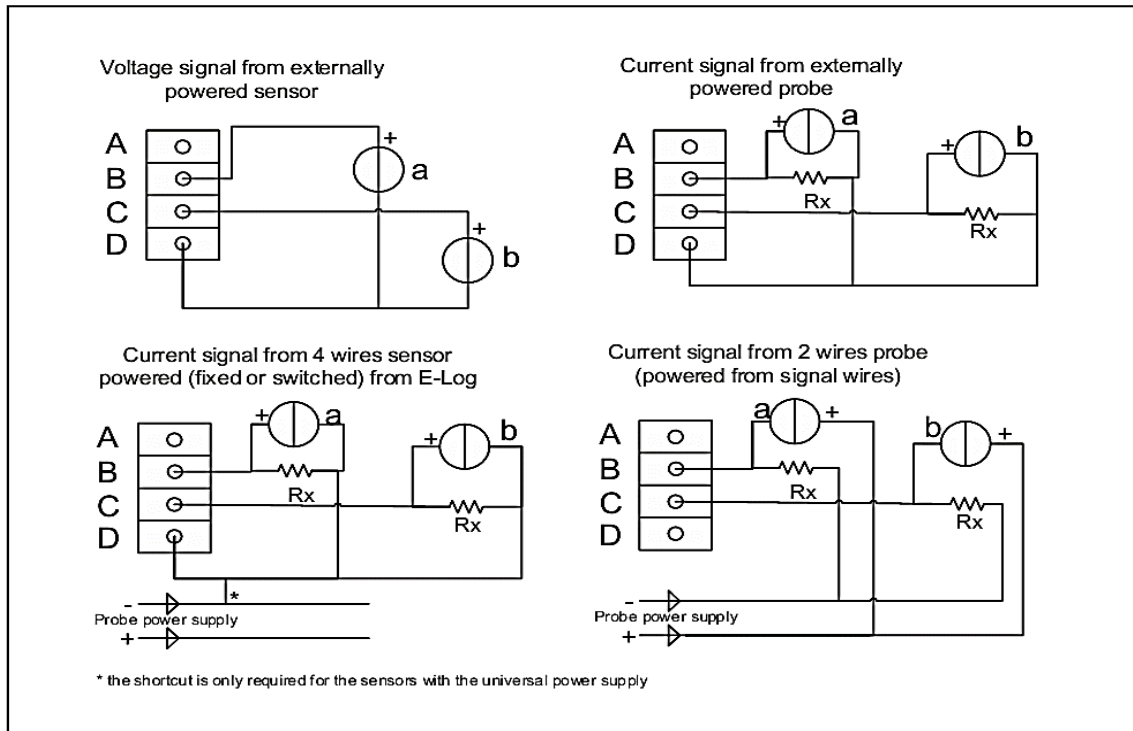
- **Sensores con señal digital.**



- **Sensores con señal analógica (diferencial).**



- **Sensores con señal analógica (un solo extremo).**



**Tabla 4.15: Ejemplo de intervalos empleados para dirección y velocidad del viento (EXCEL).**

VELOCIDAD DEL VIENTO	DIRECCIÓN DEL VIENTO
Velocidades captadas por el sensor (m/s)	Puntos cardinales a dónde va el viento
0.5 - 1.5 m/s	Norte
1.5 - 3 m/s	Noreste
3 - 4.5 m/s	Noroeste

**Tabla 4.16: Ejemplo de tabla de distribución de frecuencia para su graficación.**

INTERVALO	F.ABSOLUTA	F.RELATIVA	F.ACUMULADA
0 - 5	4	0.10	4
5 - 10	6	0.15	10
10 - 15	10	0.25	20
15 - 20	12	0.30	32

**Tabla 4.17: Ejemplo de tabla estructurada para determinar la rosa de los vientos (WRPLOT).**

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>V.VIENTO (m/s)</b>	<b>D.VIENTO (°)</b>
02/03/2024	00:00	5.3	175
02/03/2024	01:00	2.5	160
02/03/2024	02:00	3.2	190

**ANEXO 2**  
**MONTAJE DEL**  
**SENSOR DE VIENTO**  
**DNA 121**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA**

**Anexo 2**

**MONTAJE DEL SENSOR DE VIENTO DNA 121**

- **Montaje**

Se debe de desenroscar la tuerca y la arandela del eje principal. Proceda a montar el rotor DNA 124 En el eje.



Figura 13.: Eje principal del sensor.  
con arandela y tuerca.



Figura 14.: Rotor DNA 124 montado  
sobre el sensor

Una vez acoplado ajusta el tornillo del rotor DNA 124 (marcado por el círculo rojo).



Figura 15: Tornillo del Rotor DNA 124.

Coloque la Paleta DNA 127 en el eje principal del sensor. Procure mantener el vástago en una posición estable y coloque la paleta hasta el ajuste de tuerca(esta debe quedar separada a  $0.8 \pm 0.20 \text{ mm}$  como se indica en el plano).



Figura 16: Montaje de Sensor, DNA 124 y DNA 127. Figura 17: Montaje terminado del sensor.

Coloque la arandela y la tuerca en el eje roscado ajuste la tuerca mientras sostiene el eje con un destornillador. Ajuste la cubierta protectora para finalizar el montaje.

- **INSTALACIÓN DEL SENSOR DNA 121**

Para instalar el sensor se debe colocar en un mástil con las especificaciones ya expuestas anteriormente.

	<p><b>DWA525A</b></p>	<p>Cable L = 25m</p>
	<p><b>MG2251</b></p>	<p>Conector hembra libre de 7 pines</p>

Conecte el sensor con el cable DWA seleccionado y monte el sensor en el mástil, antes de ajustar el tornillo debe fijar el sensor apuntando hacia el norte guiándose de la nariz roja.



Figura 18: Montaje del sensor apuntando al norte verdadero (geográfico).

