

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

Mejoramiento del sistema de lubricación en los rodamientos de pala en aerogeneradores modelo G80 Gamesa en parque eólico Eolo de Nicaragua.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Br. Luis Alexander Falcon
Solano

Carnet: 2010-32591

Br. Elvis Antonio Vivas
López

Carnet: 2012-41710

Br. Geovani Francisco
Robles Silva

Carnet: 2012-41872

Tutor:

Msc. Mary Triny
Gutiérrez Mendoza

31 de octubre 2024

Managua, Nicaragua



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

FALCON SOLANO LUIS ALEXANDER

Carne: **2010-32591** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte días del mes de mayo del año dos mil veinte y uno.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

ROBLES SILVA GEOVANI FRANCISCO

Carne: **2012-41872** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y seis días del mes de agosto del año dos mil veinte.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





Facultad de
Tecnología de
la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD



F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

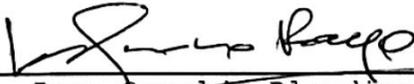
El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA hace constar que:

VIVAS LÓPEZ ELVIS ANTONIO

Carné: 2012-41710 Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERÍA MECANICA, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los quince días del mes de agosto del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,


Msc. Juan Oswaldo Blandino Rivas
Secretario de Facultad



☎ (505) 2240 1653 • (505) 2248 6879
(505) 2251 8271 • (505) 2251 8276

📍 Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso
Managua Nicaragua

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 15-ago.-2023

PDF Scanned with
MOBILE SCANNER



MS

DECANATURA

Managua, 11 de enero de 2022

Brs. Luis Alexander Falcón Solano
Geovani Francisco Robles Silva
Elvis Antonio Vivas López

Por este medio, hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **Mejoramiento del sistema de lubricación en los rodamientos de pala en aerogeneradores modelo G80 Gamesa en parque eólico Eolo Nicaragua**, para obtener el título de **Ingeniero Mecánico** y que contará con la **MSc. Mary Triny Gutiérrez Mendoza** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


MSc. Lester Antonio Artoia Chavarría
Decano



C/c Archivo
LACH/art



Área de Conocimiento de
Ingeniería y Afines

Managua, 10 de septiembre 2024

MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Área de Conocimientos de Ingeniería y Afines
Sus manos

Estimado maestro Chavarría:

Reciba un cordial saludo de mi parte. El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he revisado la monografía titulada: **“Mejoramiento del sistema de lubricación en los rodamientos de pala en aerogeneradores modelo G80 Gamesa en parque eólico Eolo de Nicaragua.”**, la cual fue elaborada por los bachilleres.

| | |
|------------------------------------|--------------------|
| Br. Luis Alexander Falcon Solano | Carnet: 2010-32591 |
| Br. Elvis Antonio Vivas López | Carnet: 2012-41710 |
| Br. Geovani Francisco Robles Silva | Carnet: 2012-41872 |

No omito, manifestarle que el documento cumple con los requisitos técnicos y académicos establecidos por el Área de conocimiento y nuestra Alma Mater, por lo cual le solicito la programación de defensa de la monografía antes mencionada.

Agradeciéndoles de antemano a la presente, le saludo deseándole éxito en sus funciones.

Atentamente,

MSc. Mary Triny Gutiérrez Mendoza.
Docente Titular
Programa Académico Ingeniería Mecánica
Tutora

 Teléfono: (505) 2251 8276

 Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua.

 luis.chavarría@fti.uni.edu.ni
www.uni.edu.ni



Rivas, 22 de Diciembre 2021

Ingeniero
Lester Artola Chavarria
Decano de la facultad de Tecnología de la Industria

Estimado Ingeniero

Es un gusto saludarle por parte de la empresa **Nicaragua Operación y Mantenimiento (NOMSA)**, que actualmente brindamos servicio de mantenimiento al parque eólico **EOLO DE NICARAGUA**.

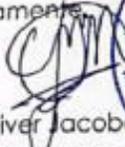
A través de la presente, se le notifica de la aprobación de la solicitud de tesis de los estudiantes egresados:

Br: Luis Alexander Falcón Solano.
Br: Elvis Antonio Vivas López.
Br: Geovani Francisco Robles Silva.

Por tanto, como empresa damos autorización de que los egresados de la carrera ingeniería mecánica puedan desarrollar la tesis de su monografía en el parque EOLO DE NICARAGUA, a bien para un desarrollo de ellos, brindaremos el apoyo necesario para que puedan concluir con sus objetivos, ellos se comprometen a compartir los avances y el trabajo final.

En espera de su amable atención a la presente, en la oportunidad le saluda.

Atentamente,


Ing. Oliver Jacobo Narváez Montiel
Coordinador de mantenimiento
NOMSA
Teléfono: +505 84921754
oliver.narvaez@somoscmi.com



EOLO de NICARAGUA S.A

KM 123 Carretera Panamericana al sur de Managua • La Virgen • RIVAS, Nicaragua
tel +505 2270-3186

Dedicatoria

Este trabajo monográfico lo dedicamos primeramente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

Ha todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Agradecimiento

En primer lugar, damos gracias a Dios por estar con nosotros todos los días y por habernos dado las fuerzas y sabiduría, para culminar con éxito nuestras metas propuestas.

Agradecemos también el apoyo de nuestros padres que nos han brindado todo su apoyo en todo momento, para seguir adelante y también por la oportunidad de tener una excelente educación.

A nuestra tutora, MSC. Mary Triny, por estar dispuesta a revisar este gran logro.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por habernos brindado tantas oportunidades y enriquecimiento en conocimientos.

Índice

| | | |
|------|---|----|
| I. | Introducción | 1 |
| II. | Antecedentes | 2 |
| III. | Justificación | 3 |
| IV. | Objetivos..... | 4 |
| | Objetivos Generales | 4 |
| | Objetivos Específicos | 4 |
| V. | Marco Teórico | 5 |
| | 5.1. Aerogenerador | 5 |
| | 5.2. Aerogenerador instalado en Eolo, Rivas-Nicaragua modelos G80. 6 | |
| | 5.3. Componentes principales de un aerogenerador | 8 |
| | 5.3.1. Rotor | 9 |
| | 5.3.2. Palas. | 9 |
| | 5.3.3. Góndola..... | 10 |
| | 5.3.4. Transformador | 11 |
| | 5.3.5. Multiplicadora | 12 |
| | 5.3.6. Generador | 13 |
| | 5.3.7. Torre. | 14 |
| | 5.3.8. Rodamientos de pala | 15 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.4. | Sistemas de lubricación..... | 16 |
| 5.4.1. | Lubricación manual..... | 16 |
| 5.4.2. | Sistemas de lubricación automática..... | 16 |
| 5.4.2.1 | Sistema de línea Simple | 17 |
| 5.4.2.2 | Sistema automático progresivo | 18 |
| 5.4.2.3 | Sistema de línea doble | 19 |
| 5.5. | Mantenimiento de aerogeneradores. | 21 |
| 5.5.1. | Mantenimiento preventivo | 21 |
| 5.5.2. | Mantenimiento predictivo o Basado en condiciones | 22 |
| 5.5.3. | Gama de mantenimiento semestral de los aerogeneradores | |
| GAMESA. | 23 | |
| 5.5.3.1 | Inspección visual | 25 |
| 5.5.3.2 | Inspección termográfica..... | 27 |
| 5.5.3.3 | Inspección Boroscópica. | 28 |
| 5.5.3.4 | Análisis periódico de aceites | 30 |
| 5.5.4. | Mantenimiento correctivo | 31 |
| 5.5.4.1 | Pequeño correctivo..... | 34 |
| 5.5.4.2 | Grandes correctivos..... | 35 |
| VI. | Resultados..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 6.1. Diagnóstico de los rodamientos de pala del Aerogenerador empleándose sistema de lubricación manual..... | 37 |
| 6.1.1. Árbol de Causa- efecto..... | 38 |
| 6.1.2. Árbol de objetivos. | 40 |
| 6.1.3. Árbol de solución. | 42 |
| 6.2. Propuesta de mejora de lubricación de los rodamientos de pala. | 45 |
| 6.2.1. Descripción del sistema de lubricación automático progresivo. | 47 |
| 7. Costos de instalación del sistema de lubricación. | 50 |
| 8. Verificación de la funcionalidad del sistema propuesto. | 52 |
| 8.1. Análisis de los dos tipos grasas usadas en los rodamientos de la pala B del aerogenerador marca Gamesa modelo G80..... | 63 |
| 9. Procedimiento para la instalación del sistema de lubricación | 72 |
| 10. Conclusiones | 75 |
| 11. Recomendaciones..... | 76 |
| 12. Anexos. | 77 |
| 13. Bibliografía..... | 85 |

