



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN
UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS
MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN SALACHE”**

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

AUTOR(ES):

Madison Gabriel Barragan Yugsi

Smith Sebastián Cruz Ponce

TUTOR:

PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Latacunga, febrero 2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Barragan Yugsi madison Gabriel y Cruz Ponce Smith Sebastián, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”**, siendo el PhD. Héctor Luis laurencio Alfonso tutor del presente trabajo, y exigimos 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 nuestra exclusiva responsabilidad.

.....
Barragan Yugsi madison Gabriel

CC: 055009568-1

.....
Cruz Ponce Smith Sebastián

CC: 050459388-0



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de Investigación sobre el título:

“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”, Barragan Yugsi Madison Gabriel, con cédula de ciudadanía N° 055009598-1, Cruz Ponce Smith Sebastián, con cédula de ciudadanía N° 050459388-0, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnico suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyectos que el Consejo Directivo de la Facultad de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2024

PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

CC: 175836725-2




APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Latacunga, febrero 2024

En calidad de tribunal de lectores. Aprueban el presente informe de investigación 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: **BARRAGAN YUGSI MADISON GABRIEL**, con Cédula de ciudadanía N° 055009598-1 y **CRUZ PONCE SMITH SEBASTIÁN**, con Cédula de ciudadanía N° 050459388-0, con el título de proyecto de titulación: **“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación de proyecto.

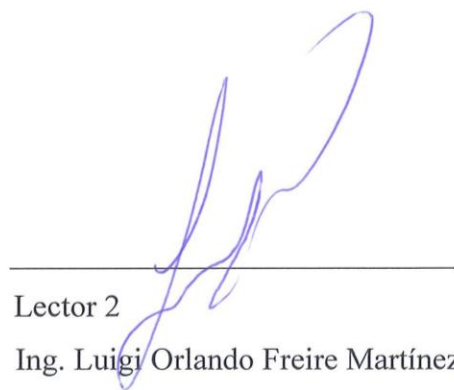
Por lo expuesto, se autoriza los empastados correspondientes, según la normativa institucional.



Lector 1

Ing. Segundo Angel Cevallos Betún

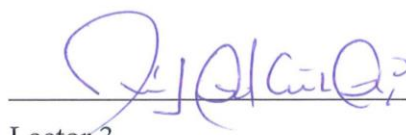
CC: 050178243-7



Lector 2

Ing. Luigi Orlando Freire Martínez

CC: 050252958-9



Lector 3

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi

CC: 050259517-6

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por darme salud y vida, guiarme en cada paso en mi deseo de superación y triunfo en la vida, agradezco a mi familia y a todas las personas que se involucraron en mi proceso por su apoyo y motivación, vuestra constante dedicación, aliento y amor han sido la luz que ha guiado cada paso de este camino desafiante pero gratificante.

Madison Barragan

DEDICATORIA

El presente logro se los dedico a mis padres y mis hermanos por haberme motivado en el aprendizaje en la búsqueda de obtener mi título de ingeniero. Vuestra constante dedicación, aliento y amor han sido la luz que ha guiado cada paso de este camino desafiante pero gratificante.

Cada sacrificio que han hecho, cada palabra de ánimo que me han brindado, y cada gesto de amor que me han demostrado, han sido los pilares sobre los cuales he construido mi camino hacia el éxito. Vuestra presencia constante y vuestro amor incondicional han sido el impulso que necesitaba para alcanzar mis metas.

Madison Barragan

AGRADECIMIENTO

En este momento de culminación, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte fundamental de mi trayecto académico. En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar este logro.

A mis padres, les debo una gratitud inmensa. Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio incansable han sido el cimiento sobre el cual he construido mis sueños. Cada paso que he dado ha sido guiado por su ejemplo inspirador.

Este logro no solo es mío, sino también de todos aquellos que han contribuido de alguna manera a mi crecimiento. A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este camino ha sido enriquecido por sus valiosas aportaciones y apoyo constante. Gracias por ser parte de mi historia y por compartir este momento de celebración conmigo.

Sebastián Cruz

DEDICATORIA

El presente logro se los dedico a mis padres y mis hermanos por haberme motivado en el aprendizaje en la búsqueda de obtener mi título de ingeniero. Vuestra constante dedicación, aliento y amor han sido la luz que ha guiado cada paso de este camino desafiante pero gratificante.

Cada sacrificio que han hecho, cada palabra de ánimo que me han brindado, y cada gesto de amor que me han demostrado, han sido los pilares sobre los cuales he construido mi camino hacia el éxito. Vuestra presencia constante y vuestro amor incondicional han sido el impulso que necesitaba para alcanzar mis metas.

Sebastián Cruz

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| 1. INFORMACIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1.1. PROBLEMA..... | 2 |
| 1.1.1. Identificación del problema..... | 2 |
| 1.1.2. Formulación del problema | 2 |
| 1.1.3. Análisis y alcance del problema..... | 2 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.3. BENEFICIARIOS: | 3 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2.1. OBJETIVOS | 4 |
| 2.1.1. Objetivo General | 4 |
| 2.1.2. Objetivos Específicos..... | 4 |
| 2.1.3. TAREAS POR OBJETIVOS | 4 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 3.1. ANTECEDENTES | 6 |
| 3.2. Repotenciación..... | 8 |
| 3.2.1. Repotenciación en la energía eólica a lo largo del tiempo | 8 |
| 3.2.2. Definición de Aerogenerador | 9 |
| 3.3. Tipos de aerogeneradores eólicos | 10 |
| 3.3.1. Eje Horizontal | 10 |
| 3.3.2. Eje Vertical..... | 11 |
| 3.4. Clasificación de Aerogeneradores HAWT y VAWT | 11 |
| 3.4.1. Funcionamiento de un Aerogenerador Horizontal (HAWT) | 12 |
| 3.5. Componentes del aerogenerador..... | 13 |
| 3.5.1. Rotor..... | 14 |
| 3.5.2. Aspas | 14 |
| 3.5.3. Generador..... | 14 |
| 3.5.4. Cola | 14 |

| | | |
|--------|---|-----------|
| 3.6. | Componentes eléctricos para direccionamiento y almacenamiento de energía... | 14 |
| 3.6.1. | Controlador Eólico | 15 |
| 3.6.2. | Inversor..... | 16 |
| 3.6.3. | Térmicos trifásicos y bifásicos | 16 |
| 3.6.4. | Caja de distribución..... | 17 |
| 3.6.5. | Batería de 12 V..... | 18 |
| 3.7. | Causas que ocasionan problemas en un sistema de aerogeneración..... | 18 |
| 3.7.1. | Desgaste | 18 |
| 3.7.2. | Cortocircuitos | 19 |
| 3.7.3. | Falta de Mantenimiento..... | 19 |
| 3.7.4. | Diseño Inadecuado de Hélices | 19 |
| 3.7.5. | Orientación Ineficiente | 19 |
| 3.7.6. | Problemas Mecánicos..... | 19 |
| 3.7.7. | Falta de Dispositivos de Protección | 19 |
| 3.8. | Cortocircuito Rotor-Estator en Generadores de Aerogeneradores | 20 |
| 3.8.1. | Desgaste y Deterioro de Aislamientos | 20 |
| 3.8.2. | Fallas Mecánicas | 20 |
| 3.8.3. | Condiciones Ambientales Adversas..... | 20 |
| 3.8.4. | Errores en el Mantenimiento | 21 |
| 3.8.5. | Impacto en el Rendimiento Eléctrico | 21 |
| 3.8.6. | Necesidad de Inspecciones Regulares..... | 21 |
| 3.9. | Arrastre Aerodinámico en Aerogeneradores | 21 |
| 3.9.1. | Diseño Deficiente de las Hélices..... | 22 |
| 3.9.2. | Impacto del Diseño en la Captación de Viento | 22 |
| 3.9.3. | Evaluación de la Interacción Viento-Hélice..... | 22 |
| 3.9.4. | Necesidad de Análisis Detallado..... | 22 |
| 3.9.5. | Optimización Continua | 22 |
| 4. | METODOS Y PROCEDIMIENTOS..... | 23 |
| 4.1. | DATOS DE AEROGENERADOR | 24 |
| 4.1.1. | Evaluación y Análisis del estado inicial del aerogenerador..... | 25 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 4.2. | PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE AEROGENERADOR | 26 |
| 4.3. | PROCEDIMIENTO PARA PROSPECCIÓN EÓLICA: | 27 |
| 4.3.1 | Estación meteorológica..... | 27 |
| 4.3.2. | WRPLOT | 28 |
| 4.3.3. | WEIBULL | 29 |
| | 29 | |
| 4.4. | OBTENCIÓN DEL DISEÑO DEL PERFIL A ENSAYAR | 30 |
| 4.4.1. | PERFIL NACA | 31 |
| 4.4.2. | ANGULO DE ATAQUE | 31 |
| 4.4.3. | QBLADE..... | 32 |
| 4.4.4. | Diseño de Rotores | 33 |
| 4.5. | MODELADO 3D DE AEROGENERADOR..... | 33 |
| 4.6. | SISTEMA ELÉCTRICO | 37 |
| 4.6.1. | Generador..... | 37 |
| 4.6.2. | Controlador de carga o regulador de carga | 38 |
| 4.6.3. | Baterías..... | 38 |
| 4.6.4. | Inversor..... | 39 |
| 4.7. | Conductor utilizado para toma de alimentación de aerogenerador:..... | 40 |
| 5. | RESULTADOS | 41 |
| 5.1. | Prospección Eólica..... | 41 |
| 5.2. | Distribución de Weibull..... | 43 |
| 5.2.1. | Diseño de las palas de aerogenerador mediante perfil NACA..... | 45 |
| 5.3. | Diseño de Rotor | 47 |
| 5.4. | SIMULACION DE TURBINA EOLICA..... | 48 |
| 5.4.1. | Potencia generada..... | 48 |
| | 5.5. PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE AEROGENERADOR | |
| | MANTENIMIENTO AEROGENERADOR | 49 |
| 5.5.1. | Desmontaje del aerogenerador | 49 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 5.5.2. | Mantenimiento del generador | 49 |
| 5.5.3. | Rediseño de Hélices | 63 |
| 5.6. | Análisis Comparativo de Diseño de Hélices: Drones vs. Aerogeneradores | 63 |
| 5.6.1. | Reducción de la resistencia aerodinámica..... | 64 |
| 5.6.2. | Reducción del ruido | 64 |
| 5.7. | SISTEMA ELECTRICO | 65 |
| 5.7.1. | Control de carga | 67 |
| 5.7.2. | Protección de la batería | 67 |
| 5.7.3. | Control de la tensión de salida | 68 |
| 5.7.4. | Monitoreo y gestión remota | 68 |
| 5.8. | PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE AEROGENERADOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, EXTENSIÓN SALACHE | 68 |
| 5.9. | Análisis de impacto y presupuesto..... | 69 |
| 5.9.1. | Impacto económico | 69 |
| 5.9.2. | Impacto Tecnológico..... | 70 |
| 5.9.3. | Impacto Ambiental..... | 70 |
| 5.9.4. | Presupuesto..... | 70 |
| 5.9.5. | Presupuesto directo | 70 |
| 5.9.6. | Costos indirectos | 71 |
| 5.9.7. | Costo total de la repotenciación | 71 |
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 71 |
| 6.1. | Conclusiones..... | 71 |
| 6.2. | Recomendaciones | 72 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 74 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1: Tareas por objetivos..... | 4 |
| Tabla 4.1: Características de aerogenerador | 24 |
| Tabla 4.2: Evaluación de estado de aerogenerador..... | 26 |
| Tabla 4.3: Distribución de meses..... | 28 |
| Tabla 4.4: Lista de piezas de Aerogenerador..... | 34 |
| Tabla 4.5: Características electricas del generador..... | 37 |
| Tabla 4.6: Características de controlador eólico..... | 38 |
| Tabla 4.7: Características de batería 12V | 39 |
| Tabla 4.8: Características de inversor DC/AC..... | 39 |
| Tabla 4.9: Características de conductor | 40 |
| Tabla 5.1: Calculo de diseño de distribución de Weibull | 43 |
| Tabla 5.2: Coeficientes de Sustentación y de Arrastre para Perfiles | 46 |
| Tabla 5.3: Curva de potencia generada..... | 49 |
| Tabla 5.4: Características de electrodo | 59 |
| Tabla 5.5: Valores de generación..... | 62 |
| Tabla 5.6: Programa de mantenimiento | 68 |
| Tabla 5.7: Costos directos de ingeniería | 70 |
| Tabla 5.8: Costos indirectos de ingeniería..... | 71 |
| Tabla 5.9: Presupuesto total de la propuesta tecnológica | 71 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1. Aerogenerador Antiguo..... | 9 |
| Figura 3.2. Tipos de aerogenerador..... | 10 |
| Figura 3.3. Tipos de aerogenerador HAWT Y VAWT | 12 |
| Figura 3.4. Dibujo de aerogenerador | 13 |
| Figura 3.5. Componentes de un aerogenerador | 13 |
| Figura 3.6. Wind Controller..... | 15 |
| Figura 3.7. Inversor de corriente..... | 16 |
| Figura 3.8. Térmicos eléctricos..... | 17 |
| Figura 3.9. Caja de distribución..... | 17 |
| Figura 3.10. Batería de 12V | 18 |
| Figura 3.11. Aerogenerador: Falla detectada..... | 20 |
| Figura 3.12. Problemas rotor/estator..... | 21 |
| Figura 3.13. Problemas arrastre hélices | 22 |
| Figura 4.1. Pasos para repotenciación | 23 |
| Figura 4.2. Evaluación de hélices | 25 |
| Figura 4.3. Generador con problema de corto circuito..... | 25 |
| Figura 4.4. Eje desgastado | 25 |
| Figura 4.5. Procesos de reparación | 27 |
| Figura 4.6. Muestra de datos 7 meses | 28 |
| Figura 4.7. Análisis de velocidad de viento..... | 30 |
| Figura 4.8. Frecuencia de Weibull..... | 30 |
| Figura 4.9. Perfiles NACA a Ensayar..... | 31 |
| Figura 4.10. Demostración de Angulo de Ataque..... | 32 |
| Figura 4.11. Coeficiente Sustentación y Arrastre..... | 32 |
| Figura 4.12. Bosquejo de aerogenerador | 34 |
| Figura 4.13. Diagrama de conexión eléctrica | 40 |
| Figura 5.1. Datos Meteorológicos Obtenidos..... | 41 |
| Figura 5.2. Simulación de Datos Meteorológicos..... | 42 |
| Figura 5.3. Distribución de Frecuencia..... | 43 |
| Figura 5.4. Diagrama de frecuencia..... | 44 |
| Figura 5.5. Diagrama de distribución de Weibull..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.6. Vista de Perfiles NACA. | 45 |
| Figura 5.7. Curvas Coeficientes (Sustentación y Arrastre) y Angulo de Ataque. | 45 |
| Figura 5.8. Curva Coeficiente de Sustentación..... | 46 |
| Figura 5.9. Selección de Angulo de Ataque. | 47 |
| Figura 5.10. Diseño de Hélice. | 47 |
| Figura 5.11. Diseño de Rotor..... | 48 |
| Figura 5.12. Simulación con Corrientes de Aire. | 48 |
| Figura 5.13. Desconexión a la red eléctrica..... | 49 |
| Figura 5.14. Generador fijado a prensa de mesa..... | 50 |
| Figura 5.15. Retiro de tuerca en el eje del rotor..... | 50 |
| Figura 5.16. Desmontaje de generador con llave Allen..... | 51 |
| Figura 5.17. Revisión de rotor | 51 |
| Figura 5.18. Revisión de estator | 52 |
| Figura 5.19. Verificación de estado de componentes del generador | 52 |
| Figura 5.20. Extracción del rotor del generador con prensa mecánica..... | 53 |
| Figura 5.21. Extractor mecánico sujeto al rotor..... | 53 |
| Figura 5.22. Eje de rotor con rodamientos desgastados..... | 54 |
| Figura 5.23. Eje de rotor con rodamientos sujeto a prensa mecánica..... | 54 |
| Figura 5.24. Eje de rotor desgastado..... | 55 |
| Figura 5.25. Calibrador digital..... | 55 |
| Figura 5.26. Electrodo de soldadura (E7018) | 56 |
| Figura 5.27. Eje rectificado con soldadura | 56 |
| Figura 5.28. Eje en proceso de torneado..... | 57 |
| Figura 5.29. Medición con calibrador digital | 57 |
| Figura 5.30. Eje después del proceso de torneado y rectificación..... | 58 |
| Figura 5.31. Eje rectificado en prensa mecánica | 58 |
| Figura 5.32. Eje con nuevos rodamientos..... | 59 |
| Figura 5.33. Limpieza de estator | 60 |
| Figura 5.34. Colocación de rotor en estator..... | 60 |
| Figura 5.35. Conexión de estator al generador de energía alterna..... | 61 |
| Figura 5.36. Fijación de las dos partes del generador..... | 61 |
| Figura 5.37. Verificación de energía con multímetro | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.38. Generador realizado las correcciones y mantenimiento | 63 |
| Figura 5.39. Desvió de hélice de 45° | 64 |
| Figura 5.40. Vista completa de aerogenerador ensamblado | 65 |
| Figura 5.41. Armado de Tablero Eléctrico | 66 |
| Figura 5.42. Tablero Instalado..... | 66 |
| Figura 5.43. Esquema conexión eléctrica. | 67 |
| Figura 5.44. Esquema conexión eléctrica tablero..... | 67 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”

Autores: Barragan Yugsi madison Gabriel

Cruz Ponce Smith Sebastián

RESUMEN

Esta propuesta tecnológica se centró en la repotenciación de un aerogenerador, en donde se llevó a cabo una evaluación de cada componente del dispositivo, con el objetivo de detectar posibles fallos que pudieran comprometer su funcionamiento. Se inició con una investigación en relación con los diferentes factores mecánicos que pudieran comprometer el desempeño del sistema aerogenerador, en donde se determinó que los cojinetes o rodamientos estaban desgastados. Por lo tanto, se optó por reemplazarlos. Además, el eje del rotor presentaba un desgaste superficial que provocaba un desbalance, en respuesta, se decidió rectificar su estado mediante soldadura y torneado. Adicionalmente, se llevó un análisis de la rosa de los vientos en el software WRPLOT para determinar la orientación ideal para nuestro dispositivo aerogenerador, posteriormente se realizó simulaciones en el software QBlade, en donde se evaluó tres perfiles NACA para determinar cuál es el más adecuado. Tras completar este proceso, se determinó que el perfil NACA 4412 era la elección ideal, es importante destacar que las hélices del sistema aerogenerador experimentaron modificaciones en su diámetro original, debido a modificaciones realizadas previamente antes de la intervención de este proyecto. Seguido se realizó el diseño total del dispositivo utilizando el software CAD Fusion 360, estos planos desempeñarán un papel importante en el análisis detallado de la estructura de nuestro aerogenerador. Por último se planteó un plan de mantenimiento correctivo donde se detalla del mantenimiento y corrección de las fallas antes detectadas. Una vez completadas las correcciones, se mostraron los resultados obtenidos de la repotenciación, los cuales son: mínimo 0.017 (kW), valor intermedio 0.274 (kW) y un valor máximo 1.937 (kW) de generación.

Palabras clave: repotenciación, evaluación de componentes, rectificación y reemplazo, resultados.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "Repowering of the Wind Power System Located in the Machu Picchu Soil Recovery Zone of the Technical University of Cotopaxi Salache Extension"

Authors: Madison Gabriel Barragan Yugsi

Sebastian Cruz Ponce Smith

ABSTRACT

This technological proposal focused on the upgrading of a wind turbine, conducting an evaluation of each component of the device to detect possible failures that could compromise its operation. We started with an investigation into the different mechanical factors that could affect the system's performance, determining that the bearings were worn. Therefore, the decision was made to replace them. Additionally, the rotor shaft presented superficial wear causing imbalance; in response, it was decided to rectify its condition through welding and turning. Additionally, a wind rose analysis was carried out using WRPLOT software to determine the optimal orientation for our wind turbine device. Subsequently, simulations were performed in QBlade software, evaluating three NACA profiles to determine which one was the most suitable. After completing this process, it was determined that the NACA 4412 profile was the optimal choice. It is important to highlight that the blades of our device underwent modifications to their original diameter, due to adjustments made before the intervention of this project. Following this, we completed the total design of the device using CAD Fusion 360 software; these plans will play a crucial role in the detailed analysis of our wind turbine's structure. Finally, we will present a corrective maintenance plan detailing the maintenance and correction of the previously detected failures. Once the corrections are completed, the results of the upgrading will be presented, which are: minimum 0.017 kW, intermediate 0.274 kW, and a maximum value of 1.937 kW of generation.