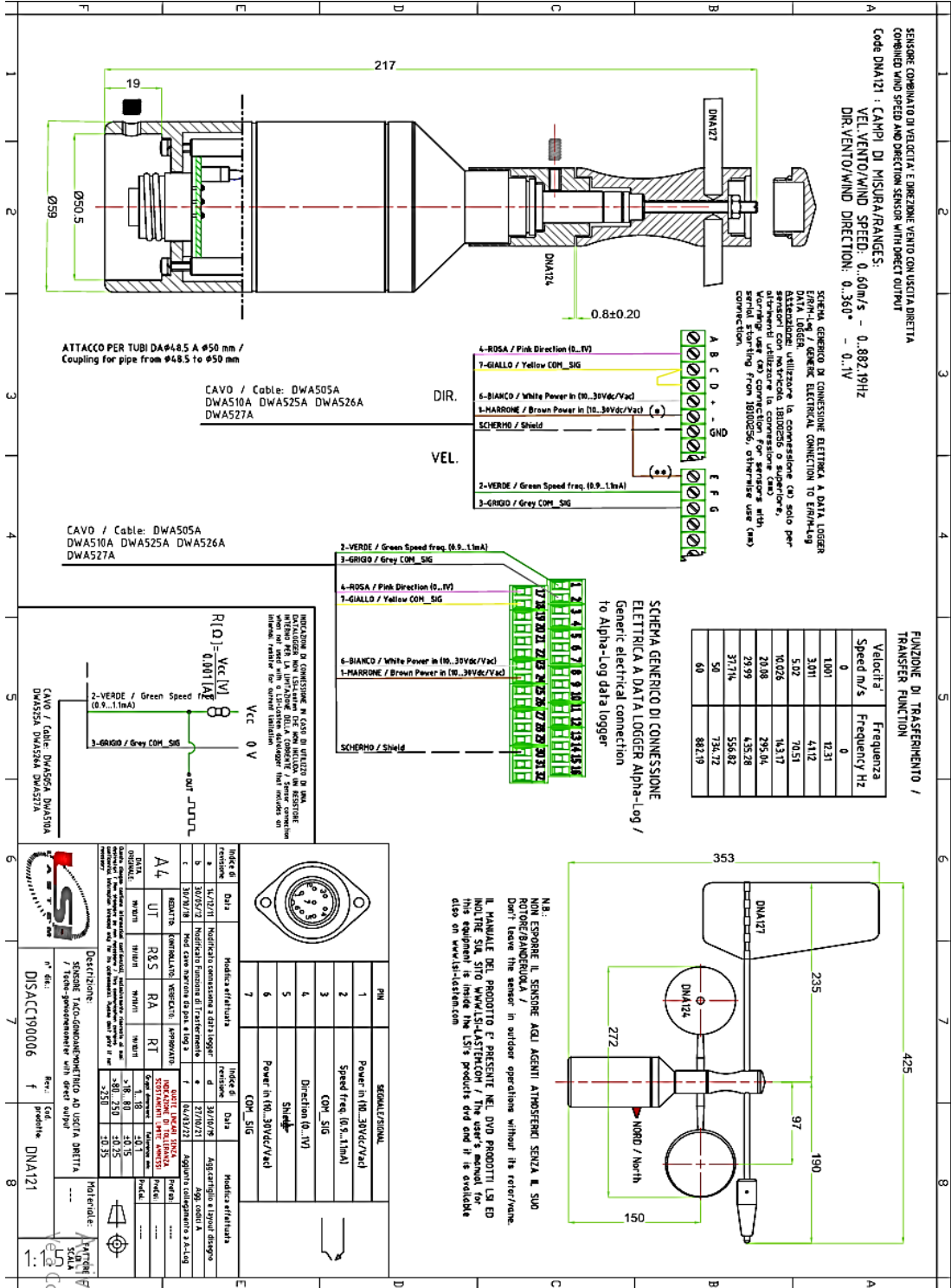
**ANEXO 3**  
**PLANOS Y**  
**DIAGRAMAS DE**  
**CONEXIÓN**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