| | |
|---|----|
| Figura 1: Rotor. Fuente: Méndez, N (2018)..... | 9 |
| Figura 2: Palas. fuente: Méndez, N (2018)..... | 10 |
| Figura 3: Góndola. Fuente: Méndez, N (2018) | 11 |
| Figura 4: Transformador. Fuente: Méndez, N (2018) | 11 |
| Figura 5: Multiplicadora. fuente: Méndez, N (2018) | 12 |
| Figura 6: Generador. fuente: Méndez, N (2018)..... | 13 |
| Figura 7: Torre. fuente: Méndez, N (2018) | 14 |
| Figura 8: Rodamiento de pala. fuente: Méndez, N (2018) | 15 |
| Figura 9: Inspección termográfica del interior de una turbina eólica. fuente: Méndez, N (2018) | 27 |
| Figura 10: Inspección boroscópica. fuente: Méndez, N (2018) | 28 |
| Figura 11: Equipo de endoscopia de la marca Olympus. fuente: Méndez, N (2018)..... | 29 |
| Figura 12: Diagrama de Ishikawa para analizar la falla de los rodamientos. fuente: Méndez, N (2018)..... | 34 |
| Figura 13: Árbol causa-efecto. fuente: propia..... | 39 |
| Figura 14: Árbol de objetivos. fuente: Propio..... | 41 |
| Figura 15: Árbol de solución. fuente: propia..... | 43 |
| Figura 16: Esquema del sistema de lubricación automático. fuente: Tritech..... | 48 |

I. Introducción

Eolo de Nicaragua, es un parque eólico de generación de energía renovable, cuenta con capacidad instalada de 44MW, los cuales se generan a partir de 22 aerogeneradores marca GAMESA, modelo G80.

La empresa Eolo no contaba con un sistema de lubricación que les ayudara a mejorar el desempeño y funcionabilidad de sus Aerogeneradores, hasta que en el año 2020 la empresa decidió implementar un nuevo sistema que les aportaría muy buenos beneficios.

El proyecto se llevó a cabo por la empresa Trittech para mejorar el anterior sistema de lubricación (manual), por uno automático que estará lubricando correctamente en tiempo y forma mediante unos bloques distribuidores de los rodamientos de pala.

En este trabajo monográfico se presentan los criterios a tomar en cuenta y pasos para el mejoramiento del sistema de lubricación, el diagrama de instalación, la selección de equipos y accesorios, el diagnóstico de rodamientos de pala y propuesta de un nuevo sistema de lubricación.

II. Antecedentes

En Nicaragua existen cuatro parques eólicos que están ubicados en la ciudad de Rivas los cuales son: **AMAYO**, el primer proyecto de energía renovable operando desde 2009, genera 63 megavatios. Seguidamente **BLUE POWER ENERGY LA FE SAN MARTÍN**, opera desde Julio de 2012 y genera 39,6 megavatios de energía limpia, luego **EOLO NICARAGUA**, el tercer proyecto de energía renovable operando desde diciembre de 2012 generando 44 megavatios y finalmente **ALBA RIVAS** sería el cuarto parque eólico en construirse ubicado de igual manera en el departamento de Rivas generando misma cantidad de 39.6 megavatios.

EOLO NICARAGUA, es un parque eólico con capacidad de producción de 44 MW los cuales son generados a partir de 22 aerogeneradores marca Gamesa modelo G80, la construcción del parque eólico inicio en febrero de 2012 y finalizó en noviembre del mismo año, siendo el primero de diciembre de 2012 la fecha oficial de inicio de operación comercial.

En países centroamericanos como COSTA RICA se ha implementado un sistema de lubricación automático en sus aerogeneradores obteniendo buenos resultados y mejoras en el desempeño, este sistema de lubricación se llevó a cabo en el parque **EÓLICO OROSÍ DE COSTA RICA**, tomando en cuenta estos antecedentes obtenidos **EOLO NICARAGUA** en mejoramiento de la producción energética de sus sistemas pretende aplicar el mismo sistema de lubricación automático.

III. Justificación

Actualmente para las industrias es de gran importancia, los sistemas de mantenimiento confiables y que brinden además de tener disponible la máquina, las herramientas para el mejoramiento continuo. A pesar de que existen modelos de mantenimiento, métodos y estrategias generales de cómo realizar un adecuado mantenimiento, las empresas siguen incurriendo en costos por acciones correctivas y sobre inventarios de repuestos.

Uno de los principales problemas que se detectan en las plantas es la falta de un programa de lubricación adecuado, por lo que es muy probable que se utilice un lubricante sin haber realizado previamente un análisis, solo por recomendaciones del proveedor y además se desconocen adecuadamente los puntos de lubricación, el método y el tipo.

La problemática que presenta el parque eólico Eolo es el método de lubricación en sus aerogeneradores, debido a que solo se lubrica cada 6 meses en el periodo de los mantenimientos programados. Este tiempo destinado en la programación es prudente, pero por causa del diseño del sistema de lubricación de forma manual se presentaban fallas mecánicas como es el desajuste en los grados de inclinación de las palas del aerogenerador.

Por tal motivo, la empresa Eolo es de su interés mejorar el sistema de lubricación de los aerogeneradores en el parque eólico porque reconoce la importancia de un correcto sistema de lubricación en las máquinas debido a que es un factor que puede aumentar o reducir su ciclo de vida.

IV. Objetivos

Objetivos Generales

- Instalar un sistema de lubricación que garantice una óptima lubricación en los rodamientos de pala de aerogeneradores en parque EOLO, situado en la ciudad de Rivas-Nicaragua.

Objetivos Específicos

- Presentar un diagnóstico del rodamiento de pala del aerogenerador con el uso del sistema de lubricación manual mediante instrumentos de recopilación de información.
- Proponer un nuevo sistema de lubricación para la mejora continua de las rutas de lubricación del sistema a implementar.
- Establecer los costos de instalación del sistema de lubricación de pala de aerogeneradores en parque EOLO para la estimación de la inversión por parte de la empresa.
- Verificar la funcionalidad del sistema de lubricación propuesto con los ensayos de boroscopia y análisis de grasa para la indagación del comportamiento del nuevo sistema en los elementos mecánicos.

V. Marco Teórico

5.1. Aerogenerador

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. El rotor de un aerogenerador gira entre 13 y 20 revoluciones por minuto. Según su tecnología, a una velocidad constante o bien a una velocidad variable, donde la velocidad del rotor varía en función de la velocidad del viento para alcanzar una mayor eficiencia. (Acciona, 2020)

Entre los principales generadores se encuentran dos tipos de aerogeneradores, el de tipo eje vertical **VAWT** (por sus siglas en inglés vertical Axis Wind Turbine) y el de tipo de eje horizontal **HAWT** (por sus siglas en inglés Horizontal Axis Wind Turbine). (Structuralia, 2018)

Los **Aerogeneradores de tipo vertical**, son aquellos en los que el eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo. También se denominan VAWT (del inglés, vertical Axis Wind Turbine), presentando los principales modelos a continuación:

- **Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus:** Los inconvenientes principales de este diseño son la necesidad de monitorización debida a que los perfiles aerodinámicos y la simetría de las palas no permiten el autoarranque. Otro inconveniente es la necesidad de utilizar tensores para garantizar la estabilidad estructural de la turbina (Structuralia, 2018).
- **Aerogenerador de eje vertical tipo savonius:** es un dispositivo de conversión de energía eólica que emplea un diseño de eje vertical con

palas curvas en forma de semicírculos para capturar y convertir la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. Este tipo de aerogenerador se caracteriza por su simplicidad de construcción, resistencia a vientos variables y capacidad para operar eficientemente en entornos urbanos o de baja velocidad de viento.

Algunas de las ventajas de los aerogeneradores de eje vertical es que no necesitan sistema de orientación, la fabricación de estos presenta bajos costos, arrancan con bajas velocidades de viento, los componentes están casi al nivel del suelo y su mayor uso es la carga de baterías.