Keywords: repowering, component evaluation, rectification and replacement, results.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”** presentado por: **Barragan Yugsi Madison Gabriel y Ponce Smith Sebastián Cruz** egresados de la Carrera de: **Ingeniería en Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2024.

Atentamente,



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CC: 0502666514

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: “REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”

Fecha de inicio: octubre 2023

Fecha de finalización: febrero 2024

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: “REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE AEROGENERACIÓN UBICADO EN LA ZONA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS MACHU PICCHU DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN SALACHE”

Docente tutor propuesto: PhD. Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción/ 071 Ingeniería y Profesiones Afines/ 0713 Electricidad Y Energía.

Línea De Investigación: Energías alternativas renovables- eficiencia energética y protección ambiental.

Sub Líneas de Investigación de la Carrera: Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

1.1.PROBLEMA

1.1.1. Identificación del problema

En el año 2017, en la extensión Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se buscaba proveer de energía a una pequeña cabaña destinada para que los estudiantes se reunieran y llevaran a cabo actividades académicas o recreativas. Sin embargo, debido al difícil acceso y a los costos asociados, no se optó por la implementación de energía tradicional a través de redes eléctricas. Ante esta situación, se decidió implementar un sistema de aerogeneración. Lamentablemente, esta opción no tuvo éxito, ya que no logró generar la energía esperada. La falta de supervisión y evaluación del desempeño del sistema hasta el año 2023 reveló debilidad en la gestión del mismo. Además, en su estado inicial, el aerogenerador carecía de un mecanismo para direccionar y almacenar la energía generada. Adicionalmente, la ausencia de un plan de mantenimiento ha agravado la situación del sistema. Estas circunstancias resaltan la importancia de una gestión adecuada, supervisión constante y la implementación de planes de mantenimiento para garantizar el funcionamiento efectivo de sistemas de este tipo.

1.1.2. Formulación del problema

El aerogenerador de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache, por el tiempo sin funcionamiento, se desarrolla una inspección para determinar las causas subyacentes de la falta de operatividad del aerogenerador y de esta manera realizar las reparaciones necesarias.

1.1.3. Análisis y alcance del problema

El objetivo del siguiente estudio es repotenciar el sistema de aerogeneración, añadiendo la implementación de medidas correctivas, una manera de direccionar y almacenar la energía, además, de la elaboración de un plan de mantenimiento, que permita su funcionamiento.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Para implementar una solución al problema planteado de repotenciación, se debe comprender el manejo y funcionamiento de los aerogeneradores, en el cual se debe realizar mediciones y diagnósticos aplicando diferentes herramientas y métodos de trabajo para así aumentar su vida útil, utilizando alternativas económicas. La repotenciación de este sistema permitirá que entre en funcionamiento. Además, al aplicar un mantenimiento preventivo y correctivo, podremos supervisar y controlar su estado de trabajo. Este esfuerzo conjunto nos permitirá suministrar

energía a una ubicación que antes carecía de este recurso, específicamente en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión Salache.

1.3. BENEFICIARIOS:

Directos: Personal técnico y directivos de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión Salache (86 profesores).

Indirectos: Estudiantes y trabajadores (2500 personas aproximadamente) y comunidad universitaria

2. INTRODUCCIÓN

En el contexto de repotenciar la funcionalidad de un generador eólico en la Zona de Recuperación de Suelos Machu Picchu de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión Salache, surge la necesidad de abordar desafíos que han sido destacados por estudios previos. Las investigaciones llevadas a cabo por Julio Hernández, Juan Ávila y Miguel Tirado Fernández ofrecen contribuciones valiosas que abarcan desde la problemática de los huecos de tensión hasta la optimización aerodinámica de turbinas eólicas. Todas estas investigaciones comparten un enfoque central en la generación de energía eólica, explorando la tecnología y evolución de los aerogeneradores.

Desde la investigación de Julio Hernández, que se centra en los desafíos asociados con los huecos de tensión y propone un enfoque innovador para almacenar y devolver la energía durante estos eventos, hasta el trabajo de Juan Ávila, que destaca la importancia de la optimización aerodinámica para superar la variabilidad del viento. Por último, la investigación de Miguel Tirado Fernández se enfoca en la repotenciación de parques eólicos, buscando prolongar su vida útil mediante la instalación de nuevos aerogeneradores y la adaptación de infraestructuras existentes.

Estas investigaciones también comparten la aplicación de técnicas de modelación y simulación para mejorar el rendimiento de los sistemas, subrayando la relevancia de estas herramientas analíticas en el estudio de la generación de energía eólica. En conjunto, ofrecen una perspectiva integral que aborda diversos aspectos, desde desafíos específicos hasta estrategias de optimización para impulsar el funcionamiento eficiente de los aerogeneradores.

Esta propuesta de repotenciación se justifica en la urgencia de poner en marcha un generador eólico que, hasta antes del proyecto presente, no ha funcionado. La necesidad de energía para

iluminación y suministro eléctrico a una zona desatendida impulsa la relevancia de esta intervención, con el potencial de distribuir electricidad.

La exposición de la problemática identificada se centra en la falta de operatividad del aerogenerador, agravada por la ausencia de observación, atención y evaluación desde su instalación en 2017. Ante este escenario, se plantea la necesidad de una inspección detallada y la implementación de un plan de mantenimiento para corregir y prevenir problemas futuros.

En la evaluación del problema y su alcance se vislumbran en la corrección de la máquina para generar energía destinada a iluminación y suministro eléctrico. Más que resolver simplemente los problemas técnicos del generador, este proyecto se erige como una oportunidad para establecer un marco sólido de mantenimiento, garantizando así su operatividad a largo plazo.

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo General

Repotenciar el sistema de Aerogeneración en la Zona de Recuperación de Suelos Machu Picchu de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión Salache, mediante análisis, mejora y verificación para generar energía.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Investigar los factores técnicos y mecánicos que afectan al funcionamiento de un sistema de Aerogeneración.
- Desarrollar estructuras y componentes de repotenciación que solventen las fallas identificadas en el sistema.
- Elaborar pruebas de generación de energía en el sistema de Aerogeneración.

2.1.3. TAREAS POR OBJETIVOS

Tabla 2.1: Tareas por objetivos.

| Objetivos específicos | Actividades (tareas) | Resultados esperados | Técnicas, Medios e Instrumentos |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|

| | | | |
|--|--|--|--|
| <p>Investigar los factores técnicos y mecánicos que afectan al funcionamiento de un sistema de Aerogeneración.</p> | <p>-Revisión bibliográfica en tesis, libros y demás fuentes secundarias sobre aerogeneradores.</p> <p>-Recopilación de datos acerca de los daños que afectan el funcionamiento de un sistema de aerogeneración.</p> | <p>-Recopilación de información sobre el sistema de aerogeneración.</p> <p>-Identificación de las fallas y los factores que intervienen en el proceso.</p> | <p>-Investigaciones de repositorios y de campo</p> |
| <p>Desarrollar estructuras y componentes de repotenciación que solventen las fallas identificadas en el sistema.</p> | <p>-Inspección de los diferentes componentes del aerogenerador para constatar las fallas.</p> <p>- Reparación de componentes desgastados del aerogenerador</p> <p>-Implementación de un mecanismo para canalizar y almacenar la energía generada.</p> <p>-Implementación de un mantenimiento correctivo para las</p> | <p>-Reconocimiento de las anomalías en el aerogenerador</p> <p>-Corrección de los componentes desgastados.</p> <p>-Instalación de Caja de distribución eléctrica y batería de 12V con sus respectivos elementos.</p> <p>- Manual correctivo evidenciando, las fallas o anomalías</p> | <p>-Diagnóstico de todas las piezas con instrumentos adecuados.</p> <p>-Utilización de instrumentos de rectificación y soldadura.</p> <p>-Aplicación de conocimientos de ingeniería para instalar componentes eléctricos.</p> <p>-Herramientas</p> |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | fallas del sistema de aerogeneración. | que se ha corregido en el aerogenerador. | |
| Elaborar pruebas de generación de energía una vez instalado el aerogenerador. | -Simulación de comportamientos de aerogenerador a diferentes velocidades de viento. -Comprobación de Generación Eléctrica con instrumentos eléctricos. | -Potencia de salida de aerogenerador y niveles de voltaje. - Generación de energía eléctrica (CA). | -Utilización de software. - Uso de instrumentos de medición eléctrica. |

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Con el propósito de recabar información esencial y eficaz, se llevó a cabo una extensa investigación en repositorios universitarios y sitios web. De este modo, los antecedentes de la investigación vinculados al tema propuesto son:

En el estudio realizado por Julio Hernández (2016) en Universidad Técnica de Manabí (UTM), Portoviejo, Ecuador, bajo el tema de “Mejoras en las Prestaciones de Aerogeneradores Sincrónicos de Velocidad Variable Frente a los Huecos de Tensión”, se exploraron los desafíos asociados con la optimización de la eficiencia de la generación eólica. Los resultados indicaron que:

A lo largo de la evolución de la generación de energía eólica, los aerogeneradores han experimentado cambios significativos en sus tecnologías. Desde los generadores de inducción iniciales hasta los modelos síncronos más modernos con imanes permanentes, se ha buscado mejorar la eficiencia y la capacidad de conexión al sistema eléctrico [1] .

Sin embargo, persisten desafíos, especialmente relacionados con eventos como los "huecos de tensión", que provocan desconexiones momentáneas en los aerogeneradores. A pesar de los intentos con compensadores estáticos de potencia (FACTS) y estudios de interconexión, se necesita un enfoque más innovador que permita almacenar y devolver la energía durante estos eventos [1].

La investigación actual destaca la necesidad de abordar esta limitación y mejorar la capacidad de los aerogeneradores, especialmente aquellos conectados a sistemas de distribución de potencia, para mantenerse conectados durante perturbaciones. Este estudio propone una exploración integral, integrando modelación, simulación y evaluación de resultados para mejorar las prestaciones de los aerogeneradores sincrónicos de velocidad variable [1].

Un proyecto adicional que se presenta como antecedente es la investigación de Juan Ávila (2017) titulada "Análisis y Optimización Aerodinámica del Prototipo de Turbina Eólica tipo Savonius Implementado en la Facultad Tecnológica" en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. En este estudio se aborda específicamente de:

La implementación de sistemas de generación de energía eólica, como los aerogeneradores, ha demostrado ser una valiosa fuente de energía limpia y sostenible. Sin embargo, la intermitencia y variabilidad de las corrientes de aire presentan desafíos significativos en términos de estabilidad e eficiencia de estos sistemas [2].

La optimización aerodinámica emerge como una estrategia esencial para maximizar la eficiencia energética, abordando los problemas inherentes a la potencia variable del viento [2].

Un estudio destacado en este contexto se centra en el aerogenerador equipado con una turbina tipo Savonius implementado en la Universidad Distrital. Este proyecto realizó un exhaustivo análisis aerodinámico utilizando el software ANSYS FLUENT, identificando elementos críticos en la construcción y diseño que impactan la eficiencia del sistema. La investigación destacó la necesidad de abordar problemas aerodinámicos específicos para mejorar el rendimiento del aerogenerador [2].

Un último proyecto adicional que se presenta como antecedente es la investigación y análisis de Miguel Tirado Fernández (2015) titulada "Análisis de la Repotenciación de un Parque Eólico" en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, España. En este estudio se aborda específicamente de:

El crecimiento acelerado de las energías renovables, destacando el auge de la energía eólica impulsado por avances tecnológicos [3].

Se enfoca en la repotenciación de parques eólicos para prolongar su vida útil más allá de los 20 años. Este proceso implica instalar nuevos aerogeneradores y adaptar instalaciones existentes, aprovechando la infraestructura y reduciendo costos [3].

La rentabilidad de la repotenciación se analiza considerando factores como inversión inicial, paro en la producción y potencia del parque. La decisión de repotenciar, a pesar de su demostrada rentabilidad, requiere un estudio detenido debido a la fuerte inversión y paro de producción. Se destaca que las turbinas nuevas son más potentes, permitiendo reducir el número de turbinas y el impacto visual [3].

La fecha óptima para la repotenciación suele ser entre los años 14 y 17 del parque eólico, influenciada por variables como precio de la energía, primas, condiciones de viento y tipos de aerogeneradores [3].

3.2. Repotenciación

La repotenciación implica la modernización de equipos antiguos que mantienen un buen estado mecánico. Este proceso se traduce en un aumento de la productividad [4].

3.2.1. Repotenciación en la energía eólica a lo largo del tiempo

La evolución en el aprovechamiento de la energía eólica ha experimentado diferentes etapas a lo largo de la historia. Inicialmente, las turbinas del tipo americano presentaban un diseño con numerosas palas, lo cual resultaba en una eficiencia muy baja. Fue necesario esperar a la contribución del meteorólogo danés Poul la Cour (1846-1908) para mejorar esta eficiencia. La Cour, apasionado por el viento, construyó un túnel de viento y utilizó la electricidad generada por sus turbinas para obtener hidrógeno mediante electrólisis, alimentando así las lámparas de su escuela [5].

Dinamarca se destacó como pionera en este campo, con La Cour fundando la Sociedad de Electricistas del Viento en 1904. Para 1918, alrededor de 120 empresas danesas ya obtenían electricidad a partir de la energía eólica, representando un 3 por ciento del consumo total del país. A pesar de ciertos declives durante la Segunda Guerra Mundial, la década de 1940 vio el surgimiento de aerogeneradores más eficientes, especialmente los de tres palas construidos por F. L. Smidth. [5].

La verdadera revolución eólica llegó en los años 1950, cuando el ingeniero Johannes Juul, discípulo de La Cour, desarrolló un sistema para generar corriente alterna a partir de los aerogeneradores. Su diseño más destacado fue el tripala Gedser de 200 Kw, construido entre 1956-1957, superando significativamente las capacidades de los modelos anteriores. La crisis del petróleo en 1973 impulsó la construcción de aerogeneradores a gran escala. [5].

En los años 1980, California instaló miles de ventiladores gigantes, pero Dinamarca se mantuvo a la vanguardia en términos de eficiencia, contando con alrededor de 5.500 aerogeneradores que producían aproximadamente 3.000 Mw. Actualmente, se fabrican turbinas de gran envergadura capaces de generar hasta 2,5 Mw de energía por sí solas, con rotores de hasta 80 metros de diámetro [5].



Figura 3.1. Aerogenerador Antiguo.
Fuente: [5]

3.2.2. Definición de Aerogenerador

Un aerogenerador es un dispositivo diseñado para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica, que luego se transforma en electricidad. Consiste en un conjunto de palas unidas a un eje a través de un elemento llamado cubo, formando así el rotor. La captación de la energía eólica se logra mediante la acción del viento sobre las palas, y el principio aerodinámico que impulsa el movimiento del rotor es análogo al que permite el vuelo de los aviones [6].

3.3. Tipos de aerogeneradores eólicos

Dentro del ámbito de la generación de energía eólica, se encuentran diversos tipos de aerogeneradores que pueden ser clasificados según su modalidad de funcionamiento. A continuación, se presenta los dos grupos que más sobresalen según su disposición de giro, mostrados en la figura 3.2. [7].

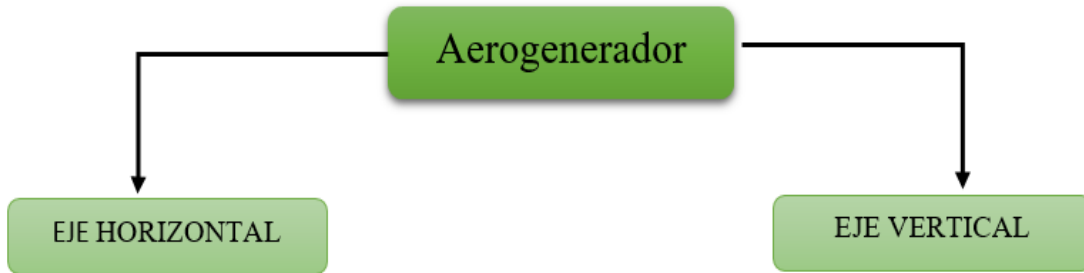


Figura 3.2. Tipos de aerogenerador.

3.3.1. Eje Horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal (HAWT), destinados a la producción eléctrica, suelen emplear un número reducido de palas, generalmente de una a tres, siendo las de tres palas las más comúnmente utilizadas. Estos HAWT se califican como eólicos "rápidos", ya que su velocidad específica de diseño es superior a la de los aerogeneradores multipala, que son calificados como "lentos" [7].

En la producción eléctrica a partir de la energía eólica, se encuentran turbinas eólicas que abarcan un amplio rango de potencias, desde unos pocos cientos de vatios para la producción autónoma (microeólica) hasta varios miles de kilovatios (megaeólica), destinados a la generación eléctrica a gran escala y su conexión a la red. Actualmente, se comercializan aerogeneradores con potencias de aproximadamente 3.000 kW, y se prevé la implementación en los próximos años de aerogeneradores de alrededor de 5.000 kW. El valor de 5.000 kW constituye actualmente un límite superior de potencia unitaria para los grandes aerogeneradores, debido a desafíos técnicos y económicos, principalmente asociados a sus dimensiones considerablemente grandes [7].

La capacidad o potencia de los HAWT ha experimentado un crecimiento constante. En 1997, la potencia media unitaria de un aerogenerador "tipo" era de 409 kW, alcanzando los 1.854 kW en 2009, como se ilustra en la figura 7.1. El segmento más dominante corresponde a HAWT con potencias entre 1 y 2 MW, representando aproximadamente dos tercios del mercado actual. Este aumento progresivo en la capacidad destaca la evolución y la relevancia creciente de los aerogeneradores de eje horizontal en el panorama de la generación de energía eólica [7].

3.3.2. Eje Vertical

Los generadores de eje vertical son significativamente menos comunes en comparación con sus contrapartes de eje horizontal. La mayoría de los generadores de eje vertical caen en dos categorías principales: aquellos de arrastre diferencial, que aprovechan la diferencia de fuerza del viento entre una superficie cóncava y una convexa, de manera análoga al funcionamiento de un anemómetro de cazoletas (Savonius), y los de rotor con variación cíclica de incidencia (Darrieus) [7].

Los aerogeneradores de eje vertical, también conocidos como VAWT (por sus siglas en inglés), tienen una presencia limitada debido a restricciones técnicas y económicas, lo que ha llevado a que la mayoría de los generadores eólicos sean de eje horizontal. Dentro de los VAWT, se identifican varios tipos, siendo los más conocidos los de rotor de arrastre diferencial, ya sea con o sin pantalla (Savonius), y los de rotor con variación cíclica de incidencia (Darrieus) [7].

Los VAWT del tipo Savonius combinan el arrastre diferencial con la acción de la fuerza aerodinámica sobre las superficies de los semicilindros. Estos generadores son de baja potencia y su aplicación se limita a la producción autónoma de electricidad o al bombeo de agua [7].

Los VAWT del tipo Darrieus están compuestos por dos o tres palas ovaladas de perfil aerodinámico, compartiendo similitudes con los de eje horizontal, aunque con un par de arranque reducido. A pesar de estas características, son poco utilizados en comparación con sus contrapartes de eje horizontal [7].

3.4. Clasificación de Aerogeneradores HAWT y VAWT

Si bien los aerogeneradores se categorizan principalmente en dos tipos: horizontales (HAWT) y verticales (VAWT), destaca la predominancia de los de eje horizontal [7].

Esta clasificación abarca diversos aspectos como el número de palas, velocidad del rotor, control, entre otros. La elección entre los modelos horizontales y verticales se determina según

las variables como la velocidad del viento y el emplazamiento geográfico. La versatilidad de estos sistemas subraya su capacidad para adaptarse a diversas condiciones y optimizar la eficiencia en la generación de energía eólica, como se puede apreciar en la Figura 3.3. [7].