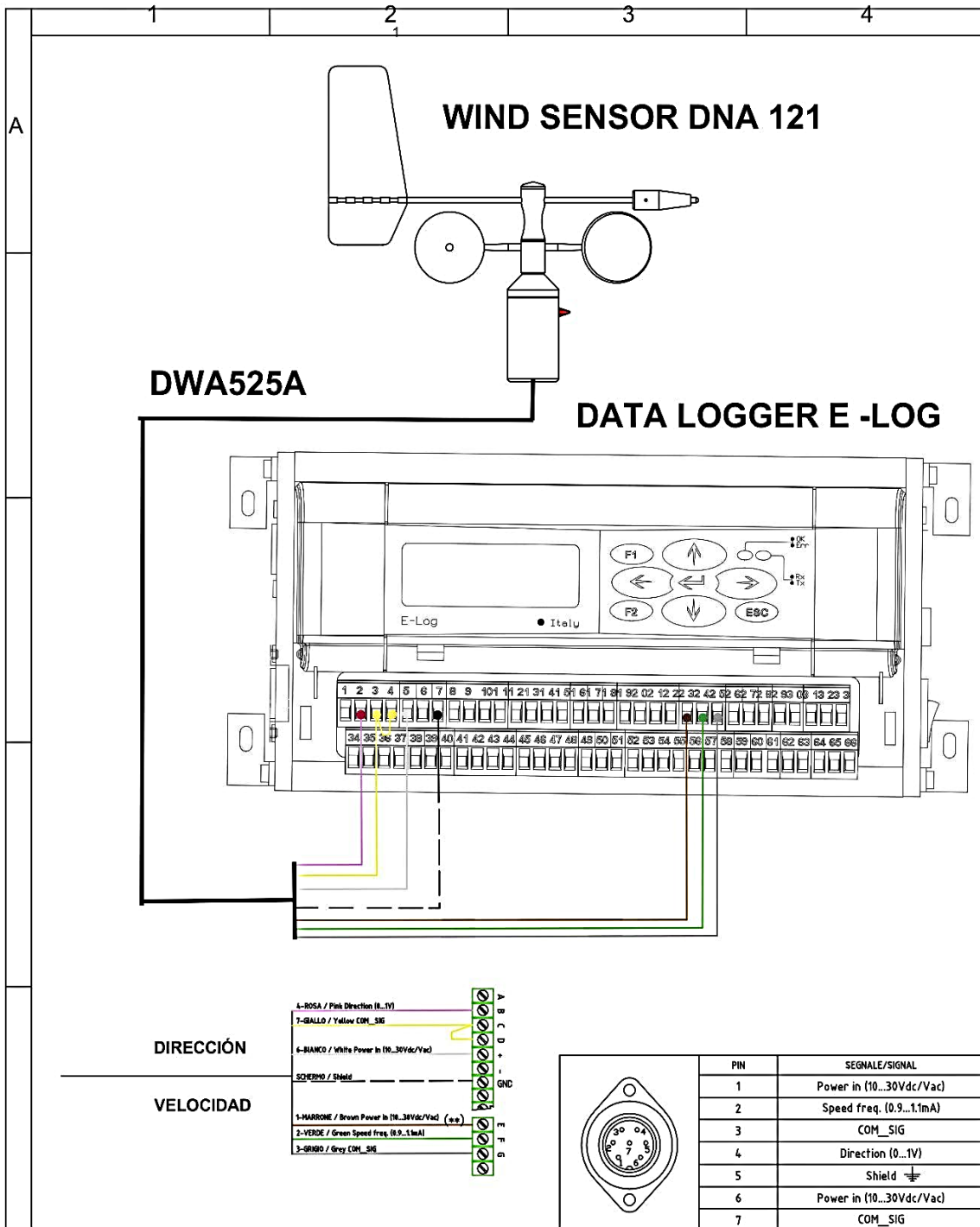
Anexo 3

## PLANOS Y DIAGRAMAS DE CONEXIÓN

**Diagrama 4.18: Plano original (Wind Sensor DNA 121).**

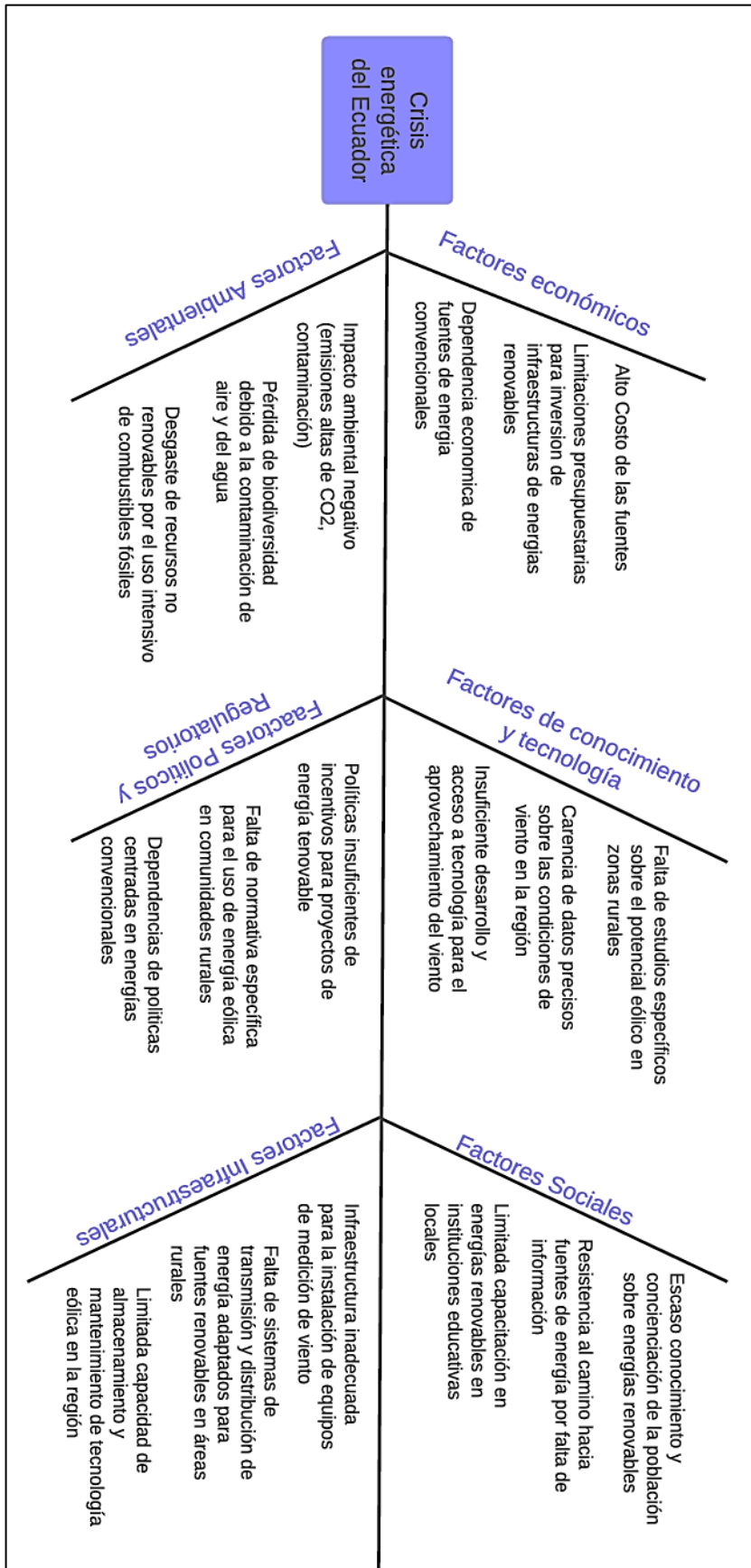


**Diagrama 4.19: Diagrama de conexión Wind Sensor DNA 121 - E-Log.**



		Tolerancias	(Peso)	Materiales	
		Fecha	Nombre	Denominación	
		Dib	01/15/2025	Peralla-Alcaciega	
		Rev	01/15/2025	Ing. Luis Cruz	
		Apro	01/15/2025	Ing. Luis Cruz	
		ING. ELECTROMECÁNICA UTC		Número de dibujo	ESCALA
Edición	Modificación	01/15/2025	1 DE 1		1:1.5
			(Sustitución)		MARCA DE REGISTRO

**Diagrama 2.1: Diagrama de Ishikawa**



**ANEXO 4**  
**TABULACIONES**  
**(EXCEL)**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA**

**Anexo 4**

**EXCEL (WEIBULL) - WRPLOT (ROSA DE LOS  
VIENTOS)**

**Tabla 5.1: Datos tabulados del 18 de octubre de 2024 para Distribución de Weibull.**

Vmax-Vm	Vm	Frecuencia	% Frecue	Weibull	Acumula
0-0,5	0	31	0,2313433	0	0
0,5-1	0,5	19	0,141791	0,2368784	0,1043429
1-1,5	1	13	0,0970149	0,2368524	0,2236624
1,5-2	1,5	12	0,0895522	0,2182491	0,3375631
2-2,5	2	11	0,0820896	0,1950735	0,4410118
2,5-3	2,5	10	0,0746269	0,1706163	0,5324341
3-3,5	3	7	0,0522388	0,1469305	0,611762
3,5-4	3,5	7	0,0522388	0,1250282	0,6796648
4-4,5	4	6	0,0447761	0,1053623	0,7371647
4,5-5	4,5	5	0,0373134	0,0880673	0,7854233
5-5,5	5	5	0,0373134	0,073094	0,8256195
5,5-6	5,5	2	0,0149254	0,0602911	0,8588793
6-6,5	6	2	0,0149254	0,0494555	0,8862386
6,5-7	6,5	2	0,0149254	0,0403643	0,9086256
7-7,5	7	1	0,0074627	0,0327934	0,9268562
7,5-8	7,5	1	0,0074627	0,0265302	0,9416368
Total de Datos		134			
<b>k</b>	<b>u</b>	<b>c</b>			
1,2	2,9552239	3,14166319			

**Tabla 5.2: Datos tabulados del 18 de octubre de 2024 para Dirección del viento.**

Mes	Día	Año	Hora	Direccio	Velocida
10	18	2024	0	0	4,3
10	18	2024	1	0	2,55
10	18	2024	2	3,16666667	2,433333333
10	18	2024	3	8,33333333	1,4
10	18	2024	4	0	0
10	18	2024	5	35,8	0,64
10	18	2024	6	16,3333333	0,833333333
10	18	2024	7	18	1,033333333
10	18	2024	8	26,1666667	0,766666667
10	18	2024	9	20,6666667	0,8
10	18	2024	10	15,8333333	0,85
10	18	2024	11	34,8333333	0,65
10	18	2024	12	19	1,066666667
10	18	2024	13	9,16666667	1,566666667
10	18	2024	14	0	2,633333333
10	18	2024	15	0	2,716666667
10	18	2024	16	0	4,133333333
10	18	2024	17	0	5,133333333
10	18	2024	18	0	6,266666667
10	18	2024	19	0,16666667	6,366666667
10	18	2024	20	0	5,45
10	18	2024	21	0	5,366666667
10	18	2024	22	0	5,566666667
10	18	2024	23	0	4,283333333

**Tabla 5.3: Datos tabulados de la semana de Diciembre de 2024 para Distribución de Weibull.**

Vmax-Vmi	Vm	Frecuencia	% Frecuencia	Weibull	Acumulada
0,5-1	0,5	11	0,02330508	0,06346665	0,01211163
1-1,5	1	69	0,14618644	0,18512047	0,07295341
1,5-2	1,5	102	0,21610169	0,31092448	0,19795428
2-2,5	2	86	0,18220339	0,38757456	0,37556504
2,5-3	2,5	82	0,17372881	0,38294529	0,5717334
3-3,5	3	57	0,12076271	0,30579183	0,74622145
3,5-4	3,5	39	0,08262712	0,19787377	0,87238973
4-4,5	4	15	0,03177966	0,10328368	0,94646369
4,5-5	4,5	8	0,01694915	0,04313556	0,98155997
5-5,5	5	1	0,00211864	0,01427227	0,99486482
5,5-6	5,5	1	0,00211864	0,00370072	0,99886073
6-6,5	6	1	0,00211864	0,00074351	0,99980148
Total de Datos		472			
K	u	C			
2,6361	2,36483051	2,661344511			