El Aerogenerador de eje horizontal, son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al suelo. Esta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia y confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

Entre las ventajas principalmente se encuentran el rendimiento, ya que es muy alto, otra ventaja es que disponen de caja multiplicadora lo que genera velocidades mayores de giro y por último se pueden instalar a mayor altura, donde la velocidad del viento es más intensa. (Structuralia, 2018)

5.2. Aerogenerador instalado en Eolo, Rivas-Nicaragua modelos G80.

Eolo de Nicaragua cuenta con aerogeneradores GAMESA modelos G80. Es una empresa española especializada en robótica, microelectrónica, medioambiente y energía eólica. Es una de las empresas líder en el sector eólico

en España, tiene muchas patentes sobre todo en la fabricación de las aspas, mucha experiencia y garantías en el mantenimiento, los modelos tienen sistemas de control de ruido, control de sombras y control de estelas. Estos cuentan con:

- **Diseño mecánico:** Tren de potencia con eje principal soportado por dos rodamientos esféricos que transmiten las cargas laterales directamente al bastidor a través de un caballete. Eso evita que la multiplicadora reciba cargas adicionales, con lo que se reducen las posibilidades de averías además de facilitar su servicio. (Turbina eólica G80-2.0MW: Especificaciones técnicas.(Documento interno))
- **Freno:** La empresa Gamesa (2008) menciona que “Freno primario aerodinámico por puesta en bandera de las palas. Adicionalmente freno mecánico de disco hidráulicamente activado de emergencia situado en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora”. (Gamesa, 2008)
- **Protección contra rayos:** Utiliza el sistema “protección total contra rayos”, siguiendo la normativa IEC 610241. Este sistema conduce el rayo desde ambas caras de la punta de la pala hasta la raíz y desde ahí, a través de la nacelle y de la estructura de la torre, hasta el sistema de puesta a tierra de las cimentaciones. De esta forma, se protege la pala y se evita que los elementos eléctricos sensibles resulten dañados. (Gamesa, 2008)
- **Sistema de control:** Según Gamesa (2008) el “Generador doblemente alimentado, controlado en velocidad y potencia mediante convertidores IGBT y control electrónico PWM (modulación por ancho de pulso)”.

- **Sistema de mantenimiento predictivo SMP;** Sistema de mantenimiento predictivo para la detección prematura de posibles deterioros o fallos en los principales componentes del aerogenerador. (Gamesa, 2008)

5.3. Componentes principales de un aerogenerador

A continuación, se presenta la tabla 1 que muestra los principales componentes de un aerogenerador. Estos elementos son esenciales para asegurar el funcionamiento y la eficiencia del aerogenerador.

Tabla 1: Componentes principales de un aerogenerador

| |
|--------------------------|
| 1. Palas |
| 2. Rotor |
| 3. Eje de baja velocidad |
| 4. Caja multiplicadora |
| 5. Góndola |
| 6. Eje de alta velocidad |
| 7. Generador |
| 8. Torre de soporte |
| 9. Transformador |
| 10. Rodamientos de pala |

Fuente: Méndez, N (2018)

5.3.1. Rotor

Es la parte de la máquina que transforma la energía del viento en energía mecánica. Aumentando el diámetro de las palas, se puede aumentar la superficie de captación de viento y la potencia proporcionada por la máquina. La potencia que suministra el viento por unidad de superficie barrida se conoce como intensidad de potencia del viento.

El rotor está constituido por tres elementos: las palas, el buje y el cono las cuales se ensamblan a la góndola. (Méndez, 2018)



Figura 1: Rotor. Fuente: Méndez, N (2018).

5.3.2. Palas.

Las palas deben suelen ser fabricadas con materiales con gran resistencia estructural y a la fatiga para su correcto funcionamiento a lo largo de los 25 años de vida media que se supone a los aerogeneradores, teniendo en cuenta que estarán afectados de inclemencias climáticas, fuerte vientos y en los casos de aerogeneradores offshore (en el mar) a salinidad.

Además, deben ser fácilmente mecanizables para dotarlas de un diseño aerodinámico (al incidir el viento perpendicularmente en ellas, se genera una

fuerza de sustentación que provoca el movimiento) que minimice las cargas sobre el resto de la estructura y capte eficazmente la fuerza del viento.

Los materiales empleados para cumplir todas estas premisas son materiales compuestos de fibra de vidrio y epoxis o poliéster, fibra de carbono etc.

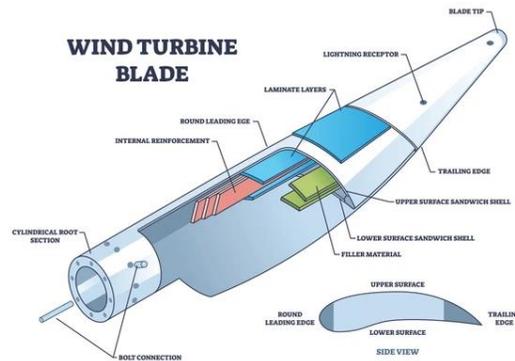


Figura 2: Palas. fuente: Méndez, N (2018)

5.3.3. Góndola

Es el chasis principal del aerogenerador, se sitúa en la parte superior de la torre y en su interior se encuentran los elementos eléctricos y mecánicos necesarios para convertir el giro del rotor en energía eléctrica. Se encuentra unida a la torre por una corona dentada para permitir la orientación del rotor al viento, y rotor y las palas por el eje principal que transmitirá la fuerza del viento al multiplicador y al motor sucesivamente. En su parte exterior lleva instalado un anemómetro y una veleta conectados a los sistemas de control de aerogenerador, y unos respiraderos para garantizar la refrigeración del motor.

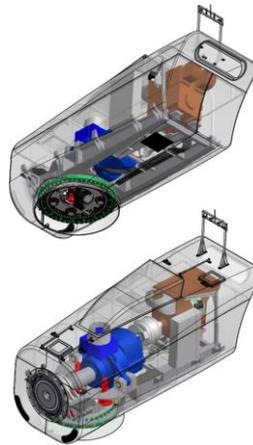


Figura 3: Góndola. Fuente: Méndez, N (2018)

5.3.4. Transformador

La potencia eléctrica a la salida del generador generalmente es de baja tensión y debe convertirse a media tensión a través de un transformador para reducir las pérdidas de transmisión mediante la conexión a la red de distribución de media tensión. El transformador se instala en la góndola o en la base de la torre.



Figura 4: Transformador. Fuente: Méndez, N (2018)

5.3.5. Multiplicadora

El multiplicador es una caja de engranajes que convierte la baja velocidad de giro y alta potencia del eje principal en una velocidad de giro adecuada para el funcionamiento del motor a costa de la potencia. El giro se transmite del multiplicador a el motor mediante el eje secundario, de menor diámetro que el eje principal, de forma similar a como ocurría entre el rotor y la caja de engranajes con el eje principal.

Está constituido por una o varias parejas de engranajes de tipo epicicloide o ejes paralelos.

Su empleo es necesario a medida que crece el diámetro del rotor, pues se deben limitar las r.p.m. del rotor para evitar que las puntas de las palas trabajen a velocidades que comprometen la resistencia de los materiales empleados o induzcan vibraciones perjudiciales.



Figura 5: Multiplicadora. fuente: Méndez, N (2018)

5.3.6. Generador

La función del generador es transformar la energía mecánica procedente del rotor en energía eléctrica. Tradicionalmente, hay tres tipos principales de generadores de turbinas de viento que pueden ser considerados para los diferentes sistemas de turbinas de viento, siendo éstos síncronos o asíncronos, jaula de ardilla o doblemente alimentados, con excitación o con imanes permanentes

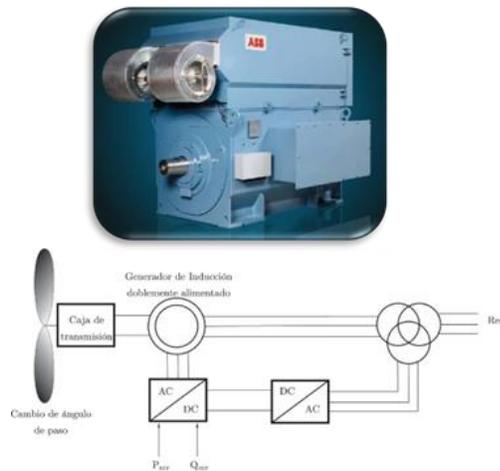


Figura 6: Generador. fuente: Méndez, N (2018)

En principio, todos ellos pueden funcionar a velocidad fija o variable. Debido a la naturaleza fluctuante de la energía eólica, es ventajoso hacer funcionar los generadores de turbina eólica a velocidad variable ya que reduce el estrés físico en las palas de la turbina y la transmisión secundaria, y mejora la eficiencia del sistema aerodinámico.

5.3.7. Torre.

La torre es la estructura que soporta a una determinada altura al mecanismo productor de electricidad del aerogenerador. Al elevar los componentes se consigue un aprovechamiento mayor de la fuerza del viento, pues a una mayor altura sobre el nivel del suelo mayor será su velocidad, y, por lo tanto, también la velocidad de rotación de las palas.