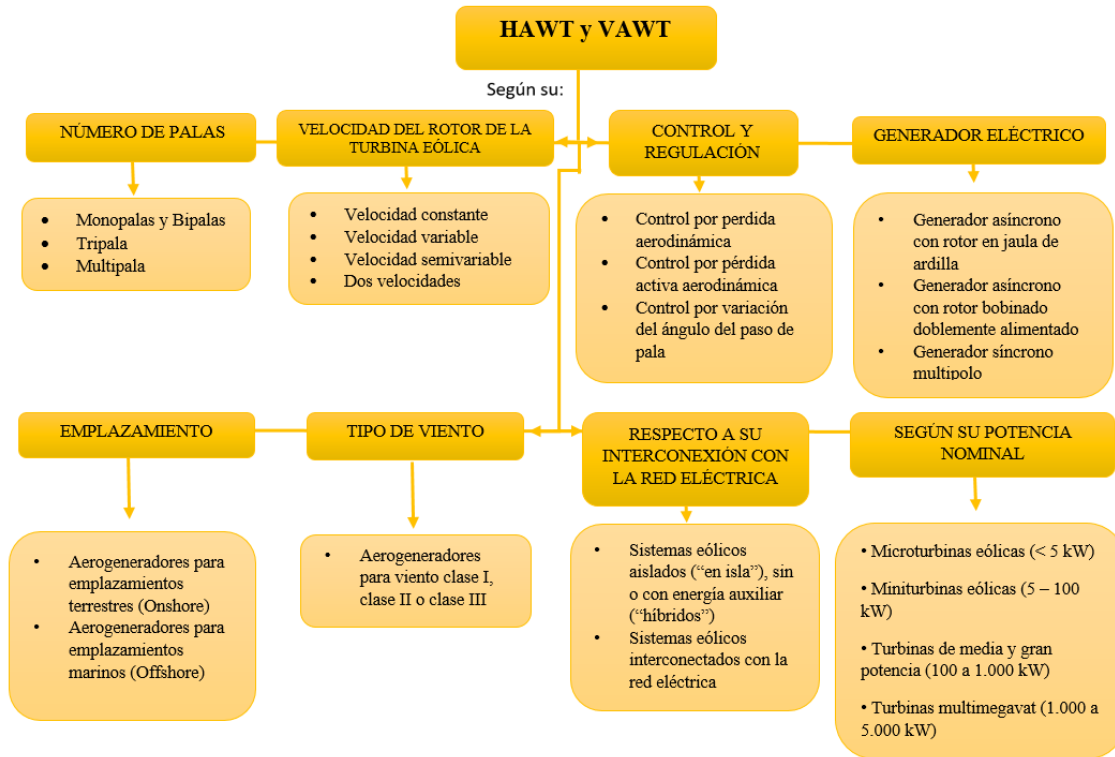


Figura 3.3. Tipos de aerogenerador HAWT Y VAWT

3.4.1. Funcionamiento de un Aerogenerador Horizontal (HAWT)

El funcionamiento de un aerogenerador se basa en el principio de conversión de energía cinética del viento en energía mecánica y, finalmente, en energía eléctrica tal y como se explica a continuación:

- **Captura de Energía Eólica por las Aspas:** Cuando el viento sopla, las aspas del rotor capturan la energía cinética del viento. La forma y el diseño aerodinámico de las aspas están optimizados para maximizar la captura de esta energía [7].
- **Rotación del Rotor:** La energía cinética del viento es transferida al rotor a través de las aspas. El rotor, que incluye las aspas, el cubo del rotor y el eje, comienza a girar debido a la fuerza del viento [7].
- **Transmisión de Energía Mecánica:** El eje del rotor transmite la energía mecánica rotacional generada por el giro del rotor al generador [7].

- **Generación de Electricidad:** El generador convierte la energía mecánica en electricidad. Esto se logra mediante la rotación de una bobina dentro de un campo magnético o mediante otros mecanismos según el tipo específico de generador utilizado [7].
- **Control de Orientación con Cola:** La cola, o sistema de orientación, ajusta la orientación del rotor para que siempre esté alineado con la dirección del viento. Esto se logra mediante sensores que detectan la dirección del viento y controlan la posición de la cola [7].
- **Envío de Electricidad a la Red o Sistema Local:** La electricidad generada se puede utilizar directamente en el lugar (por ejemplo, en una vivienda aislada) o puede ser enviada a la red eléctrica para su distribución [7].

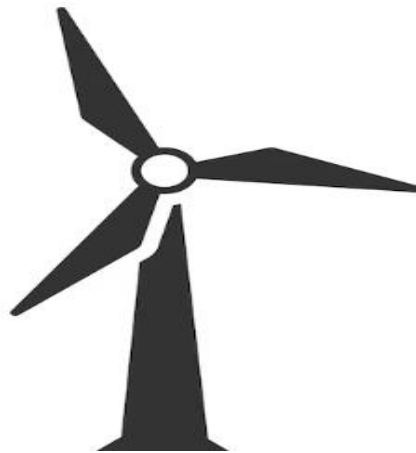


Figura 3.4. Dibujo de aerogenerador
Fuente: [7]

3.5. Componentes del aerogenerador

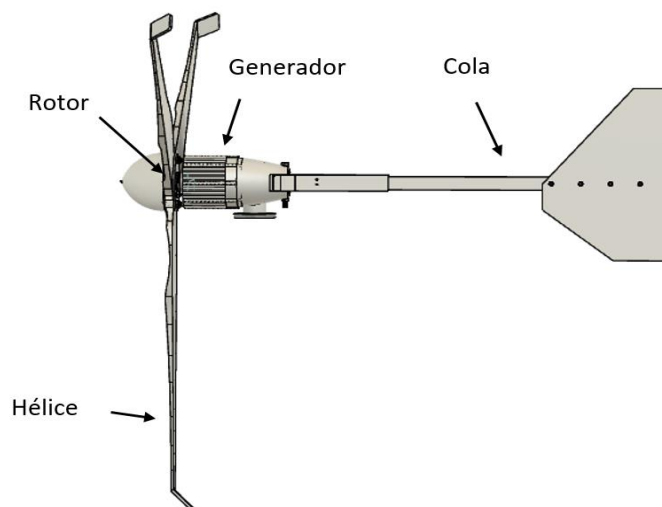


Figura 3.5. Componentes de un aerogenerador

3.5.1. Rotor

Es la estructura completa que gira y captura la energía cinética del viento. Incluye las aspas, el cubo del rotor (donde se conectan las aspas) y el eje del rotor (que transmite la energía mecánica al generador) [8].

3.5.2. Aspas

Las aspas son componentes aerodinámicos fundamentales del rotor. Generalmente, se fabrican con materiales ligeros y resistentes como la fibra de vidrio o materiales compuestos. Su forma y diseño están optimizados para capturar eficientemente la energía cinética del viento. La geometría de las aspas, su longitud y su ángulo de ataque son consideraciones cruciales para maximizar la eficiencia de conversión de energía [8].

3.5.3. Generador

El generador es una parte esencial del sistema que convierte la energía mecánica generada por el rotor en electricidad. Los aerogeneradores suelen utilizar generadores eléctricos, comúnmente de corriente alterna (CA) o corriente continua (CC), dependiendo de la aplicación. Los generadores de imanes permanentes son comunes en aerogeneradores de pequeña escala [8].

3.5.4. Cola

La cola, también conocida como viento trasero o timón, es un componente móvil que desempeña un papel crucial en la orientación del rotor. Su función principal es ajustar la dirección del rotor para que siempre esté alineado con la dirección del viento. Este mecanismo de orientación mejora la eficiencia de captura de energía al garantizar que las aspas enfrenten adecuadamente la corriente de aire, incluso cuando la dirección del viento varía. La cola se controla mediante un sistema que responde a las señales de sensores que detectan la dirección del viento [8].

3.6. Componentes eléctricos para direccionamiento y almacenamiento de energía

La instalación de una caja de distribución eléctrica destinada al almacenamiento de energía implica la integración cuidadosa de varios componentes esenciales. En primer lugar, se requiere un controlador de viento eficiente que supervise y regule la entrada de energía generada por la fuente eólica.

Para la conversión de la corriente continua generada por el sistema, se emplea un inversor, que desempeña un papel crucial al transformarla en corriente alterna, haciéndola compatible con el sistema eléctrico convencional. Además, se deben incorporar interruptores térmicos, tanto trifásicos como bifásicos, para garantizar la seguridad y estabilidad del sistema ante posibles fluctuaciones de temperatura.

La inclusión de una batería de 12 voltios juega un papel fundamental en el almacenamiento y suministro constante de energía, actuando como un respaldo crucial en momentos de baja generación. En conjunto, estos componentes forman un sistema integral que maximiza la eficiencia y sostenibilidad del almacenamiento de energía eléctrica.

3.6.1. Controlador Eólico

El controlador, diseñado para la gestión eficiente del generador eólico y la carga de baterías, destaca por su capacidad para aumentar la eficiencia en la generación de energía eólica. Su funcionalidad incluye la reducción de pérdidas de control en condiciones de viento rápido y la protección del generador ante vientos fuertes. Equipado con un diodo emisor de luz que indica claramente el estado, este controlador presenta un canal mejorado de disipación de calor, garantizando la seguridad del producto [9].

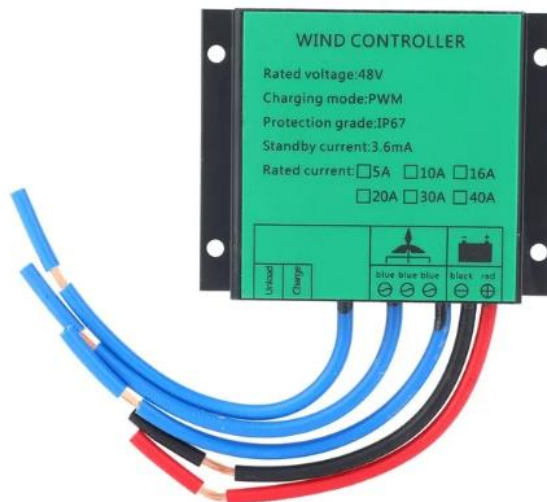


Figura 3.6. Wind Controller
Fuente: [9]

3.6.2. Inversor

Un inversor despliega su función como un convertidor de corriente que transforma la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), haciendo así posible su utilización en el entorno residencial. Sus atributos distintivos incluyen la potencia máxima que pueden suministrar, la tensión de entrada proveniente de las baterías y su eficiencia, la cual se define como la relación entre la potencia eléctrica extraída de los paneles fotovoltaicos o el sistema de baterías (potencia de entrada) y la potencia eléctrica entregada por el inversor para su uso (potencia de salida) [10].



Figura 3.7. Inversor de corriente

Fuente: [10]

3.6.3. Térmicos trifásicos y bifásicos

El suministro trifásico: compuesto por cuatro cables que incluyen un neutro y tres conductores, presenta una disposición donde los conductores están separados por 120° entre sí. Este tipo de fuente de alimentación trifásica se utiliza también como suministro para sistemas monofásicos de corriente alterna. Para cargas más pequeñas, se puede optar por una fuente de alimentación monofásica, tomando también el neutro del sistema trifásico. Este suministro es constante y nunca alcanza valores cercanos a cero [11].

El suministro monofásico: implica la entrega de energía de corriente alterna mediante un sistema en el cual todos los voltajes de suministro cambian simultáneamente. Para motores de corriente alterna que no generan un campo magnético giratorio, se requieren circuitos adicionales para su funcionamiento, pero estos motores tienen una potencia nominal de 10 kW.

En un ciclo, el voltaje del sistema monofásico alcanza su pico dos veces, y la potencia directa no es estable [11].



Figura 3.8. Térmicos eléctricos
Fuente: [11]

3.6.4. Caja de distribución

Las cajas eléctricas son recipientes diseñados para aislar conexiones, cables, conductos y otros elementos del entorno exterior, ofreciendo protección contra cortocircuitos generados por la humedad y el agua. Su función principal es resguardar el lugar donde están ubicadas. Además, contribuyen a garantizar la seguridad de las personas al mantener fuera de su alcance los componentes de una instalación eléctrica, desaconsejando su manipulación [12].



Figura 3.9. Caja de distribución
Fuente: [12]

3.6.5. Batería de 12 V

En lo que respecta a las baterías de 12V, estas constan de 6 vasos, cada uno de 2 voltios. En el caso de las baterías monoblock, se encuentran encapsuladas en una carcasa que las agrupa en un solo bloque. Estas baterías son comúnmente utilizadas en una variedad de aplicaciones, como vehículos, embarcaciones, sistemas de energía solar, caravanas, telecomunicaciones, entre otros [13].

Una batería de 12V actúa como un dispositivo de almacenamiento de energía, permitiendo que la energía eléctrica se almacene cuando está conectada a una fuente de carga y liberada cuando se necesita alimentar dispositivos o sistemas eléctricos. Es fundamental en aplicaciones como vehículos, sistemas de energía solar, embarcaciones y otros dispositivos que requieren movilidad o funcionamiento independiente de la red eléctrica [13].



Figura 3.10. Batería de 12V
Fuente: [13]

3.7. Causas que ocasionan problemas en un sistema de aerogeneración

En un sistema de aerogeneración, se pueden experimentar diversos problemas que surgen de una combinación de factores mecánicos, eléctricos y de diseño. Algunas de las causas comunes de problemas pueden ser:

3.7.1. Desgaste

La reducción gradual de la calidad o integridad de los componentes mecánicos del aerogenerador, como el eje y los rodamientos, debido a la fricción y el uso progresivo [14].

3.7.2. Cortocircuitos

Condiciones eléctricas no deseadas que pueden ocurrir cuando componentes desgastados o mal mantenidos provocan un contacto no planificado entre circuitos eléctricos, resultando en una interrupción en el flujo normal de corriente [14].

3.7.3. Falta de Mantenimiento

La ausencia de actividades regulares destinadas a preservar y restaurar el buen estado del sistema de aerogeneración. Esto puede incluir inspecciones, lubricación, ajustes y reemplazo de componentes desgastados [14].

3.7.4. Diseño Inadecuado de Hélices

La concepción y fabricación de las hélices del aerogenerador de manera que no sean óptimas para captar la máxima cantidad de energía eólica disponible. Esto puede deberse a dimensiones incorrectas, ángulos inapropiados u otros problemas de diseño [14].

3.7.5. Orientación Ineficiente

Una configuración incorrecta del aerogenerador en relación con la dirección del viento predominante. La falta de un análisis preciso de la rosa de los vientos puede llevar a una posición subóptima, afectando la eficiencia de captura de energía [14].

3.7.6. Problemas Mecánicos

Dificultades y fallos relacionados con las partes físicas del sistema, como el desgaste del eje, problemas en los rodamientos o cualquier otro componente mecánico que afecte el rendimiento general [14].

3.7.7. Falta de Dispositivos de Protección

La carencia de sistemas o mecanismos que resguarden al aerogenerador contra condiciones adversas o sobrecargas, como dispositivos térmicos y otros dispositivos de seguridad que evitan daños eléctricos o mecánicos [14].

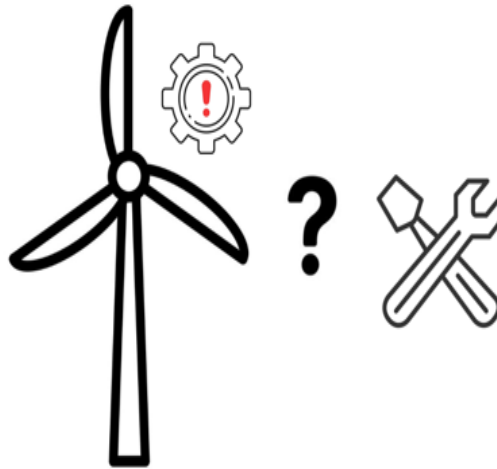


Figura 3.11. Aerogenerador: Falla detectada.
Fuente: [14]

3.8. Cortocircuito Rotor-Estator en Generadores de Aerogeneradores

La presencia de cortocircuitos entre el rotor y el estator en los generadores de aerogeneradores es una problemática crítica que impacta directamente en la eficiencia del sistema. Este fenómeno eléctrico puede deberse a diversos factores y su detección y mitigación son esenciales para garantizar el rendimiento óptimo del generador. A continuación, se detallan los puntos clave relacionados con el cortocircuito rotor-estator:

3.8.1. Desgaste y Deterioro de Aislamientos

El envejecimiento y desgaste de los materiales aislantes entre el rotor y el estator pueden conducir a cortocircuitos debido a la pérdida de integridad dieléctrica [15].

3.8.2. Fallas Mecánicas

Vibraciones excesivas, desalineaciones o condiciones de operación anormales pueden provocar el contacto no deseado entre el rotor y el estator, generando cortocircuitos [15].

3.8.3. Condiciones Ambientales Adversas

Ambientes húmedos, la presencia de polvo o la exposición a condiciones climáticas extremas pueden acelerar el deterioro de los sistemas de aislamiento, aumentando el riesgo de cortocircuitos [15].

3.8.4. Errores en el Mantenimiento

Procedimientos de mantenimiento inadecuados, uso de materiales no compatibles o negligencia en la inspección pueden contribuir al desarrollo de cortocircuitos en el generador [15].

3.8.5. Impacto en el Rendimiento Eléctrico

Los cortocircuitos rotor-estator afectan la eficiencia de la generación eléctrica al introducir caminos no deseados para la corriente, disminuyendo la calidad de la energía producida [15].

3.8.6. Necesidad de Inspecciones Regulares

Para prevenir cortocircuitos, se requieren inspecciones periódicas de los sistemas de aislamiento y de las condiciones mecánicas del generador, identificando y abordando cualquier anomalía de manera proactiva [15].

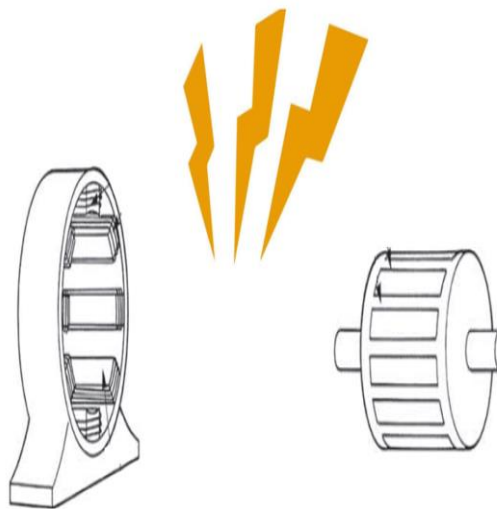


Figura 3.12. Problemas rotor/estator.

Fuente: [15]

3.9. Arrastre Aerodinámico en Aerogeneradores

El arrastre aerodinámico en aerogeneradores se manifiesta como una resistencia al avance eficiente de las palas a través del aire, limitando su capacidad para capturar la energía del viento de manera efectiva. Este fenómeno puede estar influenciado por diversos factores, cada uno contribuyendo a la disminución de la eficiencia del sistema. A continuación, se detallan los puntos clave relacionados con el arrastre aerodinámico

3.9.1. Diseño Deficiente de las Hélices

La modificación en el diseño de las hélices, al aumentar su longitud y agregar un desvío en la punta, puede influir en la generación de arrastre aerodinámico si no se optimiza adecuadamente el perfil aerodinámico [16].

3.9.2. Impacto del Diseño en la Captación de Viento

El desafío radica en asegurar que las nuevas características de diseño no solo busquen captar más viento para mejorar la eficiencia, sino que también minimicen la resistencia al avance para reducir el arrastre aerodinámico [16].

3.9.3. Evaluación de la Interacción Viento-Hélice

Se debe considerar cómo la orientación de las nuevas hélices afecta la resistencia al flujo de viento, asegurando que no genere arrastre excesivo que contrarreste los beneficios de captación de energía [16].

3.9.4. Necesidad de Análisis Detallado

La repotenciación requiere un análisis exhaustivo del diseño aerodinámico para evitar que las mejoras planificadas generen efectos no deseados, como la creación de arrastre adicional [16].

3.9.5. Optimización Continua

La identificación de problemas de arrastre aerodinámico durante la implementación de las mejoras debe ir acompañada de un proceso de optimización constante, ajustando el diseño para maximizar la eficiencia energética [16].