**Tabla 5.4: Muestra de datos tabulados de la semana de Diciembre de 2024 para Dirección del viento.**

Mes	Día	Año	Hora	Dirección	Velocidad
12	23	2024	0	7,8333333	1,98333333
12	23	2024	1	15,8333333	2,5
12	23	2024	2	0	1,55
12	23	2024	3	7,3333333	1,28333333
12	23	2024	4	8,5	1,46666667
12	23	2024	5	10,5	2,13333333
12	23	2024	6	31	2,31666667
12	23	2024	7	1,3333333	2,11666667
12	23	2024	8	4	2,21666667
12	23	2024	9	0	1,86666667
12	23	2024	10	0	2,63333333
12	23	2024	11	5,6666667	4,06666667
12	23	2024	12	0	3,45
12	23	2024	13	1,3333333	3,81666667
12	23	2024	14	0	4,73333333
12	23	2024	15	0,6666667	4,88333333
12	23	2024	16	0,1666667	3,76666667
12	23	2024	17	0	2,78333333
12	23	2024	18	0	2,6
12	23	2024	19	0	1,55
12	23	2024	20	0	1,25
12	23	2024	21	0	1,06666667
12	23	2024	22	0	1,68333333
12	23	2024	23	0	1,8
12	24	2024	0	1,5	2,25
12	24	2024	1	8,3333333	2
12	24	2024	2	30,1666667	1,73333333
12	24	2024	3	61	1,81666667
12	24	2024	4	53,8333333	1,2
12	24	2024	5	45,6666667	2,15
12	24	2024	6	12,5	1,58333333
12	24	2024	7	21,6666667	2,48333333
12	24	2024	8	18,5	2,93333333

12	24	2024	9	11,833333	2,81666667
12	24	2024	10	11,166667	2,91666667
12	24	2024	11	40,666667	3,05
12	24	2024	12	24,666667	2,33333333
12	24	2024	13	13,166667	2,3
12	24	2024	14	4,3333333	1,93333333
12	24	2024	15	14,833333	1,56666667
12	24	2024	16	7,8333333	1,1
12	24	2024	17	3	0,98333333
12	24	2024	18	2,6666667	2,83333333
12	24	2024	19	6,1666667	2,76666667
12	24	2024	20	11,833333	3,11666667
12	24	2024	21	26	2,75
12	24	2024	22	46,666667	3,2
12	24	2024	23	60,5	2,71666667
12	25	2024	0	67	2,88333333
12	25	2024	1	53,333333	1,85
12	25	2024	2	60,333333	1,5
12	25	2024	3	10,333333	2,55
12	25	2024	4	2,8333333	2,11666667
12	25	2024	5	6,3333333	1,23333333
12	25	2024	6	19,333333	1,56666667
12	25	2024	7	33,666667	2,78333333
12	25	2024	8	18,666667	3,3
12	25	2024	9	29,666667	3,53333333
12	25	2024	10	11,166667	3,73333333
12	25	2024	11	0	3,21666667
12	25	2024	12	8,5	1,86666667
12	25	2024	13	50,333333	1,41666667
12	25	2024	14	30,333333	1,56666667
12	25	2024	15	5	2,71666667
12	25	2024	16	1,3333333	3,71666667
12	25	2024	17	1,3333333	3
12	25	2024	18	1,3333333	1,81666667
12	25	2024	19	0	2,85

**Tabla 5.5: Datos tabulados del Mes de Noviembre de 2024 para Distribución de Weibull.**

Vmax-Vmin	Vmedi	Frecuencia	% Frecuencia	Weibull	Acumulada
0,5-1	0,5	74	0,031422505	0,169809858	0,054583107
1-1,5	1	368	0,15626327	0,229647318	0,156463575
1,5-2	1,5	388	0,164755839	0,250748784	0,277851452
2-2,5	2	306	0,129936306	0,246356639	0,4029802
2,5-3	2,5	285	0,121019108	0,225731365	0,521512756
3-3,5	3	279	0,118471338	0,196185139	0,62723441
3,5-4	3,5	226	0,09596603	0,163288773	0,717148842
4-4,5	4	153	0,064968153	0,130953877	0,790624998
4,5-5	4,5	122	0,051804671	0,101620928	0,848609679
5-5,5	5	77	0,032696391	0,076539912	0,892959429
5,5-6	5,5	47	0,019957537	0,056085834	0,925923914
6-6,5	6	28	0,011889597	0,040057572	0,949784669
6,5-7	6,5	2	0,000849257	0,027927772	0,966631957
		<b>2355</b>			
		k	1,6		
		c	3,025008004		
		u	2,712144374		

**Tabla 5.6: Muestra de datos tabulados del Mes de Noviembre de 2024 para Dirección del viento.**

Mes	Dia	Año	Hora	Dirección	Velocidad
11	1	2024	5	35	1,1
11	1	2024	6	47	0,9
11	1	2024	7	36,66666667	1,1
11	1	2024	8	37	1,2
11	1	2024	9	44	0,9
11	1	2024	14	36	1,15
11	1	2024	17	22	1,766666667
11	1	2024	18	25	3,4
11	1	2024	19	22,66666667	4,133333333
11	1	2024	20	4,833333333	2,95
11	1	2024	21	17,83333333	3,35
11	1	2024	23	24,25	2,175
11	2	2024	0	22	1,583333333
11	2	2024	1	34	1,233333333
11	2	2024	2	25	1,666666667
11	2	2024	5	28	1,4
11	2	2024	6	1	1,2
11	2	2024	9	24	1,2
11	2	2024	10	42	1,7
11	2	2024	11	22,33333333	1,2
11	2	2024	14	17	1,3
11	2	2024	15	48	1,6
11	2	2024	16	21	2,1
11	2	2024	17	22,75	2,175
11	2	2024	18	15,83333333	3,25
11	2	2024	19	8,166666667	3,383333333
11	2	2024	20	8,5	3,283333333
11	2	2024	21	8,5	2,666666667
11	2	2024	22	4	2,1
11	2	2024	23	58,25	2,725
11	3	2024	0	65,5	1,8
11	3	2024	2	85	1,1
11	3	2024	3	75,5	1,4
11	3	2024	4	87	1
11	3	2024	5	43,5	0,75
11	3	2024	6	14,5	0,9

**Tabla 5.7: Datos tabulados de un Año desde Febrero 2024 a Enero 2025 para Distribución de Weibull.**

Vmax-Vmin	Vm	Frecuencia	% Frecuencia	Weibull	Acumulada
0-0,5	0	1589	0,034190425	0	0
0,5-1	0,5	4191	0,090177515	0,167239183	0,053732404
1-1,5	1	6121	0,131705218	0,226584405	0,154160526
1,5-2	1,5	6465	0,139107047	0,248021155	0,27407475
2-2,5	2	5497	0,118278644	0,244420902	0,398025244
2,5-3	2,5	4925	0,105970952	0,224753352	0,515827515
3-3,5	3	4225	0,090909091	0,196118212	0,621293198
3,5-4	3,5	3248	0,069887036	0,163956659	0,711366878
4-4,5	4	2765	0,059494352	0,132124803	0,78531273
4,5-5	4,5	2410	0,051855836	0,103063704	0,843959917
5-5,5	5	2009	0,043227542	0,078058994	0,889057262
5,5-6	5,5	1314	0,028273265	0,05753736	0,922769251
6-6,5	6	863	0,018569123	0,041351082	0,947318994
6,5-7	6,5	461	0,009919311	0,029019029	0,964763497
7-7,5	7	338	0,007272727	0,019910235	0,976875333
7,5-8	7,5	53	0,001140398	0,013369723	0,985101465
8-8,5	8	1	2,15169E-05	0,008794507	0,990572089
		46475			
k	1,6				
u	2,73967				
C	3,0557				