Su diseño suele consistir en un tronco cónico o tubular hueco de acero, en cuyo interior se alojan los equipos accesorios de suelo y se facilita un acceso seguro mediante una escalera a la góndola. (Méndez, 2018)

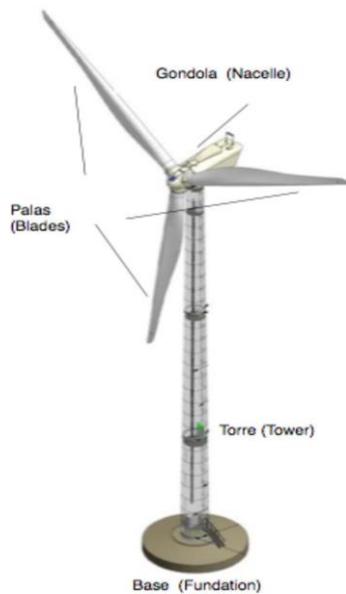


Figura 7: Torre. fuente: Méndez, N (2018)

Pueden ser de celosías o tubulares, estas últimas son las más usadas en el mercado porque no tienen tantos tornillos que tienen que ser revisados periódicamente y su acceso a la góndola es más fácil y son más atractivas visualmente respecto a las de celosía.

5.3.8. Rodamientos de pala

El rodamiento de pala (o rodamiento *pitch*), es un componente de las turbinas eólicas que conectan el eje del rotor y las palas de rotor. El rodamiento permite la oscilación necesaria para controlar las cargas y la potencia de la turbina eólica.

El sistema de rotación es también utilizado para paradas de emergencia del sistema de la turbina. (Méndez, 2018)

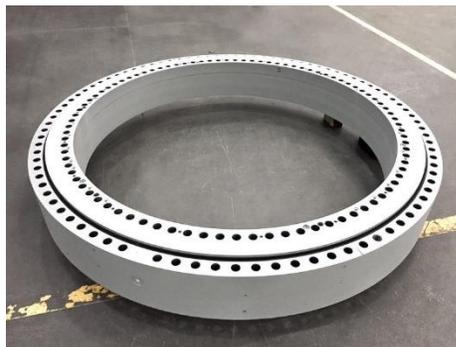


Figura 8: Rodamiento de pala. fuente: Méndez, N (2018)

5.4. Sistemas de lubricación.

Los sistemas de lubricación son equipos especiales cuya función principal es proveer de forma continua o programada sustancias (lubricantes) entre dos o más piezas móviles, a fin de reducir la fricción entre ellas.

5.4.1. Lubricación manual.

La principal función de un lubricante es formar una película que separe los componentes del rodamiento en movimiento, para reducir el desgaste y rozamiento entre los elementos rodantes.

Realizar las tareas de lubricación manual puedan ser complejas e incómodas y suelen requerir la parada del equipo. La lubricación manual de puntos de lubricación de difícil acceso también puede aumentar la posibilidad de accidentes de trabajo.

No lubricar periódicamente cada punto de lubricación puede tener un efecto negativo en la confiabilidad de los equipos, la programación de la producción y la eficiencia del mantenimiento.

5.4.2. Sistemas de lubricación automática.

Los sistemas de lubricación automática centralizada son una forma eficaz de aumentar la disponibilidad de las máquinas y reducir la dependencia del talento escaso. Estos sistemas suministran la cantidad de lubricación adecuada con la frecuencia correcta, minimizan la fricción y el desgaste, y optimizan la vida útil de los rodamientos y la maquinaria. Diseñados para lubricar máquinas individuales o

plantas enteras, los sistemas de lubricación automática permiten una reposición de lubricante correcta y precisa en todos los puntos requeridos, que ofrece una serie de beneficios en el proceso. (SkF, s.f)

Existen varios tipos de sistemas entre los cuales se encuentran:

5.4.2.1 Sistema de línea Simple

Una de las características de los sistemas línea simple es que el lubricante se traslada por presión a los distintos distribuidores de lubricantes a través de un conducto principal y, desde allí, se dosifica en los puntos de distribución.

Los lubricantes apropiados para el sistema de línea simple pueden ser aceites y grasas del tipo National Lubricating Grease Institute (NLGI) 000 y 00, que pueden aplicar la cantidad óptima de lubricante de manera simultánea en hasta 100 puntos de lubricación a través de uno o más distribuidores de lubricante o, por fuerza elástica, en el distribuidor de re lubricación. En este rango de presión en el sistema de lubricación de línea simple se utilizan principalmente armazones para uniones roscadas de tubos sin soldadura (anillo cónico doble o simple).

Los sistemas de lubricación centralizada en el sistema de lubricación de línea simple son especialmente idóneos para entornos rugosos. Un sistema de lubricación de línea simple puede, dependiendo del tamaño de la bomba utilizada, suministrar lubricante a sistemas pequeños, medianos o grandes. (SkF, s.f)

Ventajas del sistema

- Planificación simple del sistema
- Fácilmente ampliable
- Fáciles de instalar, mantener y de fácil comprensión
- Capaces de bombear lubricantes a largas distancias.

Desventajas

- Limitación en cuanto a puntos de engrase

5.4.2.2 Sistema automático progresivo

Es un sistema de lubricación con distribuidores progresivos, los puntos de lubricación individuales se abastecen uno a continuación de otro y en un orden fijo. Un distribuidor progresivo, así como un distribuidor de lubricante, abastece de lubricante a puntos de lubricación en un orden progresivo.

El llamado tiempo de ciclo de lubricación en un sistema progresivo es idéntico al tiempo de funcionamiento de la bomba y está limitado al hecho de que la cantidad de lubricante prevista se transporta a todos los puntos de lubricación del sistema al menos una vez. Durante el tiempo de pausa se produce una despresurización en los conductos principales y secundarios.

El distribuidor de lubricante de un sistema progresivo consta de elementos de distribución progresiva y elementos de conducción. Es posible que todos los elementos constructivos estén agrupados en un único componente.

Este sistema de lubricación centralizada es idóneo para grasas de clase NLGI 2 o aceites y puede abastecer a más de 100 puntos de lubricación.

La distribución progresiva del lubricante comienza automáticamente tras un recorrido del distribuidor de bloque o segmento hasta el primer punto de lubricación. Una ventaja clara de los sistemas progresivos son los costes de inversión relativamente bajos. Esto se debe a que sólo se necesitan un conducto principal, una bomba sencilla y un distribuidor. (SkF, s.f)

Ventajas del sistema

- Sistema versátil de amplia implantación
- Monitorización centralizada del funcionamiento de todos los distribuidores
- Simple diseño en bloque
- Dosificación exacta de lubricante
- Alta presión de funcionamiento
- Bajos costos de instalación

Desventajas.

- Limitación en cuanto a distancia en puntos de engrase

5.4.2.3 Sistema de línea doble

La distribución de lubricante en un sistema de línea doble se lleva a cabo bajo presión a través de una válvula de inversión a lo largo de dos conductos principales que atraviesan toda la técnica de lubricación.

Durante el "tiempo de pausa" de uno de los conductos se produce una descarga mientras el otro conducto está activo. Puede realizarse un entrecruzamiento o una conexión directa de procesos en ambos conductos principales. El distribuidor de lubricante puede consistir en una varilla de distribución y uno o varios elementos del distribuidor de línea doble.

Todos los elementos constructivos de un sistema de línea doble también pueden agruparse en un único componente. En estos dos conductos principales, los distribuidores de lubricante están integrados y se activan alternativamente por presurización y despresurización de los conductos de presión a través del lubricante. En un sistema de línea doble, el cambio de presión se controla a través de una inversión entre la bomba y el distribuidor de lubricante. (SkF, s.f)

Un sistema de línea doble es idóneo en la técnica de lubricación centralizada para altas presiones, varios puntos de lubricación y grandes longitudes de conductos. El sistema de línea doble se utiliza, por ejemplo, cuando los puntos de lubricación están muy alejados el uno del otro. Pueden encontrarse variantes de sistemas de lubricación como el sistema de línea doble, por ejemplo, en laminadoras. En sistemas industriales de gran tamaño, el sistema de línea doble es una solución muy común en cuanto a sistemas de lubricación.

Ventajas del sistema.

- Elevada seguridad de trabajo gracias a la medida de la diferencia de presión al final de las líneas
- Fácil supervisión

- Tamaño del sistema con posibilidad de más de 1000 puntos de lubricación dentro del rango de 100m alrededor de la bomba
- Seguridad de operación en los puntos de lubricación gracias a que la presión máxima del sistema es 400 bares.

Desventajas

- Muy costoso.