Figura 3.13. Problemas arrastre hélices
Fuente: [16]

4. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

A continuación, se presenta un esquema grafico en el cual se mostrarán todos los pasos a realizar, para la repotenciación de aerogenerador:

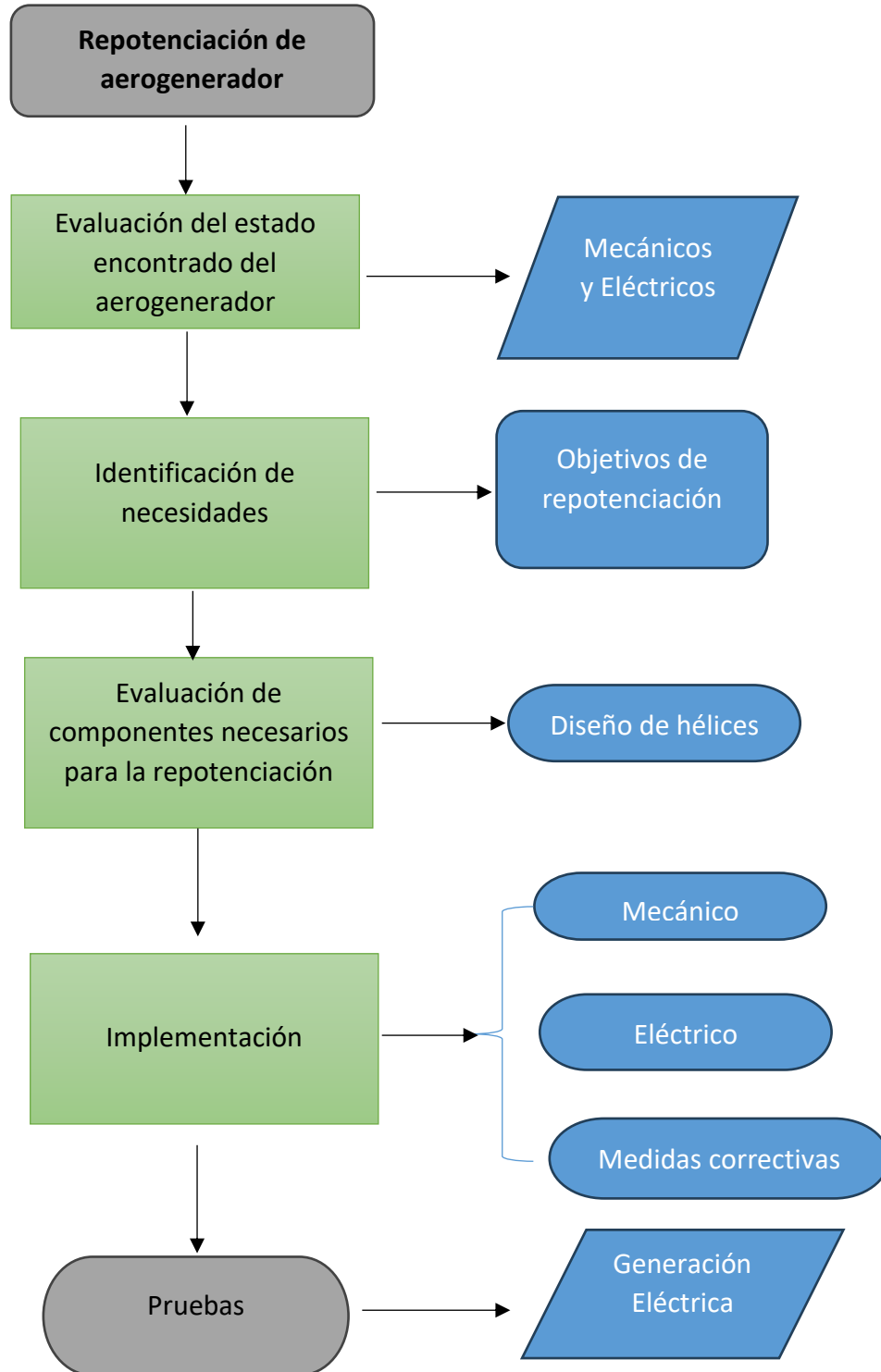



Figura 4.1. Pasos para repotenciación

4.1. DATOS DE AEROGENERADOR

Este Generador trifásico de imanes permanentes contiene 3 palas, su cuerpo esta fundido con aleación de aluminio, además contiene 2 rodamientos giratorios, los cuales permiten soportar corrientes de viento más fuertes. A continuación, se representan sus características mediante la siguiente tabla.

Tabla 4.1: Características de aerogenerador

| Aerogenerador Domestico Horizontal | |
|---|---|
| Características | |
| Diámetro Rotor: | 2.5 m |
| P. nominal: | 500 W |
| P. Máxima: | 700 W |
| V. Viento Arraq: | 2.5 m/s |
| Tensión de Trabajo: | AC |
| V. Viento trabajo: | 3 – 25 m/s |
| Veloc. Nominal: | 8 m/s |
| V. Viento Supervivencia: | 45 m/s |
| Material de Palas: | Fibra de Vidrio Reforzada |
| Tipo de Generador: | Generador síncrono de imán permanente trifásico |
| Sistema de Control: | Electroimán |
| Vida de Diseño: | 15 años |
| Peso: | 48 kg |



4.1.1. Evaluación y Análisis del estado inicial del aerogenerador

En la evaluación inicial, se observó que las hélices presentaban un diseño con puntas semicirculares, se detectó una cinta negra en una de ellas, lo cual generó especial atención. Además, las hélices no se podían ser manipuladas manualmente.



Figura 4.2. Evaluación de hélices

En la fase inicial también se identificó un problema con el eje del rotor, el cual se encontró con desgaste superficial, provocando un desbalance en el rotor, de esta forma afectando al funcionamiento adecuado del aerogenerador.



Figura 4.3. Generador con problema de corto circuito.

En el estado inicial, el eje presentaba desgaste, al igual que sus dos rodamientos.



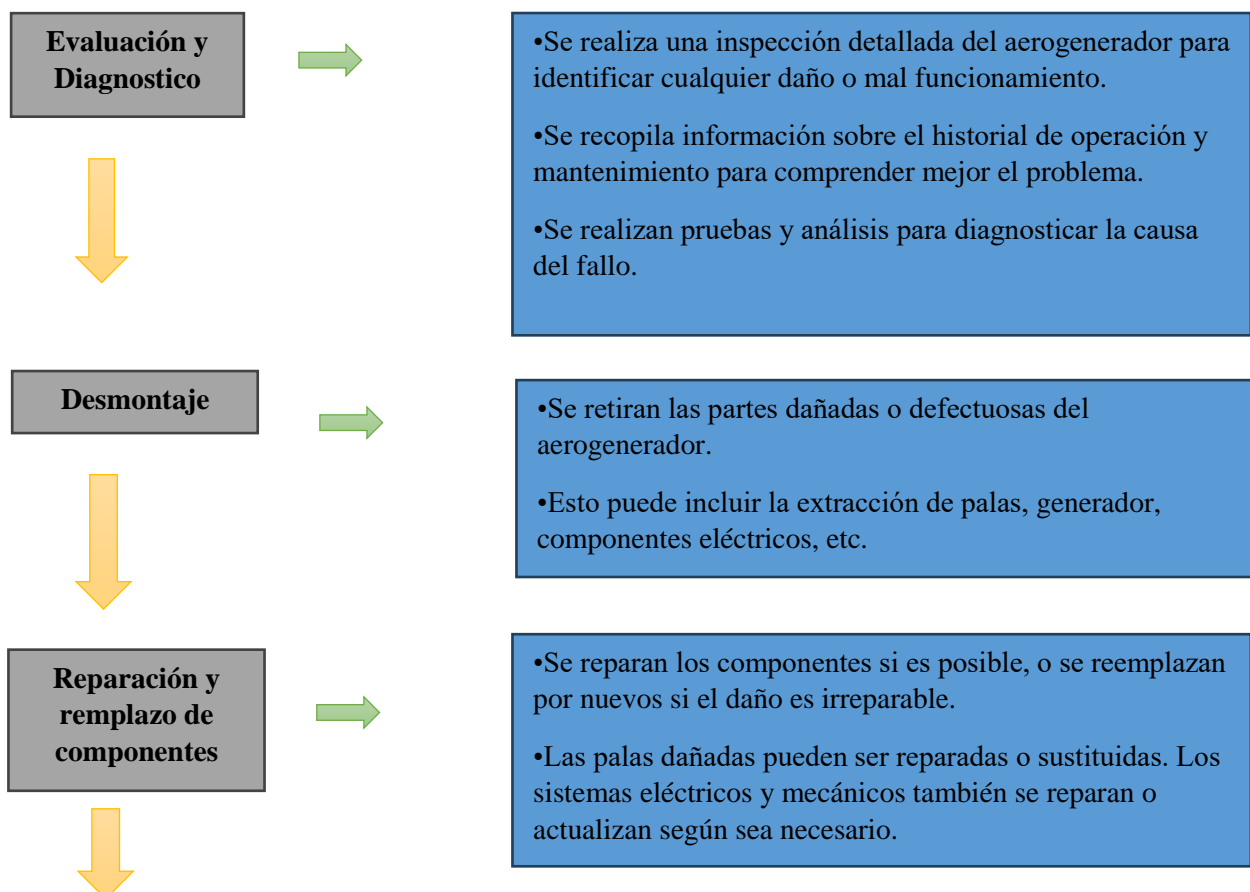
Figura 4.4. Eje desgastado

A Continuación, se representa una tabla con los valores obtenidos en las pruebas realizadas al aerogenerador antes de empezar con su repotenciación:

Tabla 4.2: Evaluación de estado de aerogenerador

| Evaluación de Estado del Aerogenerador | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|
| Fallas Mecánicas | Fallas Eléctricas | |
| - Rodamientos en mal estado. | Pruebas de Generación: | Voltaje: 0 v |
| - Eje de rotor desgatado. | | Corriente: 0 I |
| - Palas recortadas de su forma original y en mal estado. | | |

4.2. PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE AEROGENERADOR



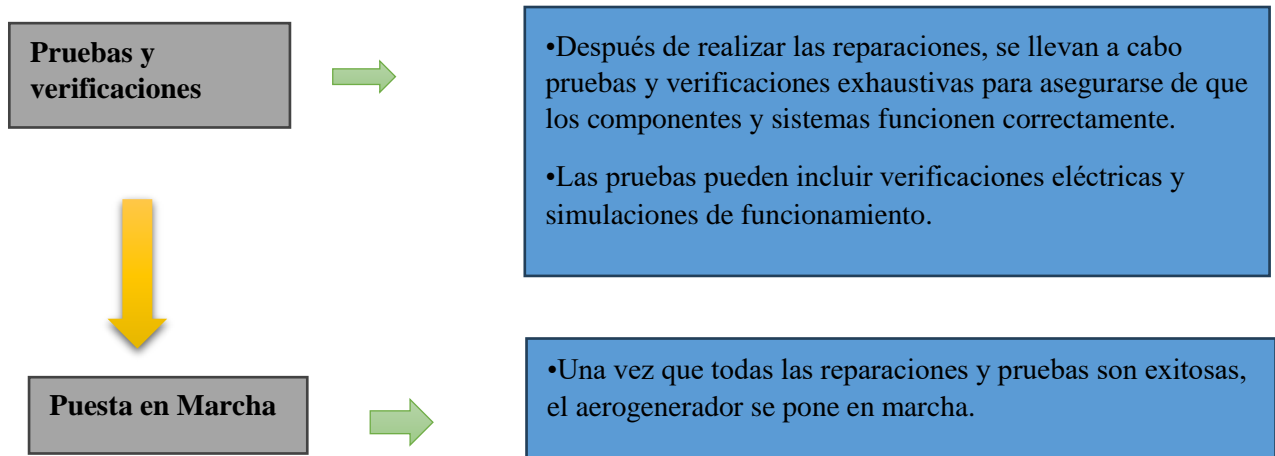


Figura 4.5. Procesos de reparación

4.3. PROCEDIMIENTO PARA PROSPECCIÓN EÓLICA:

4.3.1 Estación meteorológica

En la industria de la energía eólica, la estación meteorológica se utiliza para evaluar la velocidad del viento en ubicaciones específicas. Esto ayuda a determinar la viabilidad de la ubicación para la generación de energía mediante turbinas eólicas.

Para el desarrollo de este estudio se recopiló datos de velocidad y dirección de un aproximado de 7 meses, con el fin de poder definir la viabilidad de este proyecto en cuanto a su funcionalidad de generación eléctrica mediante la utilización de un anemómetro.

A continuación, se muestran los datos obtenidos:

Figura 4.6: Muestra de datos 7 meses

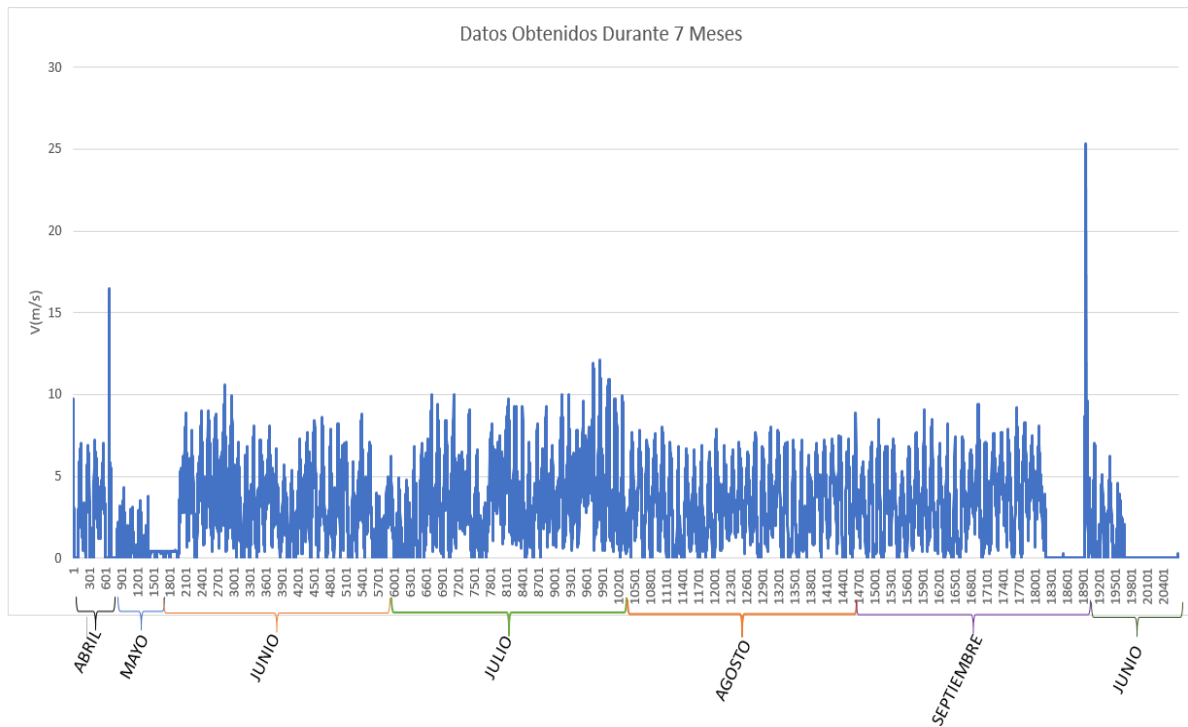


Tabla 4.3: Distribución de meses

| Rango | Mes | Año |
|---------------|------------|------|
| 1 – 821 | Abril | 2013 |
| 822 – 1585 | Mayo | 2013 |
| 1586 – 5888 | Junio | 2013 |
| 5889 -10352 | Julio | 2013 |
| 10353 – 14694 | Agosto | 2013 |
| 14695 – 18924 | Septiembre | 2013 |
| 18925 - 20686 | Junio | 2020 |

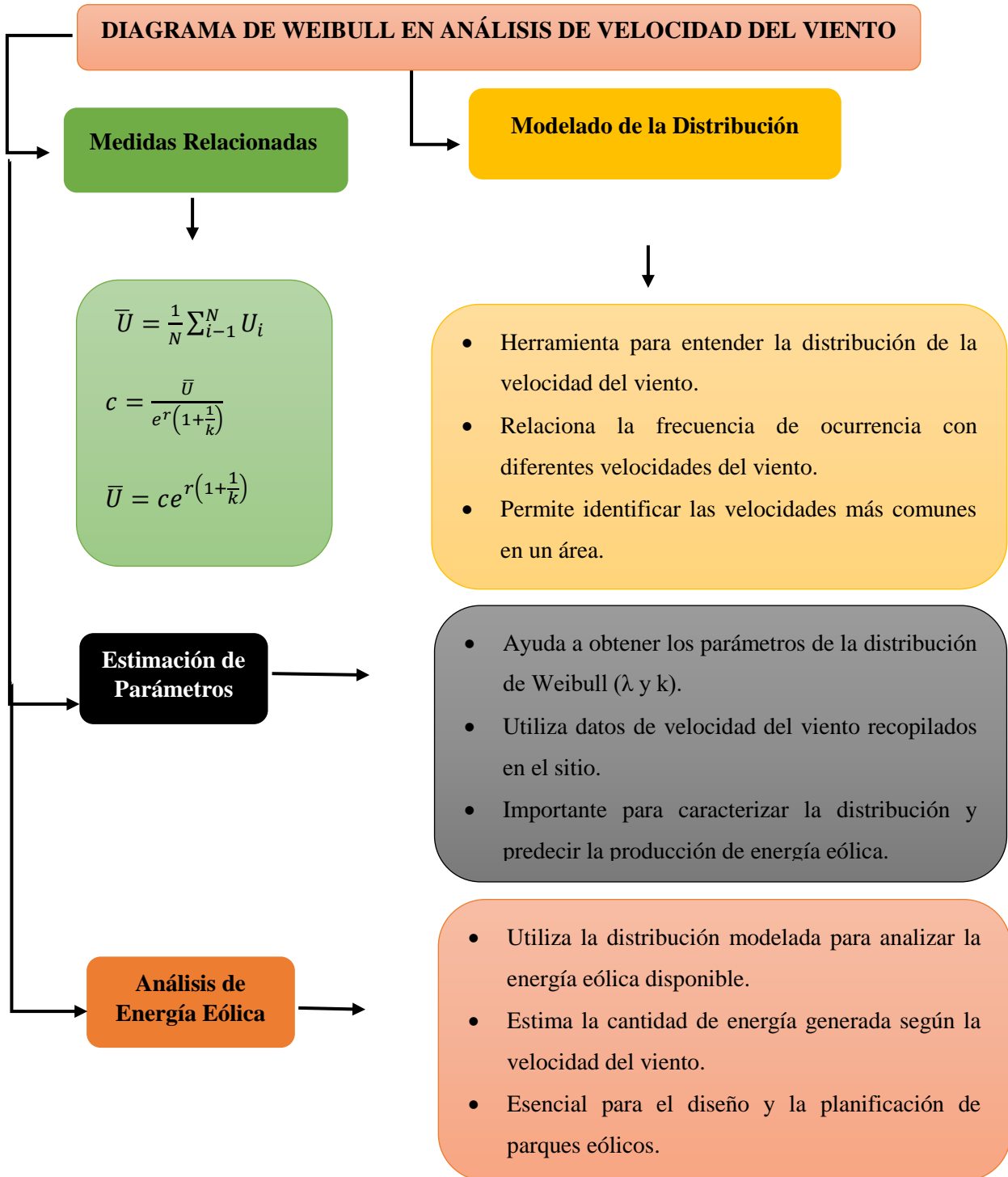
Los demás datos obtenidos por nuestra estación meteorológica se muestran en el Anexo 1.

4.3.2. WRPLOT

Software para la construcción de Rosas de Viento mediante datos meteorológicos, mediante el cual se puede demostrar las direcciones cardinales y a menudo también las subdirecciones intermedias. Indica la orientación o dirección del norte, sur, este y oeste, así como otros puntos intermedios.

Mediante los datos obtenidos que se muestran en la figura 4.6, se puede desarrollar la representación gráfica de la rosa de los vientos, el cual nos ayuda a poder analizar la viabilidad de este proyecto al igual que a contemplar la dirección del viento, velocidad y entre otros aspectos que formaran parte del estudio respectivo para el mismo.