**Tabla 5.8: Muestra de datos tabulados de un Año desde Febrero 2024 a Enero 2025 para Dirección del viento.**

Día	Mes	Fecha	Hora	Dirección	Velocidad						
1	2	2024	12	90	3,261415106	4	2	2024	8	90	2,57283658
1	2	2024	13	90	3,748025164	4	2	2024	9	90	2,237185204
1	2	2024	14	90	2,956723861	4	2	2024	10	90	2,744314133
1	2	2024	15	90	4,175073901	4	2	2024	11	90	2,805855857
1	2	2024	16	90	3,109020101	4	2	2024	12	90	3,918107995
1	2	2024	17	90	3,255268647	4	2	2024	13	90	4,162048733
1	2	2024	18	90	3,66240123	4	2	2024	14	90	4,79414148
1	2	2024	19	90	4,853291553	4	2	2024	15	90	4,349327821
1	2	2024	20	90	3,136898798	4	2	2024	16	90	2,831788075
1	2	2024	21	90	4,052879049	4	2	2024	17	90	3,9856593
1	2	2024	22	90	3,492281403	4	2	2024	18	90	2,458107759
1	2	2024	23	90	3,128306454	4	2	2024	19	90	5,665255407
2	2	2024	0	90	2,694082303	4	2	2024	20	90	3,256494391
2	2	2024	1	90	4,111367577	4	2	2024	21	90	2,755281188
2	2	2024	2	90	4,192901786	4	2	2024	22	90	4,616067234
2	2	2024	3	90	4,520942774	4	2	2024	23	90	2,722640081
2	2	2024	4	90	3,010717895	5	2	2024	0	90	3,509859138
2	2	2024	5	90	3,385402919	5	2	2024	1	90	4,286297695
2	2	2024	6	90	2,866833874	5	2	2024	2	90	3,823192588
2	2	2024	7	90	2,190610683	5	2	2024	3	90	4,292430536
2	2	2024	8	90	2,590466399	5	2	2024	4	90	2,99752392
2	2	2024	9	90	3,904689074	5	2	2024	5	90	3,110676804
2	2	2024	10	90	2,388370583	5	2	2024	6	90	2,895310067
2	2	2024	11	90	3,149542737	5	2	2024	7	90	4,037829894
2	2	2024	12	90	5,841333884	5	2	2024	8	90	3,869838384
2	2	2024	13	90	4,861796493	5	2	2024	9	90	3,099204761
						5	2	2024	10	90	2,095962859
						5	2	2024	11	90	4,614637086

**ANEXO 5**  
**MODELO**  
**MATEMÁTICO DE**  
**UNA TURBINA DE**  
**BAJA CAPACIDAD**  
**(SIMULINK)**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA**

**Anexo 5**

**ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE  
LA TURBINA A USAR (MATLAB - SIMULINK)**

- **Entorno MATLAB - SIMULINK**

Al iniciar el inicio de la pantalla principal del entorno MATLAB, nos dirigiremos a la opción del SIMULINK.

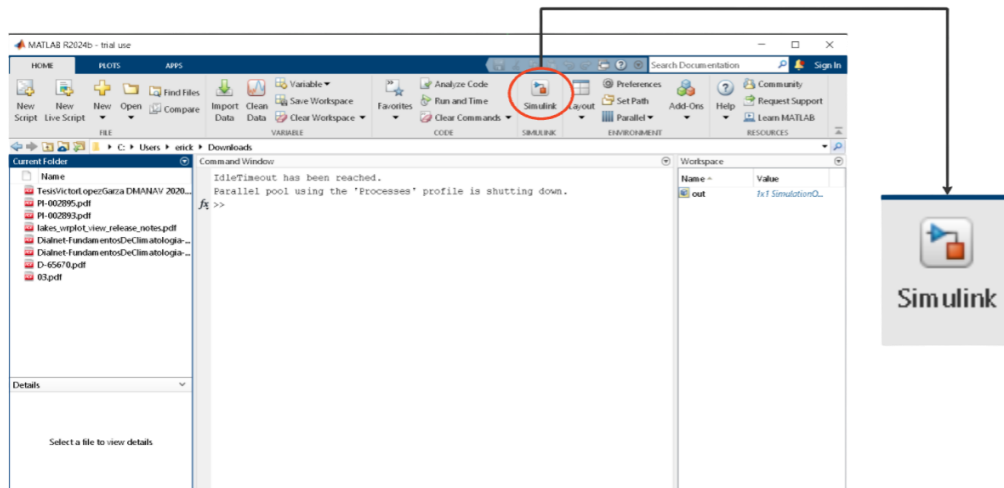


Figura 4.23 Pantalla principal entorno MATLAB y redirección a SIMULINK

- **Panel de tareas SIMULINK**

Panel principal para elegir cual es lo que trabajara en el SIMULINK (en este caso nos iremos por la opción Blank Model).

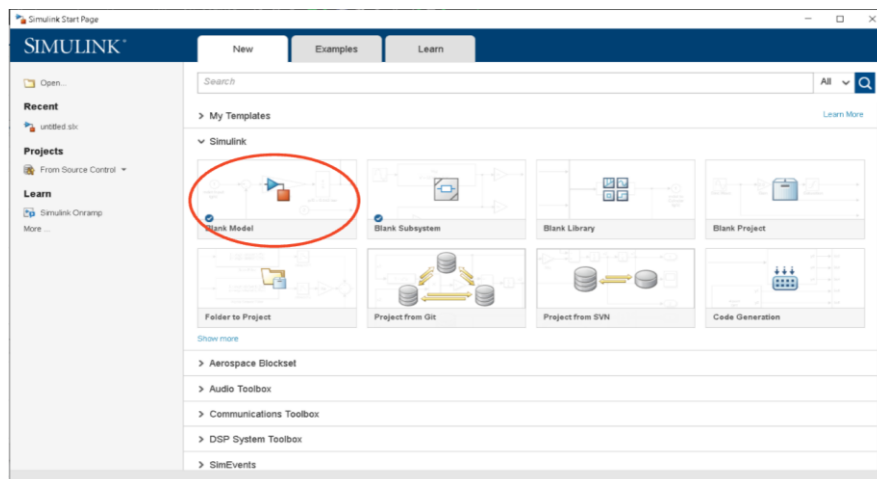


Figura 4.24 Panel inicial SIMULINK

- **Library Browser**

En el entorno de trabajo de SIMULINK, doble click para que aparezca la librería que el software nos proporciona.