5.5. Mantenimiento de aerogeneradores.

En un parque eólico se llevan a cabo tres tipos de mantenimiento, los cuales son: El mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. A continuación, se detallan cada uno de ellos:

5.5.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es planificado y se efectúa para evitar fallas mayores y costosas que puedan dejar inhabilitada una máquina por mucho tiempo. Básicamente consta del reemplazo de piezas a un intervalo de tiempo determinado por el fabricante o por el uso del equipo, como por ejemplo reemplazo de filtros, reemplazo de aceites, reemplazo de zapatas del freno mecánico y reemplazo de sellos, estos componentes tienen una vida útil mucho más corta que la vida proyectada para el aerogenerador, además debemos efectuar otras actividades preventivas como calibración y ajuste de sensores y limpieza de las palas, entre otras. (Méndez, 2018)

Las actividades específicas y los intervalos para realizarlas se dan en los manuales del fabricante del aerogenerador. Los costos de cada mantenimiento dependen del tipo de consumibles utilizados en cada mantenimiento y varían dependiendo del costo de mano de obra y accesibilidad al aerogenerador.

5.5.2. Mantenimiento predictivo o Basado en condiciones

Conocido también como CBM por sus siglas en inglés Condition Based Maintenance es el mantenimiento basado en las condiciones significativas de la máquina, como, por ejemplo, la temperatura y condición del aceite en la multiplicadora o los niveles de vibraciones en los rodamientos del eje principal y rodamientos del generador. (Méndez, 2018)

La filosofía de este mantenimiento es identificar síntomas de mal funcionamiento brindando un margen de tiempo para poder intervenir el equipo antes de que se presente una falla catastrófica.

Para conocer los valores de los parámetros significativos de la máquina se recolectan valores reales ya sea manualmente cada día, semana, quincena, mes, etc. o continuamente por medio de sensores que permanecen tomando los parámetros continuamente. Los objetivos que se persiguen con este tipo de mantenimiento son el diagnóstico de las causas de aparición de los síntomas del mal funcionamiento, evaluando el riesgo de fallo y predecir el momento en que pueden presentarse, así como también proceder a la revisión exhaustiva del equipo, de tal manera reducir el tiempo de indisponibilidad de el mismo.

5.5.3. Gama de mantenimiento semestral de los aerogeneradores GAMESA.

La siguiente tabla 2 detalla las principales actividades de mantenimiento preventivo de un aerogenerador. El mantenimiento preventivo asegura que el aerogenerador opere de manera eficiente y segura, evitando interrupciones no programadas en su operación.

Tabla 2: Gama de mantenimiento semestral de los aerogeneradores GAMESA

| Componentes del generador | Actividades de mantenimiento |
|---------------------------------------|---|
| Núcleo del rotor. | Detección de fisuras. |
| | Revisión del torque de apriete de los pernos. |
| | Chequeos de soldaduras. |
| Frenos. | Verificación del torque de apriete de los pernos. |
| | Revisar pinzas y pastillas de frenos. |
| | Revisar el disco de frenos. |
| | Purgado del circuito hidráulico del freno (si es necesario) |
| Cilindros del sistema de paso. | Lubricar anillos guías de alojamiento del eje de orientación de pala. |
| | Lubricar rodamientos del eje de orientación de pala. |
| | Lubricar soporte de cilindros hidráulicos. |
| | Revisión del torque de apriete de los pernos. |
| | Revisión de cojinetes de soportes de cilindros. |
| | Revisión por fugas de aceite hidráulico. |

| | |
|---|--|
| Palas del rotor. | Inspección visual de palas. |
| | Detección de fisuras y grietas. |
| | Inspección de raíz de pala. |
| Eje de alta velocidad. | Lubricación general. |
| | Revisión del eje de transmisión. |
| Generador. | Lubricación general. |
| | Reapriete de bornes del generador. |
| | Revisión de los amortiguadores del generador. |
| | Revisión de los rodamientos. |
| Eje principal. | Lubricar sistema de bloqueo del eje. |
| | Lubricar rodamientos del eje principal. |
| | Revisar el torque de apriete de los pernos. |
| Sistema hidráulico. | Revisión de niveles y fugas. |
| | Reemplazo del filtro de alta presión. |
| | Revisión de presiones en todo el circuito. |
| | Revisión de fugas de aceite. |
| Caja multiplicadora. | Lubricación general. |
| | Revisión de fugas por aceite. |
| | Pruebas de aceite. |
| | Verificación de torque de apriete. |
| | Comprobación de holgura y rozamiento, |
| Eje principal de baja. | Lubricación de los cojinetes. |
| | Revisión de los rodamientos. |
| | Verificación del par de apriete de pernos de sujeción del rotor. |
| Torre. | Revisión general. |
| | Verificación del par de apriete de pernos de unión |
| | Lubricación completa de los rodamientos y dientes. |
| Sistema del rodamiento de guiñada. | Verificación del par de apriete de los pernos. |
| | Revisión de los rodamientos de deslizamiento. |

| | |
|-----------------------------|---|
| | Control del material. |
| Inspecciones varias. | Inspecciones de cables (bridas, etc.) |
| | Inspección de veletas y anemómetro. |
| | Revisión de circuitos de emergencias (sensores, etc.) |
| | Revisión del estado de los condensadores. |
| | Revisión de las baterías del autómata. |
| Góndola. | Verificación del par de apriete de los pernos. |
| | Revisión de soldadura. |
| | Revisión de carcasa. |
| | Control del material. |

Fuente tabla 2: Méndez, N (2018)

Cabe destacar, las técnicas para conocer los parámetros y diagnosticar una falla inminente o prematura son muchas por lo que para detectar un fallo en el equipo pueden complementarse entre ellas, las más utilizadas en aerogeneradores son:

- Inspección visual.
- Termografía.
- Endoscopia.
- Análisis de aceite.

A continuación, se describen cada uno de los parámetros:

5.5.3.1 Inspección visual

Es una inspección visual de todo el aerogenerador para comprobar el estado de los componentes, en la Tabla 3 se detallan algunas de las tareas de inspección visual que pueden efectuarse en un aerogenerador, de igual manera, éstas pueden variar dependiendo del tipo de aerogenerador. (Méndez, 2018)

Tabla 3: Revisiones trimestrales y semestrales

| Componentes del aerogenerador | Actividades de mantenimiento |
|--------------------------------------|--|
| Cimentaciones y torre. | Tornillos de sujeción de la base sueltos o flojos. |
| Frenos. | Desgaste anormal. |
| | Sobrecalentamiento. |
| Palas del rotor | Decoloraciones, rugosidades. |
| | Fisuras, grietas, desgaste, superficial en borde de ataque. |
| | Fisuras en el Hub. |
| | Tornillos de sujeción flojos o sueltos. |
| | Retenes y engrases de rodamientos de pala. |
| Sistema hidráulico. | Fugas de aceite |
| | Nivel de aceite adecuado. |
| Caja multiplicadora. | Grietas o fisuras en bastidor de soporte de la caja. |
| | Daños superficiales, grietas o fisuras en carcasa de la caja multiplicadora. |
| Eje principal de baja y bastidor. | Grietas o deformaciones en el eje. |
| | Estado de soldadura del bastidor. |
| | Tornillos de sujeción sueltos o flojos. |

Fuente tabla 3: Méndez, N (2018)

5.5.3.2 Inspección termográfica.

Una cámara termográfica registra la intensidad de la radiación en la zona infrarroja del espectro electromagnético y la convierte en una imagen visible. En los aerogeneradores las cámaras termográficas se utilizan para diagnosticar y detectar:

- Desgaste en cojinetes, ejes, engranes y frenos.
- Calentamiento en componentes eléctricos como transformadores, conectores, controladores, motores de guiñada y de control de paso, etc.

La termografía de infrarrojos es el arte de transformar una imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica que permita leer los valores de temperatura. Por tanto, cada píxel de la imagen radiométrica es, de hecho, una medición de temperatura. (Méndez, 2018)

Esto hace la cámara termográfica una herramienta perfecta para el mantenimiento predictivo. La Fig. 9. muestra la inspección termográfica del interior de una turbina eólica por medio de una cámara de la marca FLIR.