4.3.3. WEIBULL



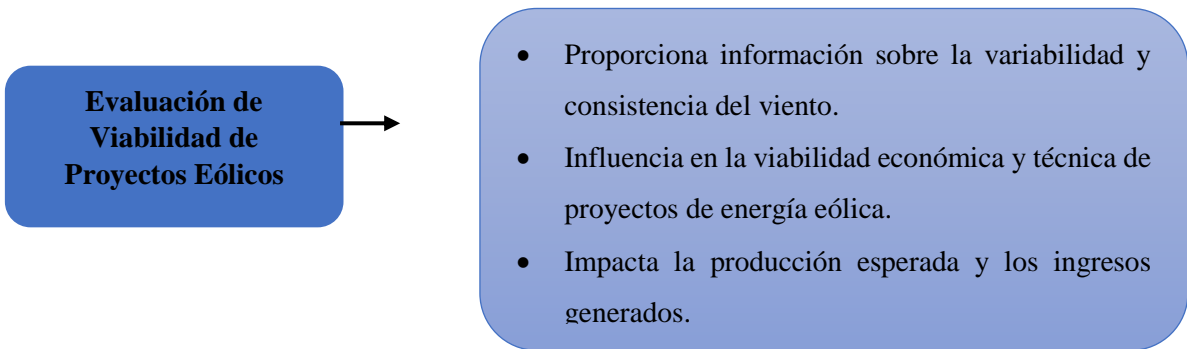


Figura 4.7. Análisis de velocidad de viento

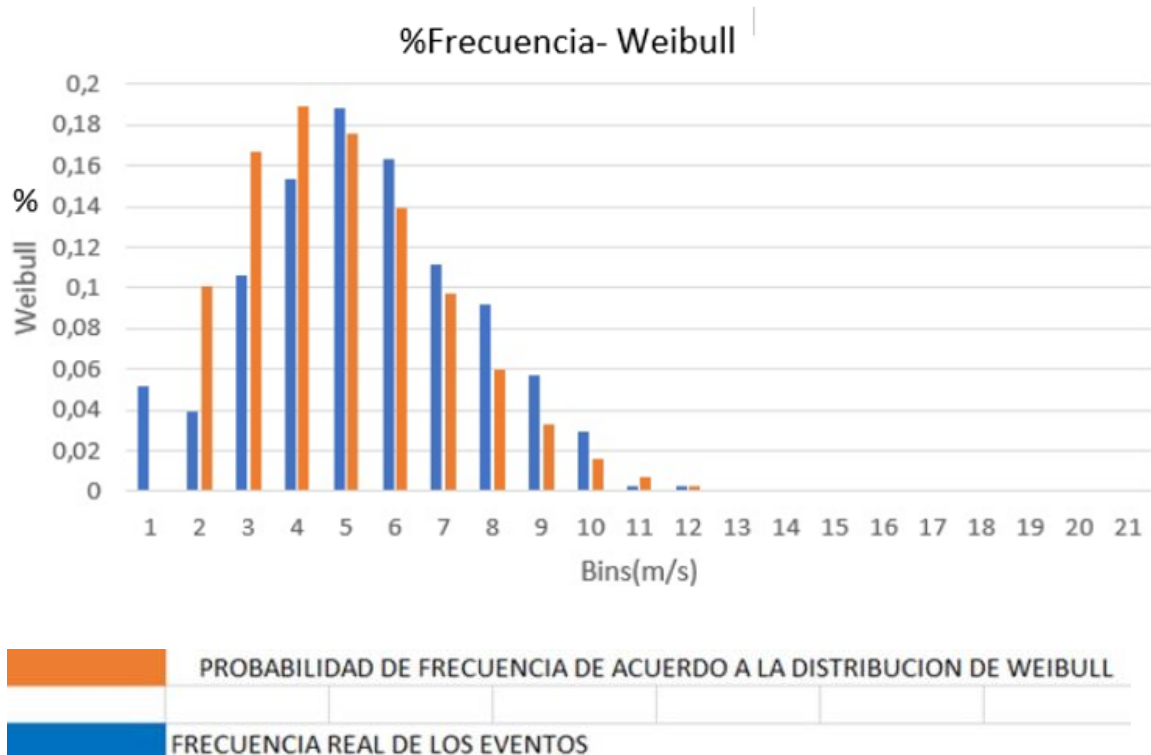


Figura 4.8. Frecuencia de Weibull

4.4. OBTENCIÓN DEL DISEÑO DEL PERFIL A ENSAYAR

Como punto de partida para el diseño de un aerogenerador se tiene en cuenta parámetros iniciales como el tamaño del aerogenerador (diámetro), velocidad del viento y los perfiles aerodinámicos que serán utilizados en el diseño de las hélices.

Para los aerogeneradores de baja potencia se inicia por la recopilación de información pertinente sobre perfiles aerodinámicos que se pueden usar en los mismos. En este trabajo se estudiarán 3 perfiles aerodinámicos: NACA 0.012, NACA 23012, NACA 4412; los cuales se seleccionaron debido a su buen comportamiento y la utilización con anterioridad en estudios relacionados con aerogeneradores de baja potencia.

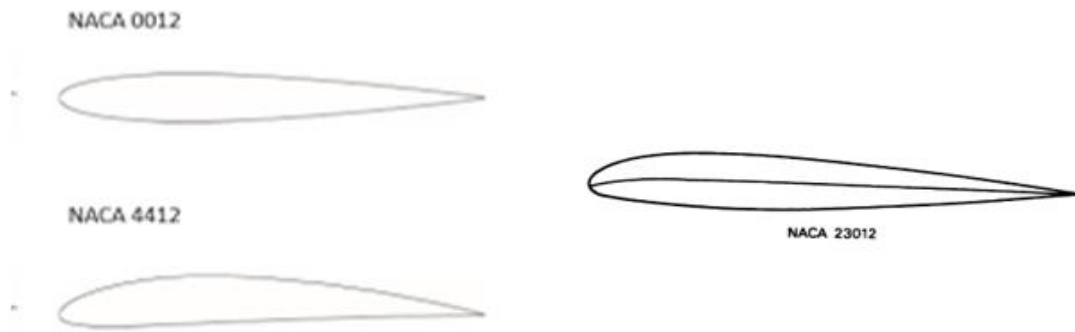


Figura 4.9. Perfiles NACA a Ensayar.

4.4.1. PERFIL NACA

Este fue un organismo estadounidense de investigación aeroespacial que existió entre 1915 y 1958. Fue precursor de la NASA (National Aeronáutica and Space Administration). El NACA se enfocó en la investigación y desarrollo de tecnologías aeronáuticas y espaciales. Durante su existencia, contribuyó significativamente al avance de la aviación y la exploración espacial.

En el contexto de los aerogeneradores, los perfiles NACA se aplican a las secciones transversales de las palas. Estos perfiles ayudan a optimizar la aerodinámica de las palas para lograr un rendimiento óptimo, minimizar la resistencia al viento y mejorar la eficiencia de conversión de energía.

Los diseñadores de aerogeneradores seleccionan perfiles NACA específicos según los requisitos de diseño, como el perfil de carga, la velocidad del viento promedio en la ubicación del aerogenerador, y otros factores

4.4.2. ANGULO DE ATAQUE

El ángulo de ataque en un aerogenerador se define como el ángulo entre la cuerda de la pala y la dirección del viento relativo. Este ángulo es crucial para el rendimiento, ya que impacta la cantidad de energía extraída del viento. Un ángulo óptimo permite capturar la máxima energía cinética del viento. Controlar el ángulo se logra mediante sistemas que ajustan la orientación de las palas. Si el ángulo es muy pequeño, se reduce la captura de viento y la producción de energía; si es muy grande, se experimenta pérdida de eficiencia. Los aerogeneradores modernos utilizan sistemas de control avanzados para ajustar dinámicamente los ángulos de las palas según las condiciones del viento en tiempo real.

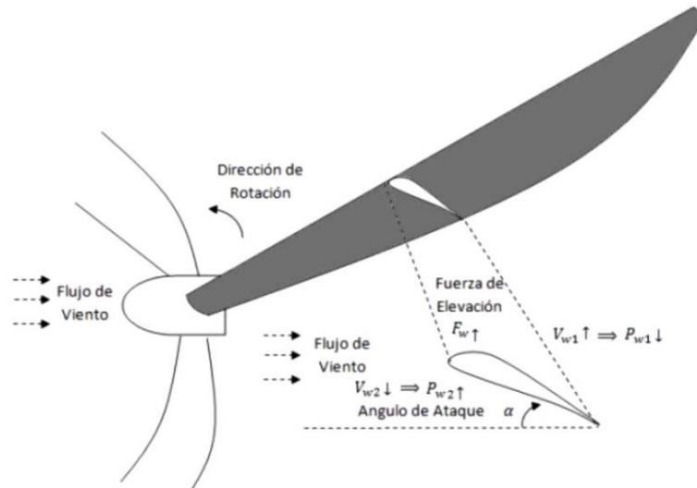
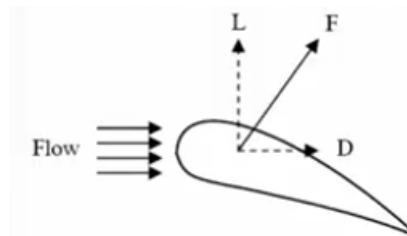


Figura 4.10 Demostración de Angulo de Ataque.

Existen dos fuerzas que actúan sobre las palas del rotor debido a la presencia de flujo de aire, entre estas se tiene:

- Fuerza de Sustentación “L”.
- Fuerza de Arrastre “D”.



$$L = C_L * \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A_f * C^2$$

$$D = C_D * \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A_f * C^2$$

Figura 4.11. Coeficiente Sustentación y Arrastre.

4.4.3. QBLADE

Software de código abierto utilizado para el diseño y análisis de rotores de turbinas eólicas. Este programa se centra en proporcionar herramientas para el diseño y simulación de rotores de aerogeneradores.

4.4.4. Diseño de Rotores

QBlade permite a los ingenieros y diseñadores trabajar en el diseño de rotores para turbinas eólicas. Puedes crear y modificar geometrías de palas, ajustar parámetros relacionados con el perfil de las palas y realizar simulaciones para evaluar el rendimiento aerodinámico.

4.4.5. Análisis Aerodinámico

El programa realiza análisis detallados de la aerodinámica de las palas de la turbina eólica. Esto incluye la evaluación de las fuerzas y momentos aerodinámicos que actúan sobre las palas en diferentes condiciones de viento.

4.4.6. Simulación de Desempeño

QBlade permite simular el rendimiento de la turbina eólica en diversas condiciones de viento y cargas. Esto es esencial para evaluar cómo se comportará la turbina en el mundo real y para optimizar su eficiencia.

4.4.7. Investigación y Desarrollo

QBlade es utilizado en entornos académicos, de investigación y desarrollo para explorar y entender mejor los aspectos aerodinámicos de las turbinas eólicas y para probar nuevas ideas y enfoques en el diseño de rotores.

4.5. MODELADO 3D DE AEROGENERADOR

Se mostrará un modelo tridimensional en el cual se visualizará los diferentes componentes del aerogenerador.

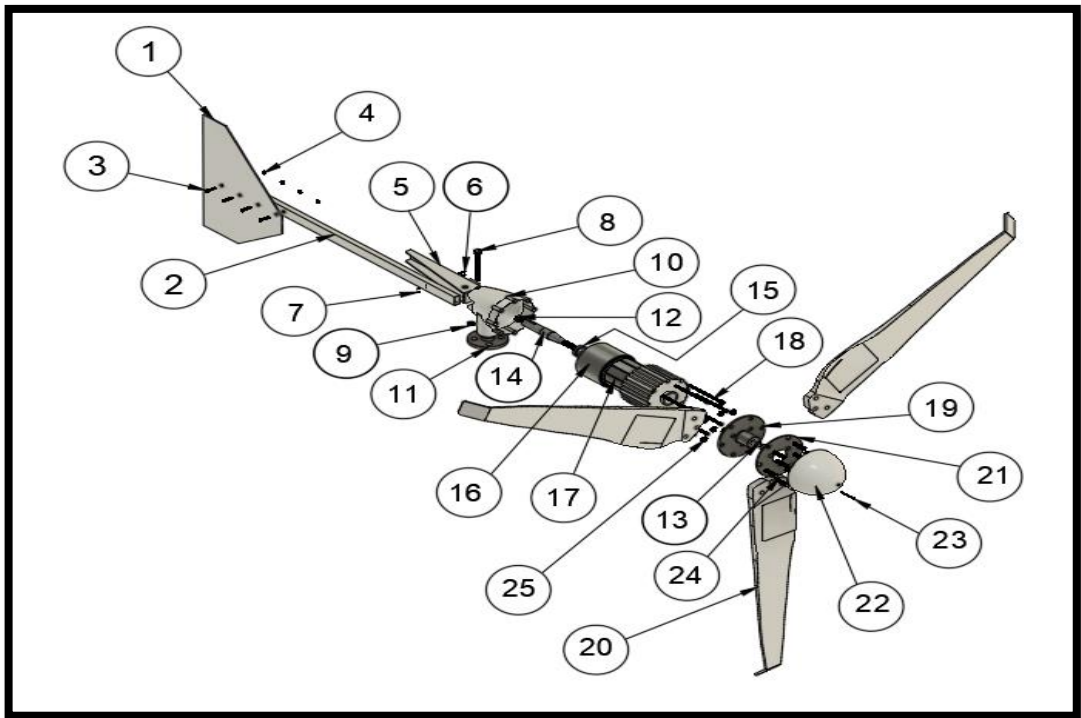
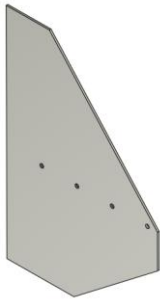

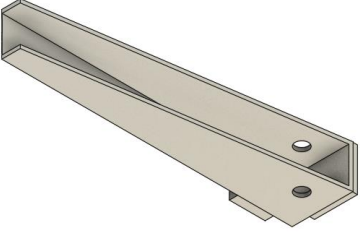
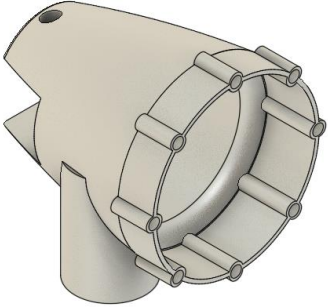
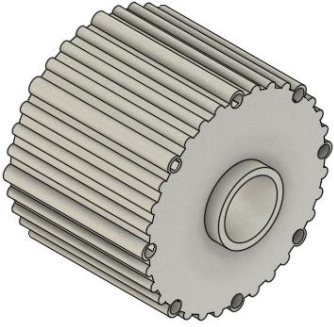




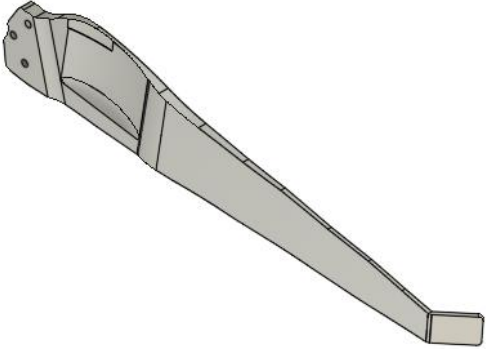


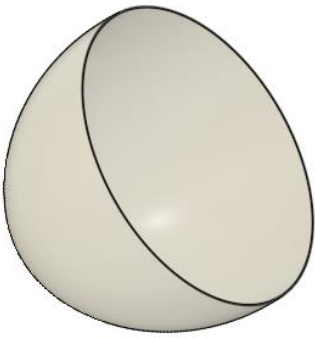
Figura 4.12. Bosquejo de aerogenerador

Tabla 4.4: Lista de piezas de Aerogenerador.

| | Lista de piezas | Gráfica |
|---|-------------------------------|---|
| 1 | Pala de cola de aerogenerador |  |
| 2 | Tubo cuadrado |  |

| | | |
|----------|---|--|
| <p>3</p> | <p>Refuerzo de conexión</p> |  |
| <p>4</p> | <p>Estructura de la carcasa - parte 1</p> |  |
| <p>5</p> | <p>Estructura de la carcasa - parte 2</p> |  |
| <p>7</p> | <p>Eje</p> |  |

| | | |
|------------------|----------------|--|
| <p>8</p> | <p>Estator</p> |  |
| <p>9</p> | <p>Rotor</p> |  |
| <p>10</p> | <p>Acople</p> |  |
| <p>11</p> | <p>Hélices</p> |  |

| | | |
|-----------|--------|--|
| 12 | Cúpula |  |
|-----------|--------|--|

4.6. SISTEMA ELÉCTRICO


El sistema eléctrico de un aerogenerador está compuesto de:

4.6.1. Generador

El generador de una turbina eólica doméstica convierte la energía mecánica del rotor en energía eléctrica. Generalmente, se utiliza un generador de imanes permanentes de baja potencia, que puede ser un alternador o un generador de corriente alterna (AC). Este generador está diseñado para producir energía eléctrica a una escala para el consumo residencial. En la siguiente tabla 4.5 se muestra las características principales.

Tabla 4.5: Características eléctricas del generador


| Características | |
|----------------------------|---|
| P. nominal: | 500 W |
| P. Máxima: | 700 W |
| Tensión de Trabajo: | AC |
| Tipo de Generador: | Generador síncrono de imán permanente trifásico |
| Sistema de Control: | Electroimán |



4.6.2. Controlador de carga o regulador de carga

Este componente es esencial para proteger el sistema eléctrico de la turbina eólica doméstica. Regula la carga de la batería para evitar la sobrecarga y la descarga excesiva, lo que puede dañar las baterías y otros componentes del sistema. En la siguiente tabla 4.6 se muestra las características principales.

Tabla 4.6: Características de controlador eólico

| Características | |  |
|---|-----------|---|
| Tipo de regulador: | Eólico | |
| Voltaje mínimo de entrada-voltaje máximo de entrada en (AC): | 12V – 50V | |
| Voltaje mínimo de salida-voltaje máximo de salida (DC): | 12V – 24V | |
| Corriente máxima de salida: | 30 A | |

4.6.3. Baterías

En las instalaciones de un generador eólico doméstico se incluyen baterías para almacenar la energía generada por el aerogenerador. Estas baterías pueden proporcionar energía de respaldo o pueden utilizarse para almacenar energía para su uso posterior cuando la demanda sea mayor. En la tabla 4.7 se muestra las características principales.

Tabla 4.7: Características de batería 12V

| Características | |
|------------------------|--------|
| Voltaje normal: | 12V |
| Capacidad: | 85 Ah |
| Largo : | 30cm |
| Ancho: | 16.8cm |
| Alto : | 22.4cm |




4.6.4. Inversor

Se necesita un inversor para convertir la energía eléctrica de corriente continua en corriente alterna (AC), que es la forma de energía utilizada en la mayoría de los hogares. En la siguiente tabla 4.8 se muestra las características principales.

Tabla 4.8: Características de inversor DC/AC

| Características | |
|--|-------------|
| voltaje mínimo de salida-voltaje máximo de salida | 115V – 115V |
| Voltaje mínimo de entrada – voltaje máximo de entrada | 12V – 12V |
| Potencia máxima de operación: | 600W |



A continuación, se muestra el diagrama de conexión eléctrica de nuestro sistema de Aerogeneración:

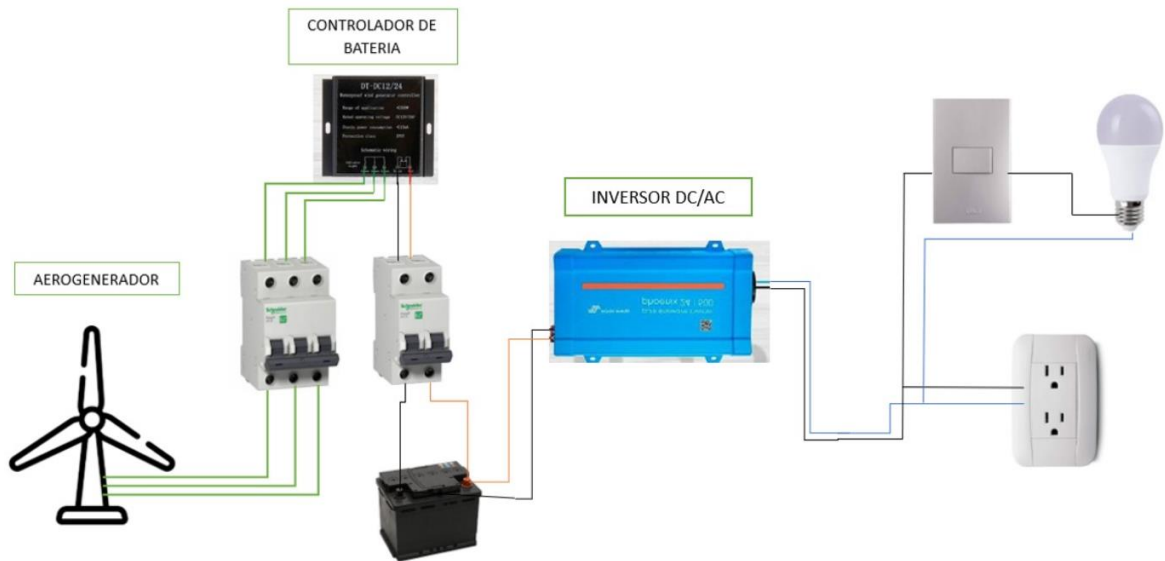


Figura 4.13: Diagrama de conexión eléctrica

4.7. Conductor utilizado para toma de alimentación de aerogenerador:

Tabla 4.9: Características de conductor

| Características | | | | |
|-------------------------------|-----------------|---|-----------|------|
| Cable THHN/THWN 10 AWG. | Tensión | 600 V | Amperios: | 35 A |
| | Servicio: | Alta Resistencia Dieléctrica. | | |
| | | Adecuada resistencia a agentes Químicos, Grasas, Ácidos, exteriores, entre otros. | | |
| | | THHN | THWN | |
| | Temp. Servicio: | 90 ° | 75 ° | |
| | Temp. Sobreca: | 130 ° | 95 ° | |
| | Temp. Cortoci: | 250 ° | 150 ° | |

Para la instalación se circuitos de iluminación, enchufes y electrodomésticos, se utiliza calibre de 12 AWG el mismo que es el calibre con más demanda en la industria eléctrica en su utilización para lo antes mencionado.