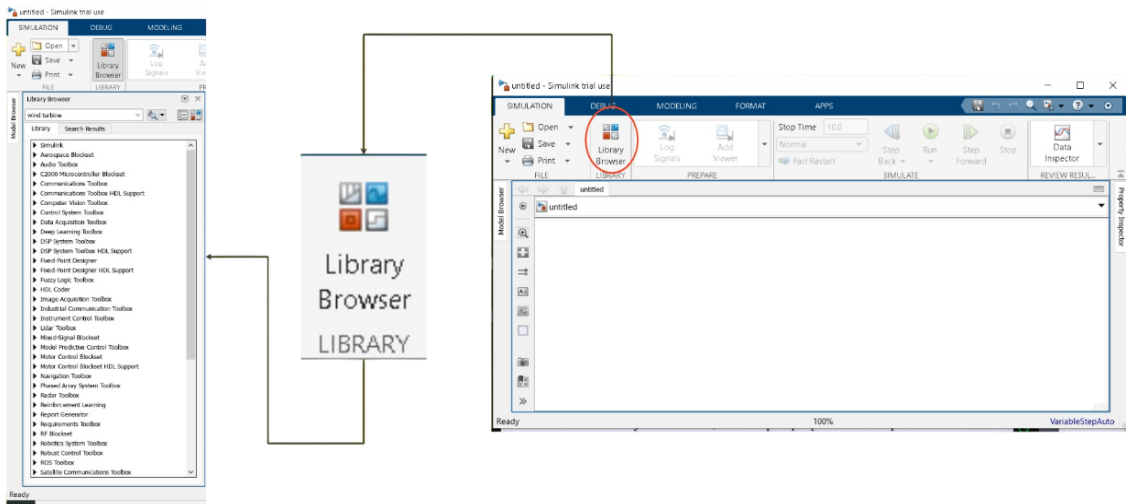


Figura 4.25 Librería SIMULINK

- **Elementos a utilizar para el modelo matemático de la turbina de viento**

Para realizar el modelo matemático nos fijamos en el tipo de turbina que se eligió para trabajar. En el buscador colocaremos **WIND TURBINE** y se nos desplegará las turbinas que el sistema maneja.

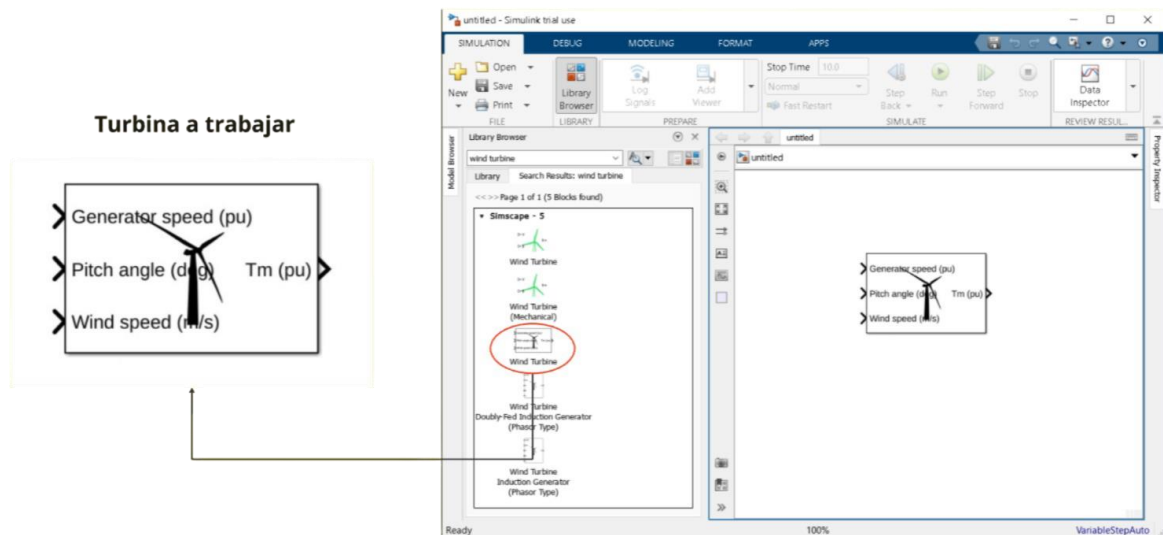

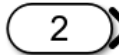
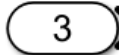


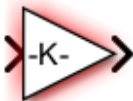

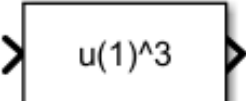
Figura 4.26 Turbina a determinar su modelo matemático

Una vez se haya definido el modelo de turbina a trabajar procedemos a buscar los elementos adecuados y necesarios para armar el esquema (modelo matemático) que hará exactamente lo mismo que la turbina vista anteriormente.

- **ENTRADAS**

<p><b>Constant Block (1):</b> Wind Speed (m/s).</p>	 Wind speed (m/s)
<p><b>Constant Block (2):</b> Generator Speed (pu).</p>	 Generator speed (pu)
<p><b>Constant Block (3):</b> Pitch Angle (deg).</p>	 Pitch angle (deg)

- **CONVERSIÓN DE VELOCIDAD DE VIENTO**

<p><b>Gain Block:</b> Convierte la velocidad a unidades pu.</p>	 $1/\text{wind\_base}$
<p><b>Saturation Block:</b> Evitar divisiones por cero.</p>	<p>Avoid division by zero</p> 
<p><b>Math Function Block:</b> <math>u(1)^3</math> eleva la velocidad del viento al cubo para <math>P_{wind_{pu}}</math>.</p>	 $\text{wind\_speed}^3$

Esto representa a la primera parte de la conexión del modelo matemático global de la turbina

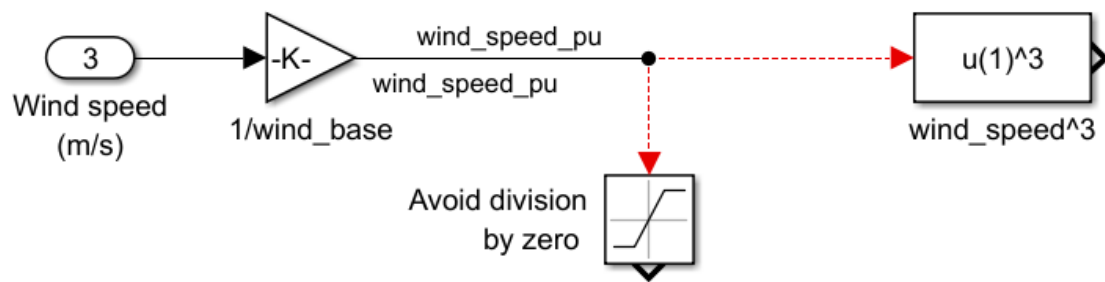
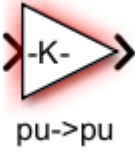

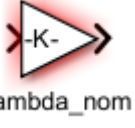
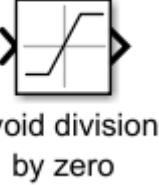


Figura 4.27 Primera parte de la conexión del modelo matemático

- **CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE VELOCIDAD ( $\lambda$ )**

<p><b>Gain Block:</b> Conversión de unidades pu del generador.</p>	
<p><b>Sum Block:</b> Operación matemática para calcular <math>\lambda</math>.</p>	
<p><b>Gain Block:</b> Normaliza <math>\lambda</math>.</p>	
<p><b>Saturation Block:</b> Previene errores matemáticos.</p>	

La segunda parte se opera ingresando el dato de la velocidad del generador para empezar con el cálculo del coeficiente de potencia.