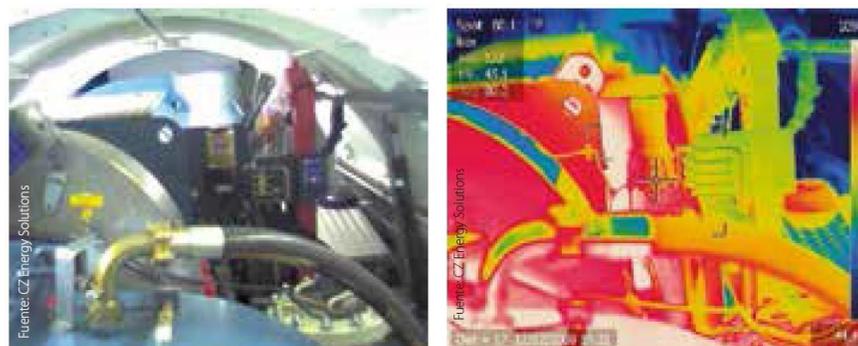


Figura 9: Inspección termográfica del interior de una turbina eólica. fuente: Méndez, N (2018)

5.5.3.3 Inspección Boroscópica.

Es una técnica utilizada para visualizar componentes internos inaccesibles al ojo humano, se utiliza principalmente para determinar daños en los componentes internos de las cajas multiplicadoras como los dientes de engranes. (Méndez, 2018)

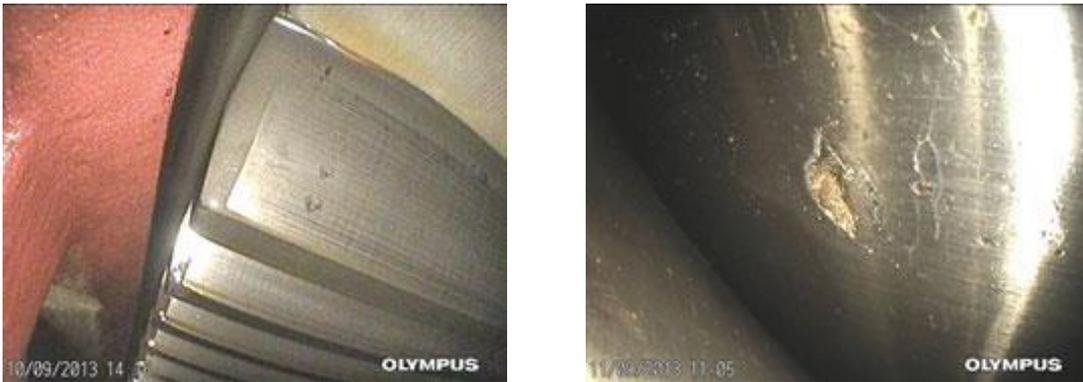


Figura 10: Inspección boroscópica. fuente: Méndez, N (2018)

El equipo utilizado para realizar una Boroscopia se muestra en la Fig.11 y consta de:

- **Lente:** Encargada de captar las imágenes.
- **Sonda:** Transmite la imagen captada hasta la unidad de procesamiento.
- **Unidad de almacenamiento:** Almacena las imágenes o videos captados por la lente.
- **Fuente de luz:** Aporta luz para poder visualizar detalles en lugares totalmente oscuros.



Figura 11: Equipo de endoscopia de la marca Olympus. fuente: Méndez, N (2018)

Antes de realizar una endoscopia en una caja multiplicadora es necesario recopilar mucha información con el objeto de determinar con mayor certeza la condición operacional de esta. Dicha información podemos resumirla en la siguiente:

Primeramente, se debe de detallar un procedimiento a seguir:

- Al encontrarse en la góndola, efectuar una inspección visual para verificar si existen fugas de aceite, olores raros como desgaste excesivo de fricciones de frenos, aceite derramado y palpar los diferentes componentes que se encuentran en la góndola para determinar si se encuentran trabajando a altas temperaturas.
- Tomar una muestra para análisis del aceite de la caja multiplicadora.
- Tomar lectura de vibraciones en diversos puntos de la caja multiplicadora, en los cojinetes del eje de baja y cojinetes del generador. Tomar las lecturas cuando la turbina se encuentre trabajando a la velocidad de trabajo y no en bajas ni altas

velocidades del viento o durante ráfagas de viento. El rango de velocidades más favorable es entre 4.0 a 6.0 m/s.

5.5.3.4 Análisis periódico de aceites

Esta es una técnica que consiste en recolectar muestras de aceite de las máquinas o equipos para evaluar tres cosas fundamentalmente:

- **La degradación del aceite:** Es el proceso por el que se va reduciendo la capacidad del aceite de cumplir las funciones para las que ha sido diseñado que son limpiar, lubricar, sellar y refrigerar. Dicho proceso es originado por la alteración de las propiedades físicas y químicas del aceite. El nivel de degradación depende de factores tales como las velocidades y cargas a que están sometidos los engranes y rodamientos, la calidad del aceite, el tiempo de uso del aceite y de la severidad del servicio. Los principales indicadores de la degradación del aceite son la viscosidad y el número de acidez del aceite TAN por sus siglas en inglés (Total Acid Number).
- **Cuantificar la contaminación presente en el aceite:** Se efectúa determinando la cantidad de agua presente en el aceite, la cual proviene de la condensación proveniente de las bajas temperaturas, de partículas de agua que circulan en el aire las cuales pueden entrar a través del respiradero de la caja multiplicadora si éste no es del tipo desecante, además el agua puede llegar al aceite por malas prácticas de manipulación del aceite y durante las actividades de mantenimiento. El contenido de agua en el aceite puede

determinarse en campo rápidamente por el método de crepitación el cual consiste en calentar en una plancha caliente una muestra de aceite y determinar de manera apreciativa la cantidad de agua basado en el chisporroteo del aceite al ser calentado a una temperatura menor a 160°C, este método es apreciativo y no es muy preciso por lo que solo podemos utilizarlo para cuantificar si existe mucho contenido de agua en el aceite. Otros métodos más precisos son la medición de la constante dieléctrica del aceite y la espectrometría.

➤ **Identificar y cuantificar las partículas de desgaste en el aceite**

usado: Las partículas de desgaste que circulan con el aceite producto de la fricción de los dientes de los engranajes, de las bolas de rodadura contra las pistas de los rodamientos o de la acción reciproca de actuadores y válvulas oleo hidráulicas debe en primer lugar cualificarse para determinar qué tipo de materiales son y en segundo lugar la cantidad de cada uno de ellos presentes en el aceite al momento de tomar las muestras del aceite. Hoy en día se utiliza la técnica de la espectrometría de una muestra de aceite.

5.5.4. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento se realiza cuando ya se ha producido una falla en el aerogenerador y queda indisponible para generar, por lo tanto, debe intervenir de emergencia siendo este un paro no programado. El tiempo invertido en la reparación del equipo consta del tiempo en detectar la falla más el

tiempo en localizarla físicamente más el tiempo de reparación de la misma.
(Méndez, 2018)

Es importante mencionar que, si se tiene un mantenimiento preventivo y predictivo adecuados, la probabilidad de que se produzcan fallas súbitas en el aerogenerador se reducen enormemente, sin embargo, siempre existe el factor medioambiental, rayos por tormentas eléctricas, temperaturas extremas, ráfagas de viento impredecibles, etc. que contribuyen a provocar fallas indeseables. Posterior a una indisponibilidad, es necesario llevar a cabo un análisis de causa-raíz el cual es de utilidad para poder eliminar el origen de la falla para que a futuro no se produzca más.

Los pasos a seguir para dicho análisis se detallan a continuación:

- Una vez se dio la falla y la máquina es indisponible es necesario efectuar un informe de falla, esto quiere decir, detallar por qué se indispuso la máquina, las alarmas que generó antes de fallar, si es que las hay, y cuáles fueron las acciones correctivas inmediatas que se tomaron para darla por disponible ante el ente regulador del sistema eléctrico.
- Registrar la falla y las acciones correctivas tomadas para que quede un historial de fallas y las acciones que se tomaron para corregirlas, esto puede ser de ayuda como una fuente de consulta para futuros eventos de falla.
- Recopilar información sobre la falla. Buscar y analizar la información de operación de la máquina antes de la falla, analizar datos de

temperaturas, niveles de vibración de los componentes que han fallado (si es posible), revisar las condiciones medioambientales que se tenían al momento de la falla y toda la información que contribuya a estudiar y determinar el origen de la falla.

- Desarrollar un diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa. Esta es una representación gráfica de los efectos o las características de calidad que necesitamos mejorar y las causas o factores que la influyen. Para construir un diagrama causa-efecto se deberá definir la característica y el efecto que se desea estudiar, posterior identificar las causas que ocasionan que dicha característica de calidad se vea alterada.

La Fig.12 detalla el diagrama de Ishikawa, para analizar la falla del rodamiento del paso de la pala de un aerogenerador el cual se tomó del documento monográfico, “Propuesta de optimización del mantenimiento de aerogeneradores usando tecnología basada en el monitoreo de la salud estructural” (Méndez, 2018)

Este diagrama es una herramienta visual que tiene un formato gráfico y su principal función es ayudar en los análisis para encontrar la causa de un problema en su raíz.