5. RESULTADOS

5.1. Prospección Eólica

Mediante la utilización de una estación meteorológica se pudo obtener datos como:

- Velocidad de viento en unidades como metros por segundos.
- Dirección de viento por ejemplo (norte, sur, este, oeste).

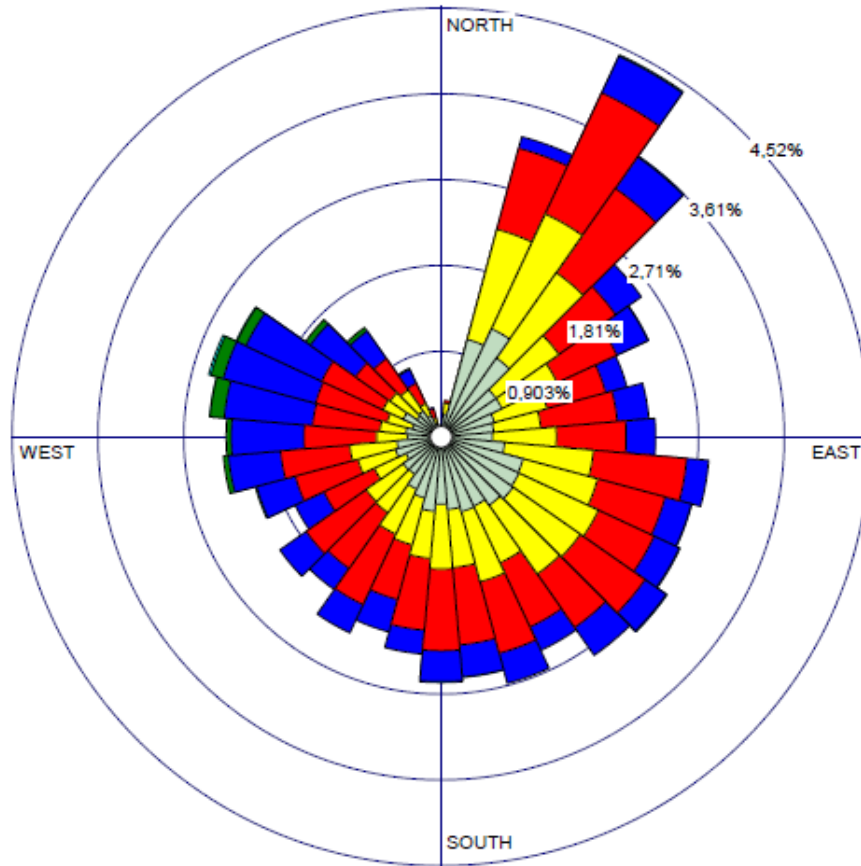


Figura 5.1: Datos Meteorológicos Obtenidos

De acuerdo a los datos obtenidos por la estación meteorológica como se muestra en la figura 4.6, se desarrolla una representación gráfica que muestre la distribución de la dirección del viento en una ubicación específica durante un periodo de tiempo determinado, de esta forma identificando las direcciones dominantes del viento y su intensidad, lo que influye en la orientación y el diseño de la turbina eólica

Station # 02

wind speed
Direction (blowing from)



WIND SPEED
(m/s)

- >= 11,10
- 8,80 - 11,10
- 5,70 - 8,80
- 3,60 - 5,70
- 2,10 - 3,60
- 0,50 - 2,10

Calms: 21,93%

| | | | |
|-----------|--|---------------|--------------|
| COMMENTS: | DATA PERIOD: | COMPANY NAME: | |
| | Start Date: 3/2/2001 - 00:00 End Date: 3/2/2001 - 23:00 | MODELER: | |
| | CALM WINDS: | TOTAL COUNT: | |
| | 21,93% | 20735 hrs. | |
| | AVG. WIND SPEED: | DATE: | PROJECT NO.: |
| | 2,81 m/s | 21/2/2024 | |

Figura 5.2: Simulación de Datos Meteorológicos.

Mediante un gráfico de distribución de frecuencia de clases de viento se puede proporcionar una visualización útil de la frecuencia con la que ocurren diferentes velocidades de viento en un área específica durante un período de tiempo determinado.

De acuerdo a la figura 5.3, se puede observar las velocidades predominantes, mostrándonos los picos en la distribución, de esta forma podemos identificar las velocidades de viento más comunes o predominantes en el lugar.

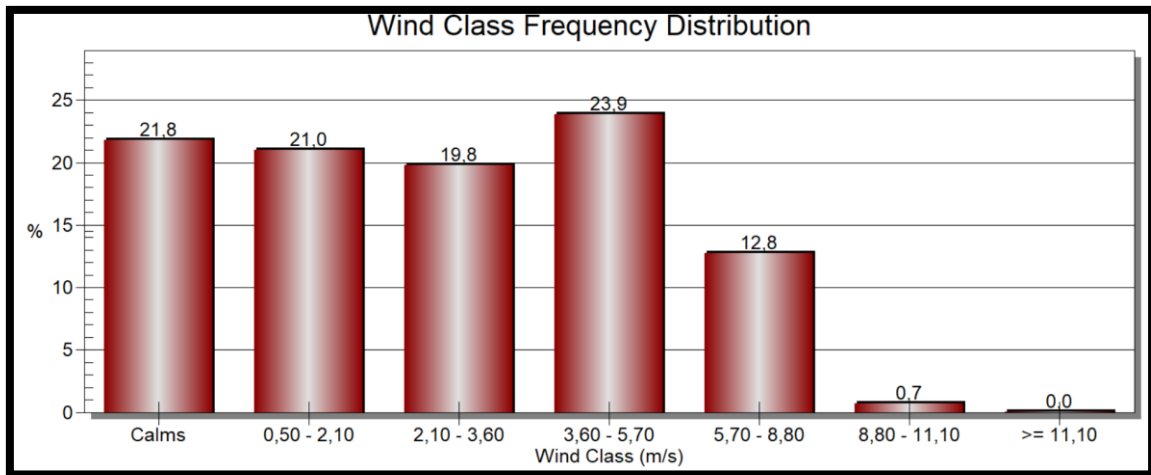


Figura 5.3: Distribución de Frecuencia

5.2. Distribución de Weibull

Tabla 5.1: Calculo de diseño de distribución de Weibull

| V. vientos(m/s) | FLUX(w/m ²) | BINS (m/s) | n | FRECUENCIA | %FRECUENCIA | WEIBULL | FLUX WEIBULL |
|-----------------|-------------------------|-------------|-----|------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 9,4 | 498,3504 | 0 | 404 | 21 | 0,051980198 | 0 | 0 |
| 3,7 | 30,3918 | 1 | | 16 | 0,03960396 | 0,100986738 | 0,060592043 |
| 1,7 | 2,9478 | 2 | | 43 | 0,106435644 | 0,166438863 | 0,798906542 |
| 0 | 0 | 3 | | 62 | 0,153465347 | 0,189531971 | 3,070417928 |
| 0 | 0 | 4 | | 76 | 0,188118812 | 0,175518892 | 6,739925459 |
| 0 | 0 | 5 | | 66 | 0,163366337 | 0,139221785 | 10,44163389 |
| 0 | 0 | 6 | | 45 | 0,111386139 | 0,096843186 | 12,55087687 |
| 2,1 | 5,5566 | 7 | | 37 | 0,091584158 | 0,059841539 | 12,31538875 |
| 3,5 | 25,725 | 8 | | 23 | 0,056930693 | 0,033108618 | 10,17096732 |
| 3 | 16,2 | 9 | | 12 | 0,02970297 | 0,016488015 | 7,211857615 |
| 1,7 | 2,9478 | 10 | | 1 | 0,002475248 | 0,007418206 | 4,450923411 |
| 5 | 75 | 11 | | 1 | 0,002475248 | 0,00302362 | 2,414663078 |
| 4 | 38,4 | 12 | | 0 | 0 | 0,00118848 | 1,160021163 |
| 5,3 | 89,3262 | 13 | | 0 | 0 | 0,000376492 | 0,496292103 |
| 5,4 | 94,4784 | 14 | | 0 | 0 | 0,000115364 | 0,189935972 |
| 5,3 | 89,3262 | 15 | | 0 | 0 | 3,2226E-05 | 0,065257689 |
| 5,5 | 99,825 | 16 | | 0 | 0 | 8,21434E-06 | 0,020187551 |
| 4,8 | 66,3552 | 17 | | 0 | 0 | 1,91215E-06 | 0,005636639 |
| 4,9 | 70,5894 | 18 | | 0 | 0 | 4,06783E-07 | 0,001423414 |
| 5,5 | 99,825 | 19 | | 0 | 0 | 7,91339E-08 | 0,000325668 |
| 3,2 | 19,6608 | 20 | | 0 | 0 | 1,40851E-08 | 6,76087E-05 |
| K | Upro.(m/s) | C | | FLUX. Promedio. | FLUX WEIBULL | | |
| 1,9465098 | 3,94207921 | 4,445539716 | | 72,16534455 | 72,16530071 | | |

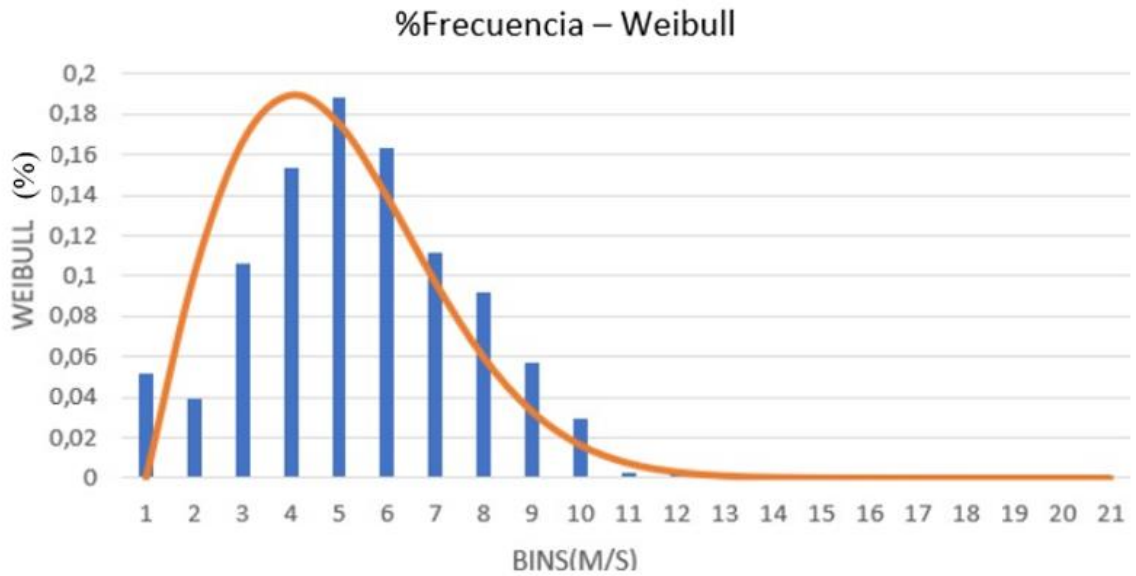


Figura 5.4. Diagrama de frecuencia

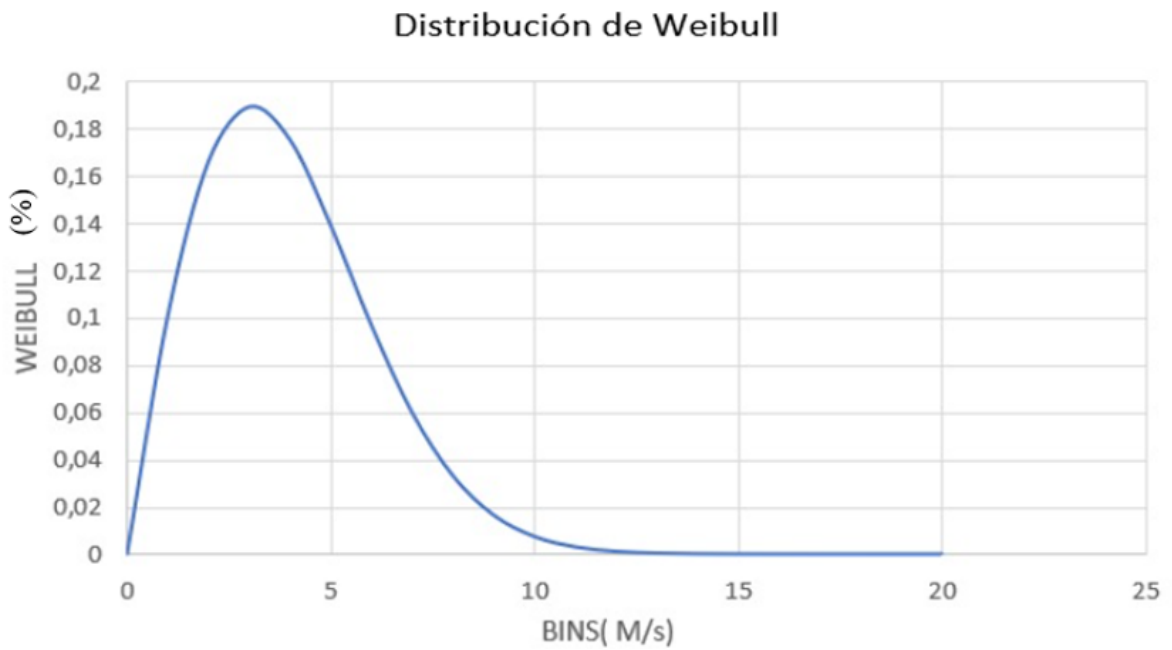


Figura 5.5. Diagrama de distribución de Weibull

De acuerdo con la distribución de Weibull obtenida, se puede analizar la frecuencia de velocidades del viento en un rango específico. Se observa que las velocidades de viento más frecuentes se encuentran predominantemente en el intervalo de 4 a 7 metros por segundo.

5.2.1. Diseño de las palas de aerogenerador mediante perfil NACA

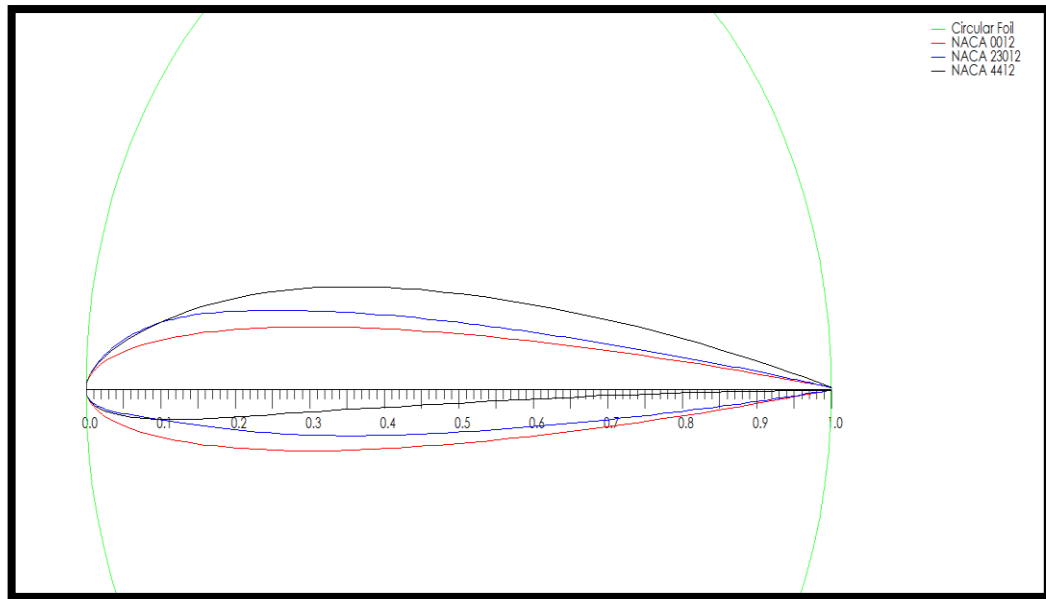


Figura 5.6. Vista de Perfiles NACA

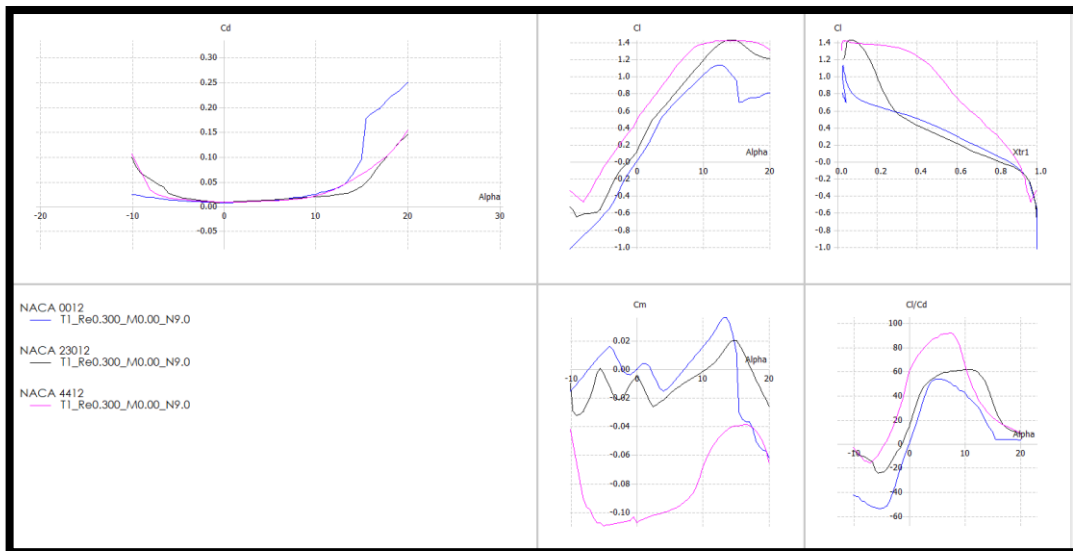


Figura 5.7 Curvas Coeficientes (Sustentación y Arrastre) y Angulo de Ataque.

Los parámetros a comparar son los coeficientes de sustentación y arrastre obtenidos mediante el software QBlade.

Tabla 5.2: Coeficientes de Sustentación y de Arrastre para Perfiles

| QBlade | | |
|-----------|-------|-------|
| PERFILES | CL | CD |
| NACA 0012 | 0.745 | 0.218 |
| NACA23012 | 1.245 | 0.107 |
| NACA4412 | 1.390 | 0.107 |

Mediante el análisis de los diferentes perfiles se puede deducir que el perfil NACA 4412 tiene un mayor coeficiente de sustentación en comparación con los demás perfiles, además de una linealidad muy marcada, demostrándonos ser un perfil muy bueno.

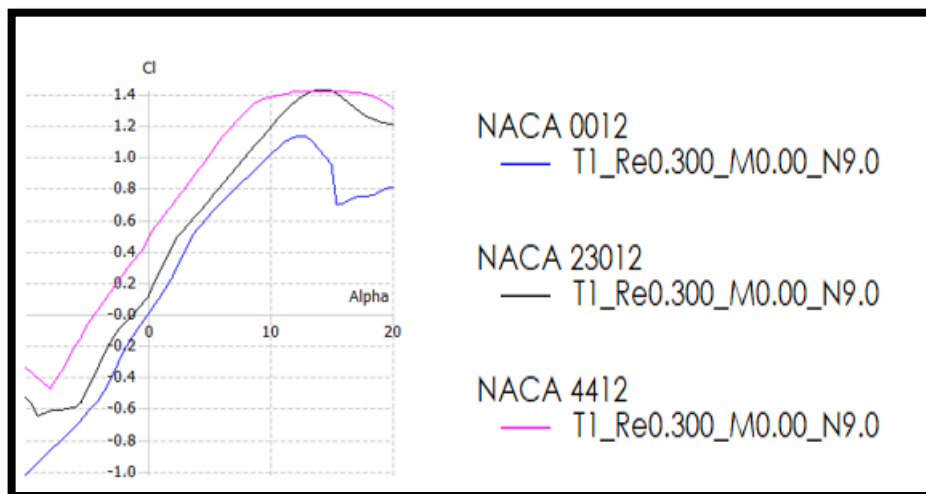


Figura 5.8. Curva Coeficiente de Sustentación.