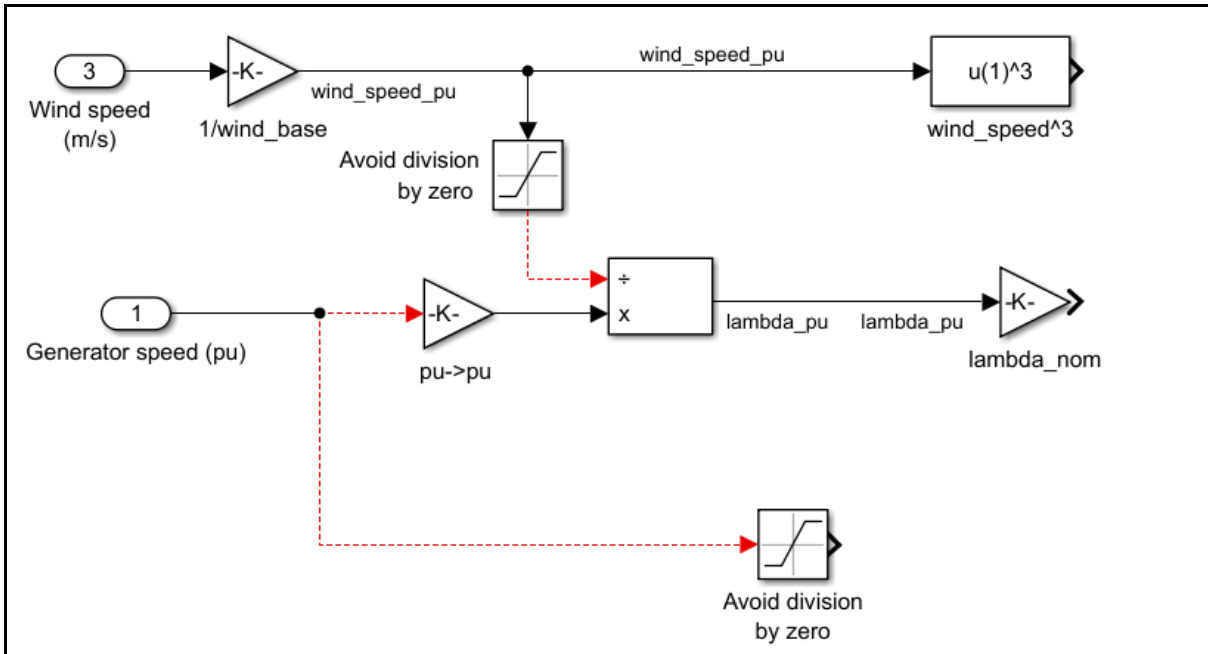
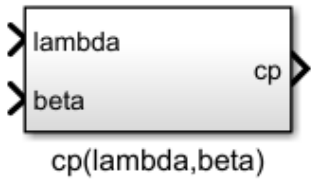




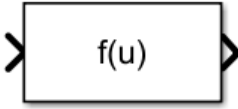

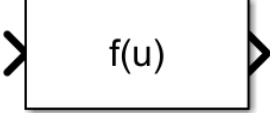



Figura 4.28 Segunda parte de la conexión del modelo matemático.

- **CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE POTENCIA (Cp)**

<p><b>Lookup Table Block:</b> Representa la ecuación matemática del coeficiente de potencia.</p>	
<p><b>Gain Block:</b> Normaliza Cp.</p>	
<p><b>OPERACIÓN INTERNO DEL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE POTENCIA (Cp)</b></p>	
<p><b>Constant Block (1):</b> Representa la velocidad de punta (<math>\lambda</math>).</p>	

<p><b>Constant Block (2):</b> Representa el ángulo de paso (<math>\beta</math>).</p>	 5 beta
<p><b>Mux Block (Combinador de señales):</b> Agrupa <math>\lambda</math> y <math>\beta</math> en una sola señal de entrada.</p>	
<p><b>Function Block (f(u)):</b> Primera función que toma ambas variables que devuelve una variable intermedia <math>\lambda_i</math>.</p>	 f(u) lambda_i
<p><b>Mux Block:</b> Agrupa la señal intermedia <math>\lambda_i</math> de la primera función con <math>\beta</math>.</p>	
<p><b>Function Block (f(u)):</b> Segunda función que calcula el cp en base a las dos variables <math>\lambda_i</math> y <math>\beta</math>.</p>	 f(u)
<p><b>Output Block (cp):</b> Indica el coeficiente de potencia (cp).</p>	 1 cp

Una vez generada la conexión para el cálculo del coeficiente de potencia queda de la siguiente forma:

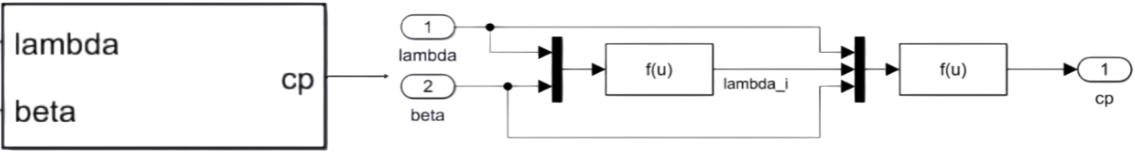
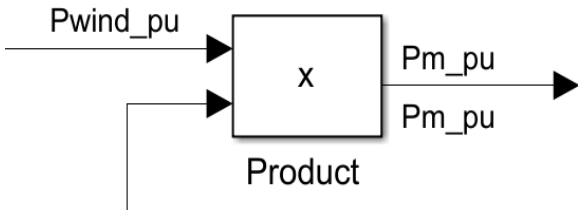
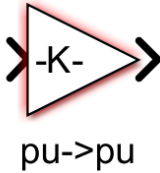


Figura 4.29 Ecuación matemática del coeficiente de potencia.

- **CÁLCULO DE LA POTENCIA MECÁNICA**

<p><b>Product Block:</b> Multiplica <math>P_{wind_{pu}}</math> por <math>C_p</math> para alcanzar <math>P_{m_{pu}}</math>.</p>	
<p><b>Gain Block:</b> Conversión de unidades pu.</p>	

La tercera parte va para el cálculo de la potencia mecánica por unidad para enseguida sacar el torque mecánico que ejerce la turbina.

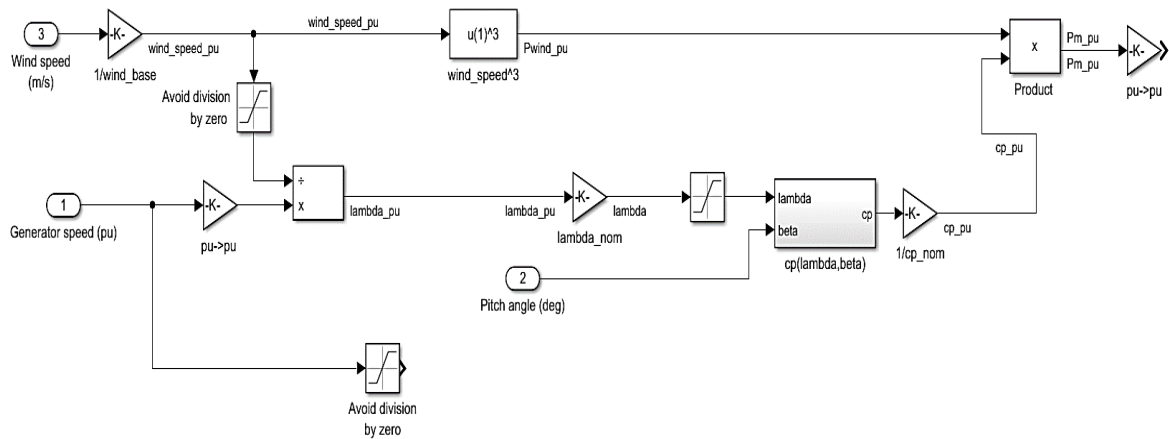
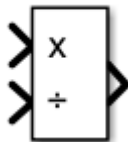
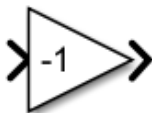
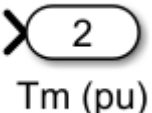


Figura 4.30 Tercera parte de la conexión del modelo matemático.