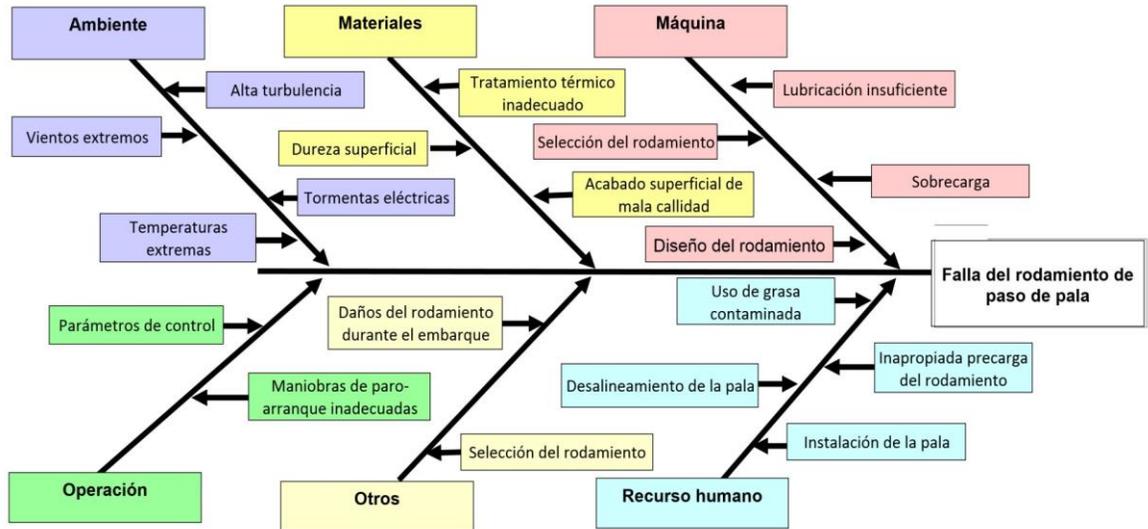


Figura 12: Diagrama de Ishikawa para analizar la falla de los rodamientos. fuente: Méndez, N (2018).

A manera general, cuando efectuamos un mantenimiento correctivo en un aerogenerador vamos a agruparlo en dos grandes grupos: **Pequeños correctivos y Grandes correctivos.**

5.5.4.1 Pequeño correctivo.

Este tipo de mantenimiento considera pequeñas fallas y/o reemplazo de pequeños componentes los cuales no requieren mucho tiempo para su detección y reparación, generalmente se solucionan en menos de 24 horas, producen bajas

pérdidas de producción, pero pueden volverse repetitivas. Además, para llevar a cabo un pequeño correctivo no se precisan medios auxiliares de elevación y transporte adicionales más que los encontrados en el parque eólico. (Méndez, 2018)

Ante cualquier falla que se genere es importante mantener un stock de repuestos necesarios para poder solventarla, generalmente los fabricantes de cada uno de los componentes del aerogenerador brindan un listado de piezas de repuestos que es necesario tener en taller para dichas reparaciones.

5.5.4.2 Grandes correctivos.

Los trabajos considerados por los grandes correctivos requieren mayor tiempo de indisponibilidad de la máquina, una programación muy detallada ya que es necesario recurrir a personal técnico calificado por parte del fabricante y considerar el factor climatológico ya que es necesario basarse en predicciones del viento para definir el tiempo de indisponibilidad de la máquina. Se necesitan grúas de gran tonelaje y equipo especial para transporte e izaje de los componentes y, en algunas ocasiones, puede hacer intervenir a la aseguradora. (Méndez, 2018)

Las actividades consideradas por el gran correctivo son entre otras:

- Reemplazo de palas y/o del rotor.
- Averías diversas en las palas (grietas y fisuras estructurales o impactos por rayos eléctricos).
- Fisuras en el eje principal de baja.
- Fallos en el (los) rodamiento (s) principal (es) del eje de baja.

- Fallos en la multiplicadora, que es el principal elemento y la principal preocupación de los responsables del mantenimiento de un parque eólico.
- Reemplazo del generador, daños o defectos en el aislamiento.
- Reemplazo del transformador, sobrecalentamiento, falta de aislamiento.
- Reemplazo de la caja multiplicadora.
- Reemplazo de corona del sistema de orientación.
- Reemplazo de la góndola.
- Reemplazo de un tramo de torre.

Para aplicaciones de aerogeneradores instalados en tierra, las fallas menores (que representan alrededor del 75% del número total) son responsables de solo el 5% del tiempo inactividad, mientras que las fallas importantes (que representan el 25% de las fallas) son responsables del 95% del tiempo de inactividad. (Méndez, 2018)

VI. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de los cuatro objetivos específicos establecidos para la monografía sobre el mejoramiento del sistema de lubricación de los rodamientos de pala. A continuación, se detallan los hallazgos correspondientes a cada uno de los objetivos.

6.1. Diagnóstico de los rodamientos de pala del Aerogenerador empleándose sistema de lubricación manual

En esta etapa para realizar un diagnóstico lo más preciso posible de las diferentes fallas que pueden presentarse en rodamientos teniendo en uso el sistema de lubricación manual, se realizó una recopilación de información de datos al personal técnico tales como la frecuencia de daño en componentes, desgaste de piezas, roturas, si la lubricación es adecuada con el fin de poder analizar los posibles efectos (problemas) y sus causas que pueden llegar a presentarse.

Tomando en cuenta los datos recopilados, adicionalmente se realizó un análisis para poder procesar la información mediante una lluvia de ideas lo cual nos permitió construir un Árbol de causa-efecto y poder demostrar posibles soluciones que se adecuen a las necesidades requeridas.

6.1.1. Árbol de Causa- efecto

En el árbol causa - efecto se expone una problemática principal, la cual es el aumento de paros por fallas en los rodamientos que ocurren en el sistema de lubricación manual.

En la parte inferior del árbol se pueden observar una serie de causas las cuales producen una serie de efectos que podemos observar en parte superior del mismo.

Se debe tomar en cuenta los siguientes criterios que son la mano de obra, riesgos laborales, materiales, métodos, maquinaria y medio ambiente.

En la mano de obra se debe tener en cuenta lo que son los costos y el tiempo de reparación del equipo o maquinaria, lo que con lleva a un paro y disminuye el tiempo de producción, el riesgo que puede ser causado por el espacio o el lugar reducido puede ocasionar un accidente laboral como también es necesario cuidar el medio ambiente, ya que mucho desperdicio de grasa o aceite lubricante puede generar un riesgo al empleador.

Otra parte a tener en cuenta son con los materiales a trabajar por ejemplo una inadecuada lubricación puede causar daños en los rodamientos incluso en las piezas mecánicas del equipo todo esto lleva a un aumento de paro por fallas.