Por lo tanto, se realizó un análisis específico del mismo a un rango de ángulo de ataque de 10 ° a 20 °:

Se considera un ángulo de ataque de 18° por su mejor distribución de presión.

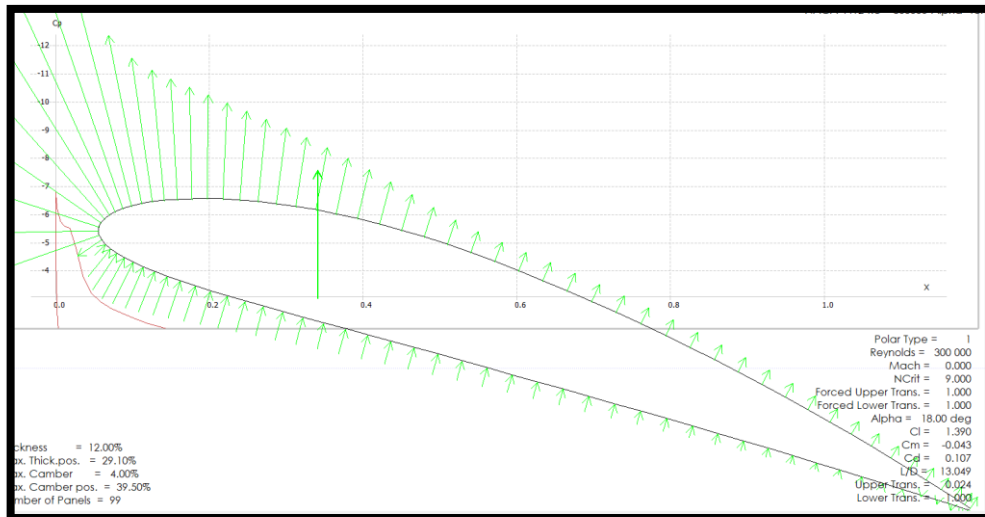


Figura 5.9. Selección de Angulo de Ataque.

5.3. Diseño de Rotor

Consideramos nuestro perfil NACA 4412 teniendo en cuenta sus dimensiones entre secciones y diámetro de rotor.

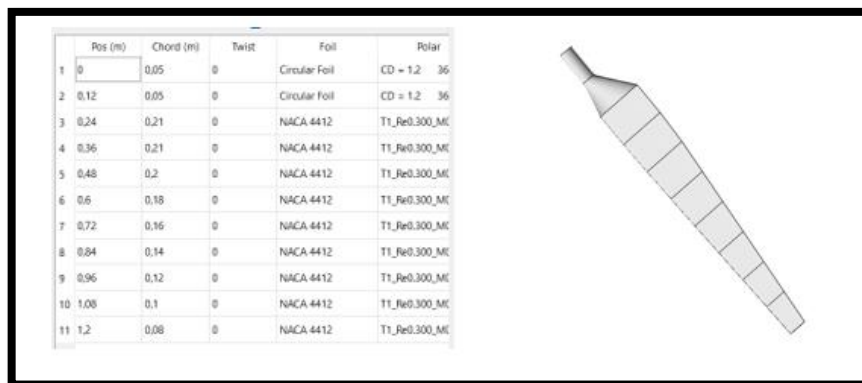


Figura 5.10. Diseño de Hélice.

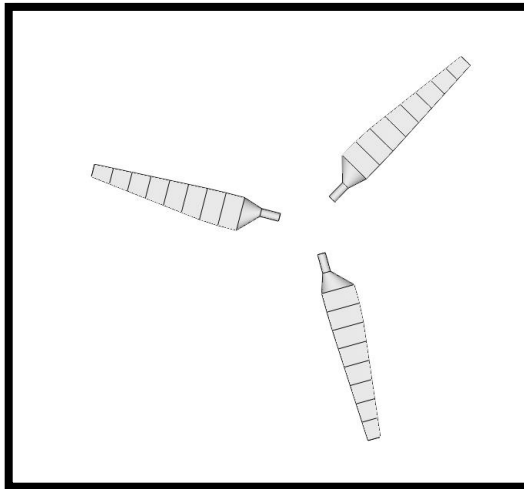


Figura 5.11. Diseño de Rotor.

5.4.SIMULACION DE TURBINA EOLICA

Considerando todos los valores y datos obtenidos por el diferente análisis realizado anteriormente, simulamos el comportamiento de nuestra turbina eólica.

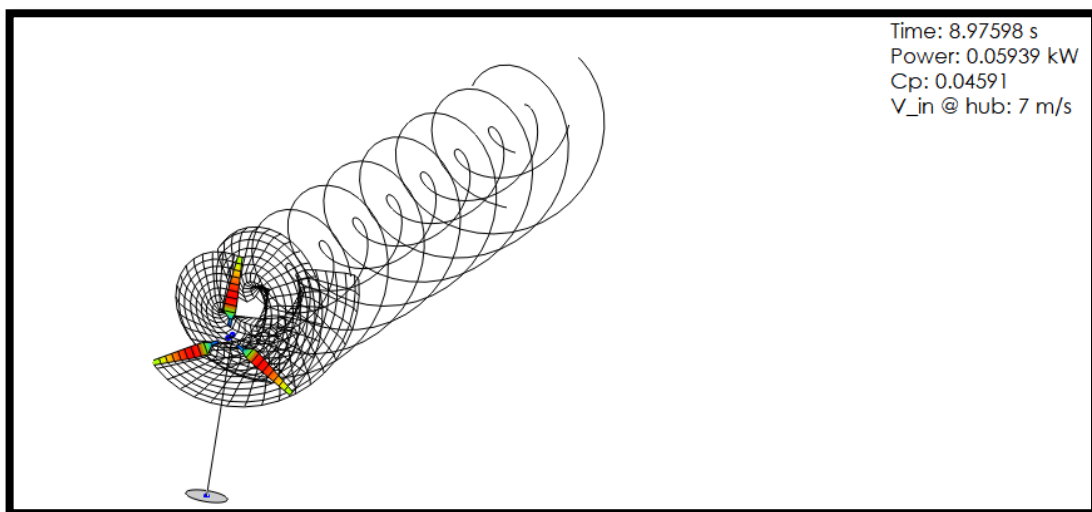
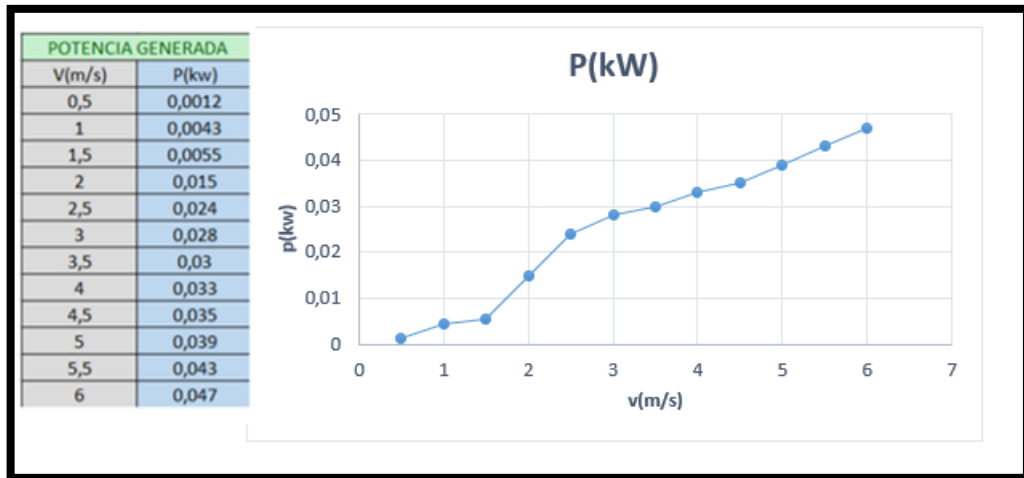


Figura 5.12. Simulación con Corrientes de Aire.

5.4.1. Potencia generada

Mediante la recopilación de datos obtenidos por la estación meteorológica graficamos una curva de potencia generada por nuestro aerogenerador a diferentes velocidades una vez realizado nuestra simulación en QBLADE, consideraos la siguiente tabla.

Tabla 5.3: Curva de potencia generada



5.5. PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE AEROGENERADOR MANTENIMIENTO AEROGENERADOR

5.5.1. Desmontaje del aerogenerador

A continuación, se detalla paso a paso el procedimiento para el desmontaje del aerogenerador desde la parte superior de la torre.

1. Antes de iniciar el desmontaje, se requiere desconectar el aerogenerador de la red eléctrica para garantizar la seguridad.



Figura 5.13. Desconexión a la red eléctrica

5.5.2. Mantenimiento del generador

A continuación, se detalla paso a paso el procedimiento para el desensamble y mantenimiento del generador.

1. Empleando una llave ajustable inglesa de 300 mm, un extractor mecánico y una prensa de mesa, se procede a retirar la tuerca del eje que conecta el rotor al generador, lo que permitirá la extracción de la base del cubo del rotor.



Figura 5.14. Generador fijado a prensa de mesa



Figura 5.15. Retiro de tuerca en el eje del rotor

2. Empleando una llave Allen, se procede a aflojar y retirar las ocho tuercas que aseguran el generador, permitiendo así acceder y realizar las operaciones de mantenimiento necesarias.



Figura 5.16. Desmontaje de generador con llave Allen

3. En el proceso de revisión del generador, se verifica cuidadosamente que el rotor pueda moverse libremente y sin restricciones, asegurando así una generación eficiente de energía. Durante esta evaluación, es crucial observar si hay algún indicio de roce o choque entre el rotor y el estator. La detección temprana de esta condición problemática es esencial para prevenir daños mayores y garantizar el funcionamiento óptimo del generador.



Figura 5.17. Revisión de rotor

4. Utilizando un medidor de resistencia Fluke, se realiza un ensayo de continuidad para comprobar que no exista problemas en las bobinas, evitando cortocircuitos o problemas en el cableado.

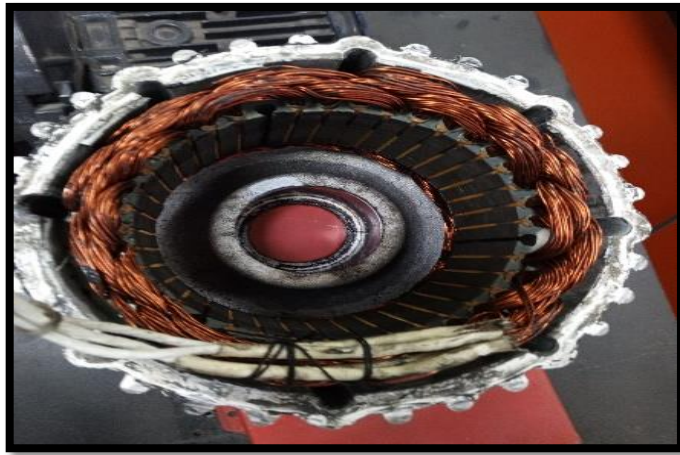


Figura 5.18. Estado de bobinas

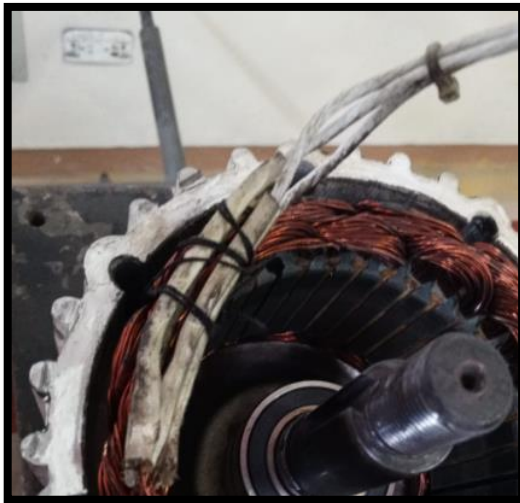


Figura 5.19. Conexión

5. Tras notar deficiencias en el funcionamiento del rotor que podrían afectar su funcionamiento, se decide retirarlo para llevar a cabo correcciones necesarias. Este proceso se realiza utilizando una prensa mecánica, que proporciona la fuerza necesaria para desmontar el rotor de manera controlada. La intervención en el rotor tiene como objetivo realizar ajustes y mejoras que optimicen su desempeño y contribuyan a un funcionamiento más eficiente del generador en su conjunto.

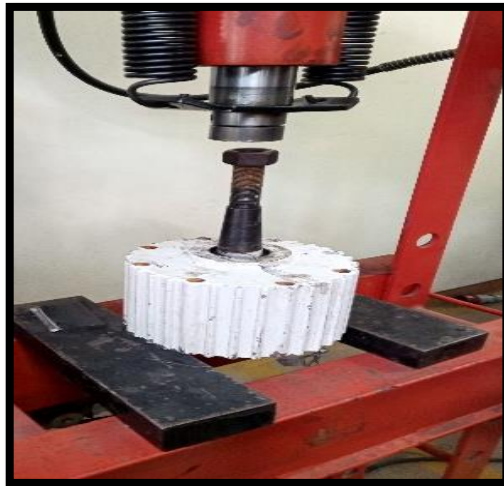


Figura 5.20. Extracción del rotor del generador con prensa mecánica

6. Empleando un extractor mecánico, una prensa de mesa y una llave inglesa se procede a retirar el rotor del eje. Este procedimiento deja el eje con los dos rodamientos. Al realizar esta operación, se evidencia que los rodamientos actuales presentan signos de desgaste y deterioro, lo que sugiere la necesidad de reemplazarlos. Además, se observa que falta un rodamiento para garantizar un desempeño óptimo.



Figura 5.21. Extractor mecánico sujeto al rotor



Figura 5.22. Eje de rotor con rodamientos desgastados

7. Mediante el uso de la prensa mecánica, se efectúa la extracción de los rodamientos en estado deficiente, con el propósito de sustituirlos posteriormente.



Figura 5.23. Eje de rotor con rodamientos sujeto a prensa mecánica

8. Se observa una irregularidad en el eje, por lo que se procede a realizar una rectificación para corregir dicha falla.



Figura 5.24. Eje de rotor desgastado

9. Empleando un calibrador digital, se lleva a cabo la medición precisa para determinar con exactitud las áreas específicas donde se realizarán las correcciones en el eje.



Figura 5.25. Calibrador digital

10. Utilizando un electrodo E7018, se procede a revisar el manual del fabricante para establecer el voltaje y amperaje seguros antes de llevar a cabo la soldadura. Además, se verifica y ajusta la polaridad según las recomendaciones del fabricante y las necesidades específicas de la aplicación. La polaridad puede ser directa (DC+), donde el electrodo se conecta al terminal positivo para una penetración más profunda, o inversa (DC-), donde el electrodo se conecta al terminal negativo para una penetración más superficial. Este cuidadoso ajuste asegura una soldadura eficiente y de calidad.



Figura 5.26. Electrodos de soldadura (E7018)

11. Empleando una soldadora por arco, se procede a rectificar el eje con la atención necesaria a la seguridad y eficiencia del proceso. Se utilizan accesorios esenciales como un casco para soldar, que proporciona protección visual y facial, y guantes especializados para garantizar la seguridad del operador durante la soldadura.



Figura 5.27. Eje rectificado con soldadura

12. Utilizando la cuchilla ASSAB17 en el torno, se procede al torneado, midiendo repetidamente con un calibrador digital hasta alcanzar las medidas precisas necesarias para los rodamientos y el rotor. Este enfoque meticuloso garantiza la exactitud dimensional requerida para lograr un ajuste adecuado y un rendimiento óptimo de los componentes.



Figura 5.28. Eje en proceso de torneado



Figura 5.29. Medición con calibrador digital

13. Después de completar este proceso de torneado y rectificación, se obtiene una nueva pieza con las dimensiones exactas y la precisión necesaria. Este resultado asegura que la pieza esté lista para integrarse eficientemente en el conjunto del generador eólico, contribuyendo así a un funcionamiento óptimo y duradero.



Figura 5.30. Eje después del proceso de torneado y rectificación

14. Empleando la prensa mecánica, se procede a instalar los nuevos rodamientos, en este caso tres, que serán fundamentales para permitir un giro eficiente del rotor. Es esencial aplicar grasa o un lubricante específico a los rodamientos durante el proceso de instalación para asegurar un rendimiento suave y prolongado. Este cuidadoso procedimiento garantiza que los rodamientos cumplan su función de manera efectiva dentro del conjunto del generador eólico.




Figura 5.31. Eje rectificado en prensa mecánica



Figura 5.32. Eje con nuevos rodamientos

El proceso de relleno mediante soldadura se garantiza con una selección de material de relleno adecuado para la aplicación con el fin de evitar fractura en el eje, además teniendo en cuenta el control de temperatura para evitar el sobrecalentamiento del eje y de esta forma minimizar su distorsión, esto mediante el control de amperaje con el fin de mantener la temperatura dentro de los límites aceptables.

Tabla 5.4: Características de electrodo

| CARACTERISTICAS ELECTRODO E-7018 | |
|---|--|
| Electrodo revestido de bajo hidrogeno. |  |
| Aceros con bajo, medio y alto contenido de carbono. | |
| Resistencia a la tracción de 70,000 PSI | |

| | |
|---|--|
| Funciona con polaridad Directa o Inversa. | |
|---|--|

15. Antes de instalar el eje con el rotor, se lleva a cabo un proceso de limpieza del estator utilizando lija y aire comprimido proveniente de un compresor. Esta etapa asegura la eliminación de cualquier residuo o contaminante, manteniendo el estator en condiciones óptimas para un rendimiento eficiente y prolongado.



Figura 5.33. Limpieza de estator

16. Utilizando nuevamente la prensa mecánica, se procede a ensamblar el rotor en el estator. Este paso, realizado con precisión, asegura la correcta colocación y alineación de los componentes.



Figura 5.34. Colocación de rotor en estator

17. Los cables correspondientes se conectan al generador eléctrico desde el estator, asegurando una conexión eléctrica segura. Este paso es crucial para establecer el flujo de energía generado por el rotor hacia el sistema eléctrico, permitiendo así la producción de energía alterna.



Figura 5.35. Conexión de estator al generador de energía alterna

18. Las dos partes se unen utilizando sus respectivos tornillos hexagonales, asegurando una fijación robusta y segura. Este proceso de unión completa el ensamblaje del generador eólico.



Figura 5.36. Fijación de las dos partes del generador

19. Para concluir, se emplea el multímetro con el propósito de verificar que el generador esté operando de manera adecuada y esté generando energía de acuerdo con las especificaciones.

~



Figura 5.37. Verificación de energía con multímetro

Tabla 5.5: Valores de generación

| Prueba de generación | | |
|-----------------------------|---------------|--------------|
| RPM | V(m/s) | P(kW) |
| 16 | 2.04 | 0.017 |
| 40 | 5.18 | 0.039 |
| 100 | 13.03 | 0.177 |
| 190 | 17.67 | 0.274 |
| 300 | 39.27 | 1.072 |
| 420 | 54.97 | 1.937 |



Figura 5.38. Generador realizado las correcciones y mantenimiento

5.5.3. Rediseño de Hélices

Previo al montaje, el análisis determinó la necesidad de introducir modificaciones específicas en las palas del aerogenerador. Entre estas tenemos de devolver a su forma y longitud de fábrica, además que incluye un desvío de 45° en cada una de las puntas de las palas.

5.6. Análisis Comparativo de Diseño de Hélices: Drones vs. Aerogeneradores

El proyecto de diseño de hélices optimizadas para mejorar el sistema de empuje de un Drone modelo t4, realizado por los señores Gabriel Sebastián Inca Yajamín y Carlos Eduardo Jaguaco López, se explica por qué se seleccionó el ángulo de punta alar de 45° tras análisis aerodinámicos y validación experimental que demostraron una mejora significativa en el funcionamiento del sistema de empuje.

Elección del Ángulo de 45° : La decisión de optar por un ángulo de 45° se fundamenta en la reducción de la resistencia aerodinámica inducida, observada tanto en simulaciones como en pruebas experimentales. Este ángulo se identificó como óptimo para mejorar el funcionamiento del sistema de empuje del Drone.