- **CÁLCULO DEL TORQUE MECÁNICO DE LA TURBINA**

<p><b>Divide Block:</b> Divide <math>P_{m_{pu}}</math> por la velocidad que posee el generador.</p>	
---	---

<p><b>Gain Block:</b> Cambia el signo que tiene el torque mecánico.</p>	
<p><b>Output Block (Tm pu):</b> Salida o resultado del Torque mecánico en pu.</p>	

Completada la conexión del diagrama de bloque (Modelo matemático) global de turbina, cumple la misma función que el modelo simplificado de turbina (GRÁFICO SIN numero).

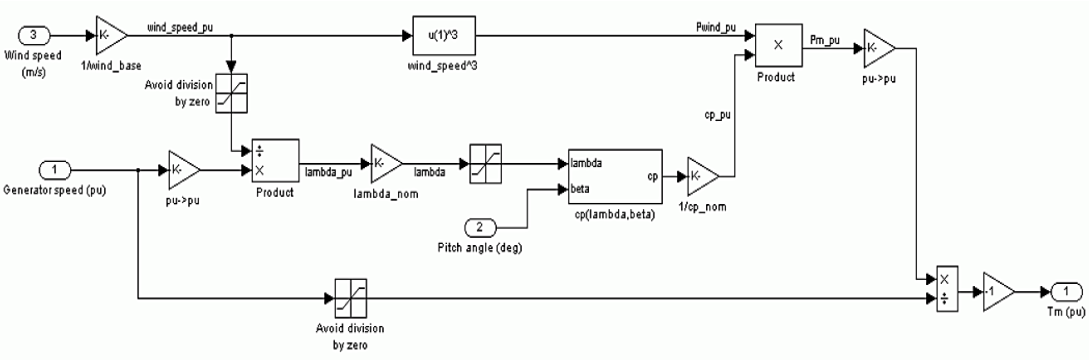
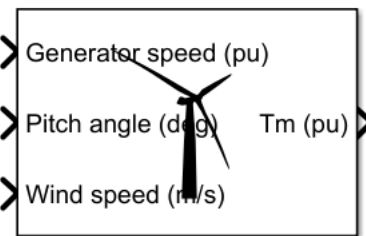

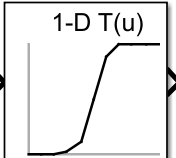


Figura 4.31 Modelado matemático global de la turbina de viento seleccionada para trabajar.

**Tabla 4.18: Elementos turbina vertical**

<p><b>WIND TURBINE</b></p>	
<p><b>SCOPE</b></p>	
<p><b>1-D LOOKUP TABLE</b></p>	

**CLOCK**



**Tabla 4.19: Datasheet de turbina Vertical DS700W Etneo**

<b>POTENCIA NOMINAL</b>	700 W
<b>POTENCIA BASE DEL GENERADOR ELECTRICO</b>	1400 VA
<b>VELOCIDA NOMINAL DEL VIENTO</b>	12 m/s
<b>POTENCIA MÁXIMA A LA VELOCIDAD NOMINAL DEL VIENTO pu.</b>	0.7
<b>VELOCIDAD ROTACIONAL DEL GENERADOR</b>	1000 RPM -> 0.1 pu
<b>ANGULO BETA PARA MOSTRAR LAS CARACTERISTICAS DE POTENCIA DE LA TURBINA (Beta &gt;=0)</b>	0 deg

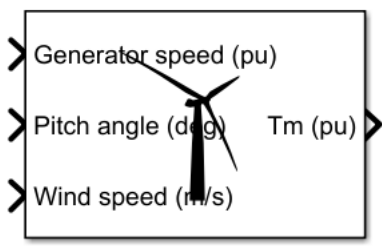
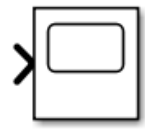
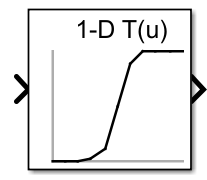

### **Turbina DS700 detalles técnicos**

Número de palas	3
Tipo de palas	4 Savonius y 3 Darrieus
Generador	Trifasico con imanes permanentes
<b>Potencia nominal</b>	<b>700W</b>
<b>Potencia maxima</b>	<b>1000W</b>
Voltaje	48V
Clase de viento	CLASS III IEC 61400-2
Area barrida	2m <sup>2</sup>
Peso	60Kg
Velocidad de cut-in	2,2m/s

Velocidad nominal	12m/s
Velocidad de cut-out	15m/s
Transmisión	Direct Drive
Control de potencia	Curva MPPT del generador
Control de frenado y protección	Dump-load automático y freno short-circuit
Controller	48V para cargar baterías
Ruido	Max. 50dBa
Tipo de palo	Cónico poligonal 6-8mt

Figura 4.21 Datasheet turbina vertical DS700W

**Tabla 4.20: Elementos turbina Horizontal**

<b>WIND TURBINE</b>	
<b>SCOPE</b>	
<b>1-D LOOKUP TABLE</b>	
<b>CLOCK</b>	

**Tabla 4.21: Datasheet de turbina Horizontal HLD 1.5kW**

<b>POTENCIA NOMINAL</b>	1.5 kW
<b>POTENCIA BASE DEL GENERADOR ELECTRICO</b>	30000 VA
<b>VELOCIDA NOMINAL DEL VIENTO</b>	10 m/s
<b>POTENCIA MÁXIMA A LA VELOCIDAD NOMINAL DEL VIENTO pu.</b>	0.75
<b>VELOCIDAD ROTACIONAL DEL GENERADOR</b>	12000 RPM -> 1.2 pu
<b>ANGULO BETA PARA MOSTRAR LAS CARACTERISTICAS DE POTENCIA DE LA TURBINA (Beta &gt;=0)</b>	0 deg

Lugar del origen	Shandong, China
Marca	HLD
Número de Modelo	15kw
Voltaje de salida	240V-800V
Diámetro del rotor	9,4 M
Arranca la velocidad del viento	3 m/s
Velocidad nominal del viento	10 m/s
Poner en marcha la velocidad del viento	3 m/s
Velocidad de trabajo del viento	4 m/s-25 m/s
Velocidad del viento de supervivencia	50 m/s
Potencia nominal de salida	15KW

Max potencia de salida	20kW
Tipo de la turbina de viento	El eje horizontal, conduce directamente, turbina de viento furing auto
Tipo de generador	3 frase AC C.W PMA
Sistema DE TRABAJO	Lazo de la rejilla, rejilla, sistema híbrido solar del viento
Tensión DE TRABAJO	240V 360V 500V

Figura 4.22 Datasheet turbina horizontal HLD