Extrapolando estos resultados al diseño de aerogeneradores, se sugiere que la elección del ángulo de punta alar de 45° podría ofrecer beneficios similares. La minimización de la resistencia inducida podría contribuir a mejorar el funcionamiento general del sistema de generación de energía eólica.



Figura 5.39. Desvío de hélice de 45°

La reestructuración y reingeniería de las hélices se llevó a cabo mediante la fabricación de moldes que facilitarían la mejora de estas de manera segura y fiable, utilizando materiales apropiados tales como fibra de vidrio y resina. Estos moldes se diseñaron para garantizar que las nuevas hélices mantuvieran las características originales y evitaran desequilibrios y desbalances, asegurando así su total resistencia y funcionalidad.

Los aerogeneradores domésticos presentan una variedad de diseños en sus hélices que dependen del fabricante y del modelo específico del aerogenerador. No obstante, en términos generales, el desvío en las puntas de las hélices de estos aerogeneradores busca cumplir objetivos similares a los de sus contrapartes de mayor escala y a las hélices de aviones.

Este desvío en las puntas de las hélices tiene varios propósitos:

5.6.1. Reducción de la resistencia aerodinámica

Al minimizar los efectos de arrastre en las puntas de las palas, se busca disminuir la resistencia aerodinámica. Esto puede mejorar la eficiencia del aerogenerador al permitir que las palas giren con mayor facilidad y enfrenten menos resistencia al viento.

5.6.2. Reducción del ruido

Al reducir las perturbaciones aerodinámicas en las puntas de las palas, el desvío puede ayudar a disminuir el ruido generado por el aerogenerador durante su funcionamiento. Esto es

especialmente relevante en entornos domésticos donde el ruido puede ser una preocupación importante.

El diseño con desvío en las puntas de las palas busca optimizar la distribución de la carga aerodinámica a lo largo de la longitud de las palas. Esto puede incrementar la eficiencia en la conversión de la energía eólica en energía eléctrica, lo que resulta relevante en aplicaciones domésticas donde se busca maximizar la producción de energía renovable.

1. Finalmente, se completa el montaje con la colocación de la cúpula sobre el conjunto, proporcionando la cobertura necesaria y finalizando la configuración del aerogenerador rediseñado.



Figura 5.40. Vista completa de aerogenerador ensamblado

5.7. SISTEMA ELECTRICO

Una vez que nuestro aerogenerador se encuentra en funcionamiento se realizan las conexiones eléctricas con el fin de poder aprovechar la energía generada.

Armamos un tablero eléctrico con el fin de no tener los aparatos eléctricos expuestos a cualquier fenómeno natural.

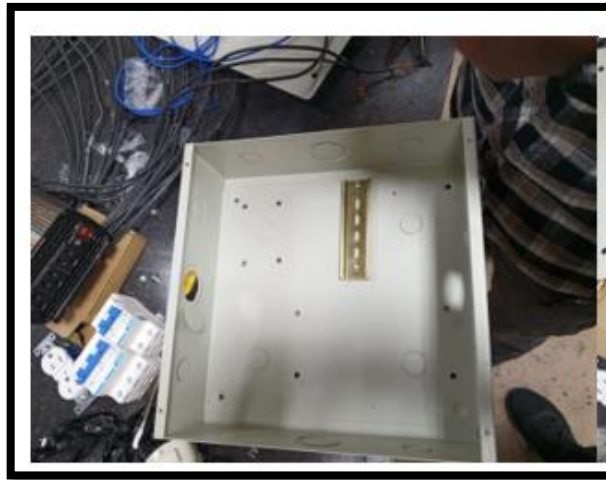


Figura 5.42. Armado de Tablero Eléctrico.

Situamos nuestro tablero en su lugar de aprovechamiento y realizamos todas sus conexiones pertinentes teniendo en cuenta el diagrama eléctrico que se muestra en la figura 5.43.

Una vez terminado sus conexiones eléctricas se ponen a disposición simplemente los equipos que se aprovecharán gracias a la energía eléctrica generada por nuestro aerogenerador.

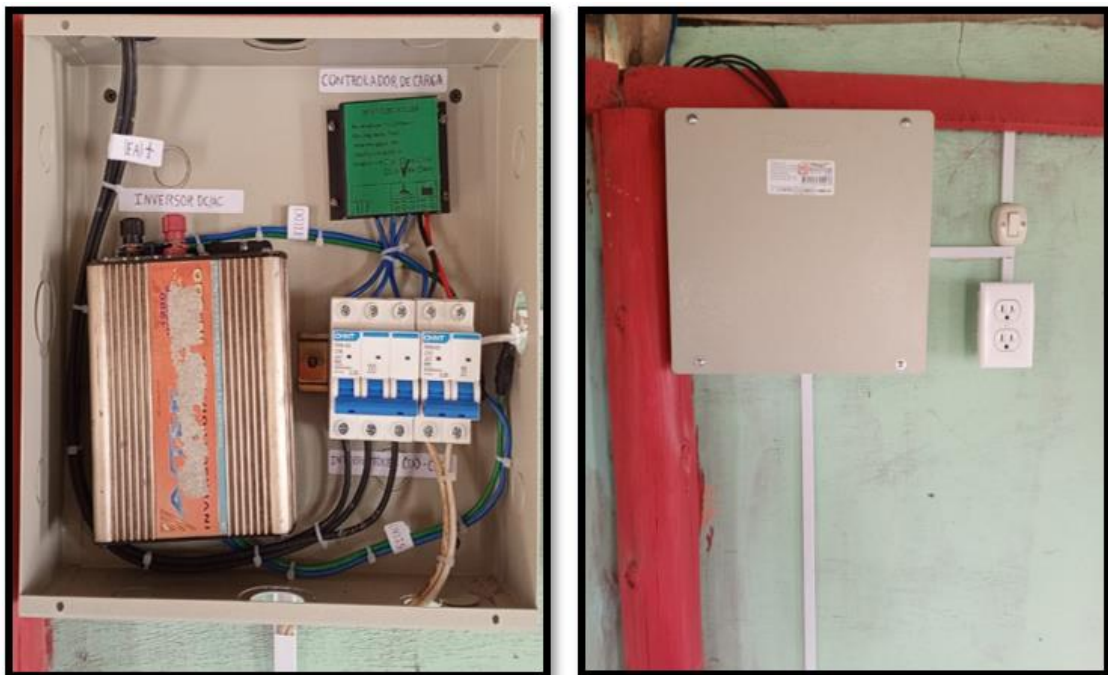


Figura 5.43. Tablero Instalado.

A continuación, se presenta el plano eléctrico de nuestro sistema de Aerogeneración:

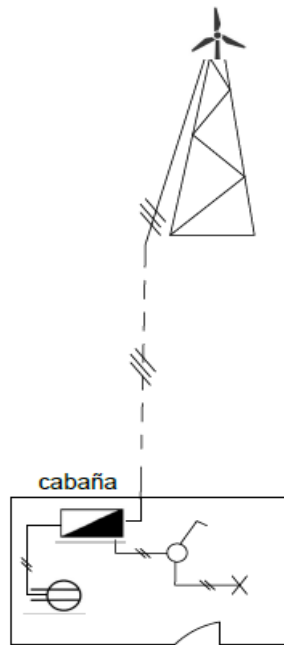


Figura 5.44. Esquema conexión eléctrica

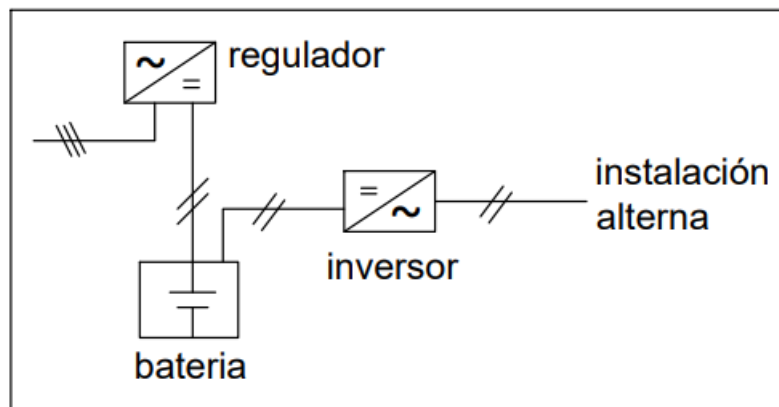


Figura 5.45. Esquema conexión eléctrica tablero

De acuerdo a la figura 4.45, cuando un dispositivo que regula la energía generada por una turbina eólica se vincula a una batería dentro de un sistema de energía eólica, su principal tarea es administrar la carga de la batería de manera segura y efectiva. Aquí se destacan algunas funciones esenciales realizadas por dicho dispositivo:

5.7.1. Control de carga

El dispositivo regula la cantidad de energía transferida desde la turbina eólica hacia la batería, controlando la corriente y la tensión para evitar sobrecargas que puedan dañarla.

5.7.2. Protección de la batería

Además, protege la batería de condiciones adversas como sobrecargas, descargas excesivas, sobretensiones y corrientes inversas, prolongando su vida útil y manteniendo su rendimiento óptimo.

5.7.3. Control de la tensión de salida

También regula la tensión de salida del sistema para asegurar que permanezca dentro de los niveles seguros y compatibles con la batería y otros componentes del sistema.

5.7.4. Monitoreo y gestión remota

Algunos dispositivos cuentan con capacidades de monitoreo y gestión remota, lo que permite a los usuarios supervisar el estado de la batería y ajustar la configuración del sistema a distancia.

La energía eléctrica generada por el aerogenerador tiene la capacidad de alimentar un toma corriente y el encendido de un foco led como se muestra en la figura 4.13.

5.8. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE AEROGENERADOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, EXTENSIÓN SALACHE

Antes de cualquier mantenimiento, se debe desconectar completamente el aerogenerador de la red eléctrica, para garantizar la seguridad y un entorno de trabajo seguro.

Tabla 5.6: Programa de mantenimiento

| Tipo de Inspección | Frecuencia | Actividades a Realizar |
|----------------------------------|-------------------|--|
| Inspección de rutina | Mensual | Verificar ruidos anormales en el rotor y sistema de transmisión. |
| | | Inspeccionar visualmente las palas en busca de daños o desgaste. |
| | | Verificar el estado de las conexiones eléctricas y asegurarse de que no haya signos de sobrecalentamiento. |
| | | Inspeccionar las condiciones generales de la torre y la cimentación. |
| Inspecciones Trimestrales | Trimestral | Utilizar un amperímetro para verificar la corriente conforme a las |

| | | |
|--------------------------------|--------------------|--|
| | | especificaciones del generador. |
| | | Verificar la estabilidad y seguridad de la estructura base y pernos del aerogenerador. |
| | | Realizar un control de sonido para detectar posibles ruidos inusuales. |
| Inspecciones Anuales | Anual | Utilizar un vibrómetro para medir vibraciones que efectué el sistema de generación. |
| | | Verificar resistencia en los terminales del generador con un multímetro. |
| | | Utilizar un anemómetro para medir la velocidad del viento y verificar la presión del sistema y la potencia generada en un aerogenerador. |
| Mantenimiento Adicional | Según la necesidad | En caso de funcionamiento insatisfactorio, desmontar el aerogenerador. |
| | | Inspeccionar minuciosamente cada componente. |
| | | Reemplazar elementos o piezas que muestren signos de desgaste para mantener su trabajo y prevenir fallas. |

5.9. Análisis de impacto y presupuesto.

5.9.1. Impacto económico

Mediante este análisis con respecto a los costos de repotenciación del aerogenerador, se optó que la opción más viable es la reparación en sus fallas. Esta elección se fundamenta en su menor costo en comparación con la adquisición de un nuevo equipo. Esto permitiría a la Universidad Técnica de Cotopaxi evitar un gasto significativo e innecesario, al mismo tiempo que se beneficiaría de la recuperación del aerogenerador existente.

5.9.2. Impacto Tecnológico

La repotenciación de aerogeneradores tiene un impacto tecnológico significativo al incorporar mejoras en la eficiencia y la capacidad de generación de energía. La implementación de tecnologías más avanzadas no solo aumenta la producción energética de cada aerogenerador, sino que también puede facilitar la integración de innovaciones, como sistemas de almacenamiento de energía y mejoras en la gestión de la red.

5.9.3. Impacto Ambiental

Desde una perspectiva ambiental, la repotenciación de aerogeneradores tiene varios beneficios. El aumento en la producción de energía renovable contribuye directamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al disminuir la dependencia de fuentes de energía no renovable. La repotenciación también puede implicar un menor impacto en el medio ambiente en comparación con la construcción de nuevos parques eólicos, ya que aprovecha la infraestructura existente. Sin embargo, es crucial que cualquier proyecto de repotenciación se lleve a cabo con un cuidadoso análisis de los posibles impactos locales y en cumplimiento con las regulaciones ambientales.

5.9.4. Presupuesto

Como se puede observarse en las tablas siguientes, se han considerado tanto los gastos directos como los indirectos de la repotenciación del aerogenerador de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión Salache.

5.9.5. Presupuesto directo

Los costos directos para la propuesta tecnológica son:

Tabla 5.7: Costos directos de ingeniería

| Representación | Horas | Valor unitario (\$) | Total (\$) |
|-----------------------|--------------|----------------------------|-------------------|
| Soldado | 4 | 10.00 | 40.00 |
| Torneado | 2 | 15.00 | 30.00 |
| Corte | 2 | 10.00 | 20.00 |
| Rediseño | 5 | 50.00 | 250.00 |
| Instalación eléctrica | 2 | 90.00 | 180.00 |
| | | Total | 520.00 |

5.9.6. Costos indirectos

En este apartado se incluyen los gastos, alimento y otros.

Tabla 5.8: Costos indirectos de ingeniería

| Representación | Total (\$) |
|-----------------------|-------------------|
| Transporte | 45.00 |
| Alimentación | 40.00 |
| Otros | 20.00 |
| Total | 105.00 |

5.9.7. Costo total de la repotenciación

Tabla 5.9: Presupuesto total de la propuesta tecnológica

| Representación | Total (\$) |
|--|-------------------|
| Costos directos de la ingeniería | 520.00 |
| Costos indirectos por transporte, alimentación u otros | 105.00 |
| Total | 625.00 |

Una vez analizado todos los parámetros de repotenciación y mantenimiento, se determina que las maquinas pueden tener diseños creados sin un estudio de su área de aplicación, y no pueden funcionar por eso. También, que, por la falta de un chequeo o mantenimiento, no se podría corregir fallas que se presente a lo largo de su vida útil de trabajo.

Por esto, se optó por realizar una repotenciación y corrección de los elementos del sistema desgastados, ya que el costo es menor a comparación de la adquisición de un aerogenerador nuevo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Con la repotenciación del sistema de aerogeneración en la zona de recuperación de suelos Machu Picchu de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache, se logró identificar los factores que impedían su correcto funcionamiento. Entre estos factores se

encontraba el desgaste superficial del eje del rotor, el deterioro de los cojinetes y la ausencia de componentes esenciales, como la cúpula. Estos inconvenientes surgieron debido a la falta de un mantenimiento preventivo adecuado.

- Mediante el análisis de la rosa de los vientos, se obtuvo un rango de velocidad entre 3 a 5 (m/s) de una mayor concentración de corrientes de aire en la dirección Noroeste. Sin embargo, también es notable la presencia significativa de corrientes en otras direcciones, indicando que la ubicación actual del aerogenerador no es la más adecuada.
- Se ejecutó un plan de mantenimiento correctivo que incluyó trabajos de soldadura por arco y mecanizado mediante torneado en la sección del eje, donde se identificaron desgastes leves pero significativos en las partes del rotor. Las mediciones revelaron dimensiones de 34.77 mm, ligeramente por debajo del valor estándar de 35.02 mm, lo cual requería un ajuste preciso entre el eje y los cojinetes para su funcionamiento.
- Con la asistencia de equipos de medición, se evidenciaron los resultados de las pruebas realizadas en el sistema en un rango de V (m/s) comprendidos entre 2 a 17 m/s, proporcionando valores en kW que oscilaron entre 0,017 a 0,28 kW. Estos valores están directamente relacionados con las RPM a las que giro nuestro generador en sus pruebas.

6.2. Recomendaciones

- Ejecutar un nuevo estudio en un lugar en el cual no se encuentre rodeado por cordilleras, con el fin de evitar la concentración de corrientes de aire en varias direcciones y no perjudique a la funcionalidad correcta de un aerogenerador.
- Mantener un monitoreo constante del sistema mediante equipos de medición para detectar posibles variaciones en el funcionamiento y abordar cualquier anomalía de manera oportuna.
- Evaluar periódicamente el plan de mantenimiento para incluir posibles ajustes o mejoras basadas en las experiencias recientes y cambios en el funcionamiento del sistema.

- Mantenerse al tanto de avances tecnológicos que puedan optimizar aún más el funcionamiento del sistema, considerando posibles implementaciones de nuevas tecnologías en el futuro.
- Ajustar y perfeccionar el plan de mantenimiento preventivo para asegurar una cobertura completa de las áreas críticas identificadas durante la repotenciación.
- Garantizar que el personal a cargo del mantenimiento esté completamente capacitado para realizar tareas específicas, asegurando una ejecución de los planes de mantenimiento correctivo y preventivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Julio y J. Hernández Chilán, «Mejoras en las prestaciones de aerogeneradores sincrónicos de velocidad variable frente a los huecos de tensión,» *revista riemat*, vol. 1, n° 6, pp. 44-47, Junio 2016.
- [2] J. C. Avila herrera, "análisis y optimización aerodinámica del prototipo de turbina eólica tipo savonius implementado en la facultad tecnológica," trabajo de grado (tesis de maestría), departamento de ingeniería mecánica, universidad distrital francisco josé de caldas, bogotá, colombia, 2017.
- [3] M. Tirado fernández, "análisis de la repotenciación de un parque eólico", universidad de sevilla, sevilla, 2015.
- [4] L. O. Cacuango chicaiza, "estudio de un sistema de repotenciación en el sellado de botellas para mejorar los tiempos de producción en el laboratorio de control y automatización industrial de la facultad de ingeniería civil y mecánica," proyecto de investigación, universidad técnica de ambato, ambato, ecuador, 2015.
- [5] "Origen de la energía eólica y su evolución en la Historia |". Curiosfera Historia. Accedido el 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-energia-eolica/>
- [6] Energía eólica teoría y conceptos capev 15 – 2013 dr. Oscar alfredo jaramillo salgado investigador titula "a" instituto de energías renovables de la unam
- [7] H. Guzmán sánchez, "selección de aerogeneradores," tesis profesional, universidad nacional autónoma de méxico, méxico, d.f., febrero de 2014.
- [8] "El manual del aerogenerador | Greentech ® Educación". Greentech ® Educación. Accedido el 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.greentecher.com/manual-del-aerogenerador/>
- [9] "Verifica tu identidad". Verifica tu identidad. Accedido el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.walmart.com.mx/ip/impresoras-y-scanners/controlador-controlador-de-generator-de-viento-a-prueba-de-agua-controlador-de-generator-de-viento-controlador-de-viento-de-aleacion-de-aluminio-durabilidad-extendida/00092393984053>
- [10] "Qué es un inversor | autosolar Blog". Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. Accedido el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-es-un-inversor>
- [11] "¿Corriente trifásica, bifásica o monofásica?" Voltimum España. Accedido el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/corriente-trifasica-bifasica-o>

- [12] La diferencia entre las cajas eléctricas de superficie y de distribución”. Qmadis. Accedido el 8 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://qmadis.com/blog/la-diferencia-entre-las-cajas-electricas-de-superficie-y-de-distribucion/>
- [13] ACCIONA, Energía eólica.
- [14] Opexenergy Operación y Mantenimiento S.L., «Open Energy,» 2015. [En línea]. Available: http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html. [Último acceso: 2016].
- [15] M. D. N. Iñigo, triz aplicado a los sistemas de orientación en los aerogeneradores, 2005.
- [16] universitas miguel hernández, «ii máster energía solar y renovables. Módulo: energía eólica tema 5: tipos de instalaciones,» 2012. [en línea]. Available: <http://docplayer.es/17082310-ii-master-energia-solar-y-renovables-moduloenergia-eolica-tema-5-tipos-de-instalaciones.html>. [último acceso: 2016].
- [16] Energía Doble Cero, «Componentes de un Aerogenerador,» [En línea]. Available: <http://energiadoblezero.com/energias-renovables/energiaeolica/componentes-de-un-aerogenerador>.