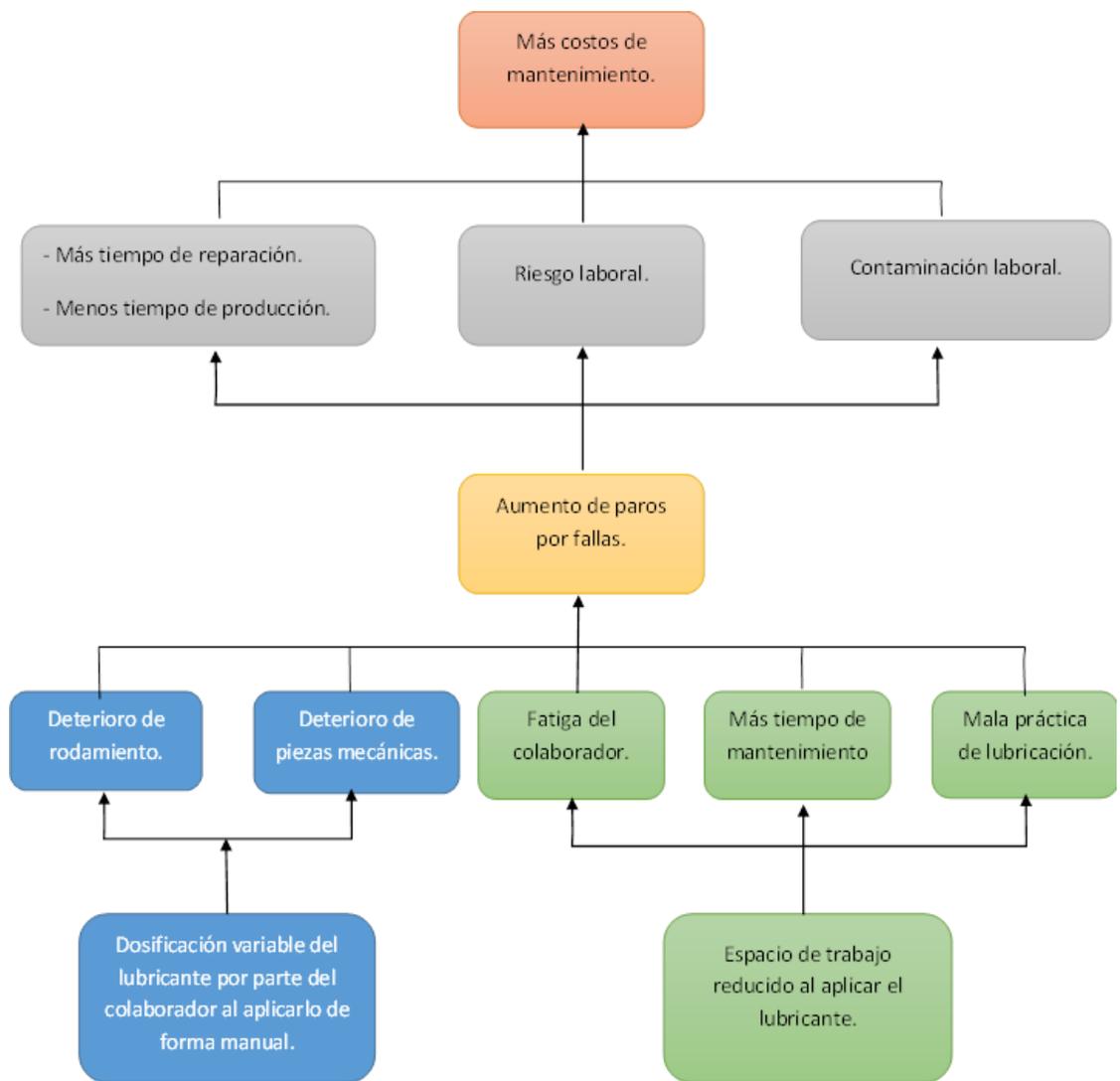


Figura 13: Árbol causa-efecto. fuente: propia

Este Árbol de causa-efecto (fig. 13) identifica diversas áreas que pueden afectar la lubricación manual de los rodamientos de pala del aerogenerador.

Una dosificación variable del lubricante conlleva al deterioro del rodamiento y deterioro de piezas mecánicas. También lubricar de forma manual los rodamientos de pala lleva más tiempo de mantenimiento, fatiga del colaborador ya que se trabaja en un espacio reducido y esto llevara a una mala lubricación.

Lo cual producirá aumentos por fallas y paradas por mantenimiento del aerogenerador, todo esto conlleva a más tiempo de reparación, menos tiempo de producción, más contaminación ambiental, más costos de mantenimiento.

Al abordar estas causas potenciales, se puede mejorar significativamente la eficacia y la durabilidad de la lubricación, lo que contribuirá a un mejor rendimiento y una vida útil más larga de los rodamientos.

6.1.2. Árbol de objetivos.

En el árbol de objetivo se observa el análisis de una buena dosificación eficiente de lubricación en los rodamientos ayudará a mejorar al equipo a un mayor rendimiento, evitando los daños de las piezas mecánicas, disminución de la fatiga del colaborador y aumentando el tiempo máximo y vida útil en rodamientos.

Por consiguiente, crecerá la productividad de la maquina incrementando la producción al evitarse posibles fallas, siempre y cuando se hagan sus respectivos mantenimientos adecuado en tiempo y forma, ya que si existe una gran cantidad

de grasa o una mínima lubricación en el sistema esto genera aumento del desgaste a causa de la fricción.

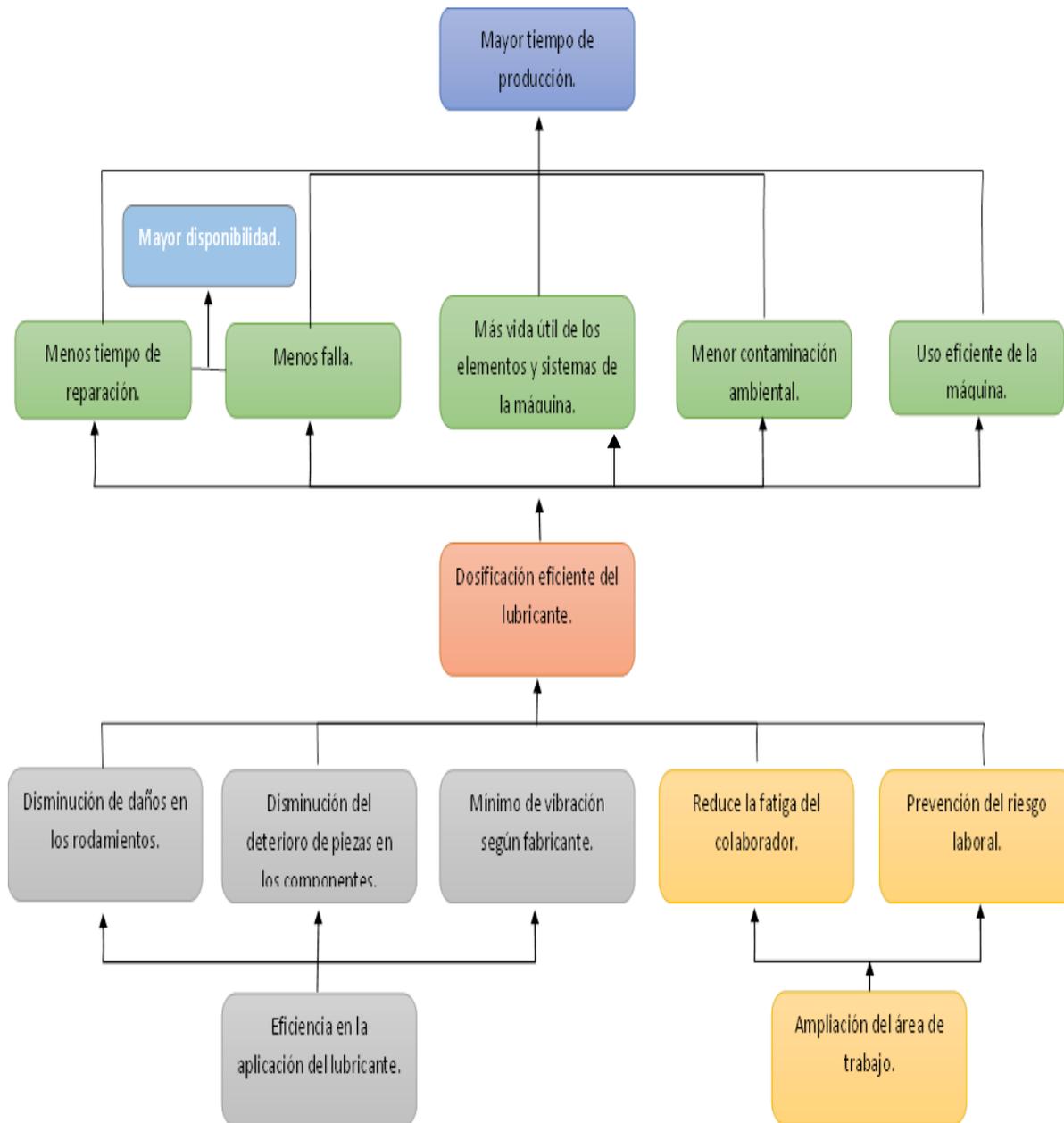


Figura 14: Árbol de objetivos. fuente: Propio

La figura 14 del árbol se construye con acciones positivas, analizándose que una buena eficiencia en la aplicación del lubricante conllevará a disminuir los daños en los rodamientos por fricciones, fatiga, esfuerzos mecánicos, también disminuirá el deterioro de piezas en los componentes, reducirá las vibraciones de la turbina.

Una dosificación eficiente conllevará menos tiempo de parada, menos fallas, más vida útil de los rodamientos de pala, menor contaminación de la máquina y un uso eficiente de la turbina por lo cual habrá mayor disponibilidad y mayor tiempo de producción del aerogenerador.

Al seguir estos objetivos (fig. 15), se puede establecer un proceso para diagnosticar y abordar los problemas de la lubricación manual en los rodamientos de pala, lo que contribuirá a mejorar su rendimiento y prolongar su vida útil.

6.1.3 Árbol de solución.

El árbol de solución (fig. 15) es el resultado del análisis de los diagramas anteriores, lo cual evidentemente pretende tomar la mejor vía para solucionar las diferentes problemáticas detectadas incluyendo la más importante que es la raíz.

La mejor opción para disminuir o evitar lo antes mencionado en el árbol es tener una buena dosificación eficiente de lubricación, lo cual ayudará a reducir lo que es la fatiga en el colaborador, desgaste en las piezas mecánicas, la fricción y daños en los rodamientos. Así mismo disminuir y dar menos fallas posibles en el equipo, cumpliendo la finalidad en maximizar la durabilidad de la máquina, todo esto se podrá alcanzar con un nuevo sistema de lubricación.

Otro punto importante que beneficia la implementación de una buena dosificación es disminuir la contaminación del medio ambiente.

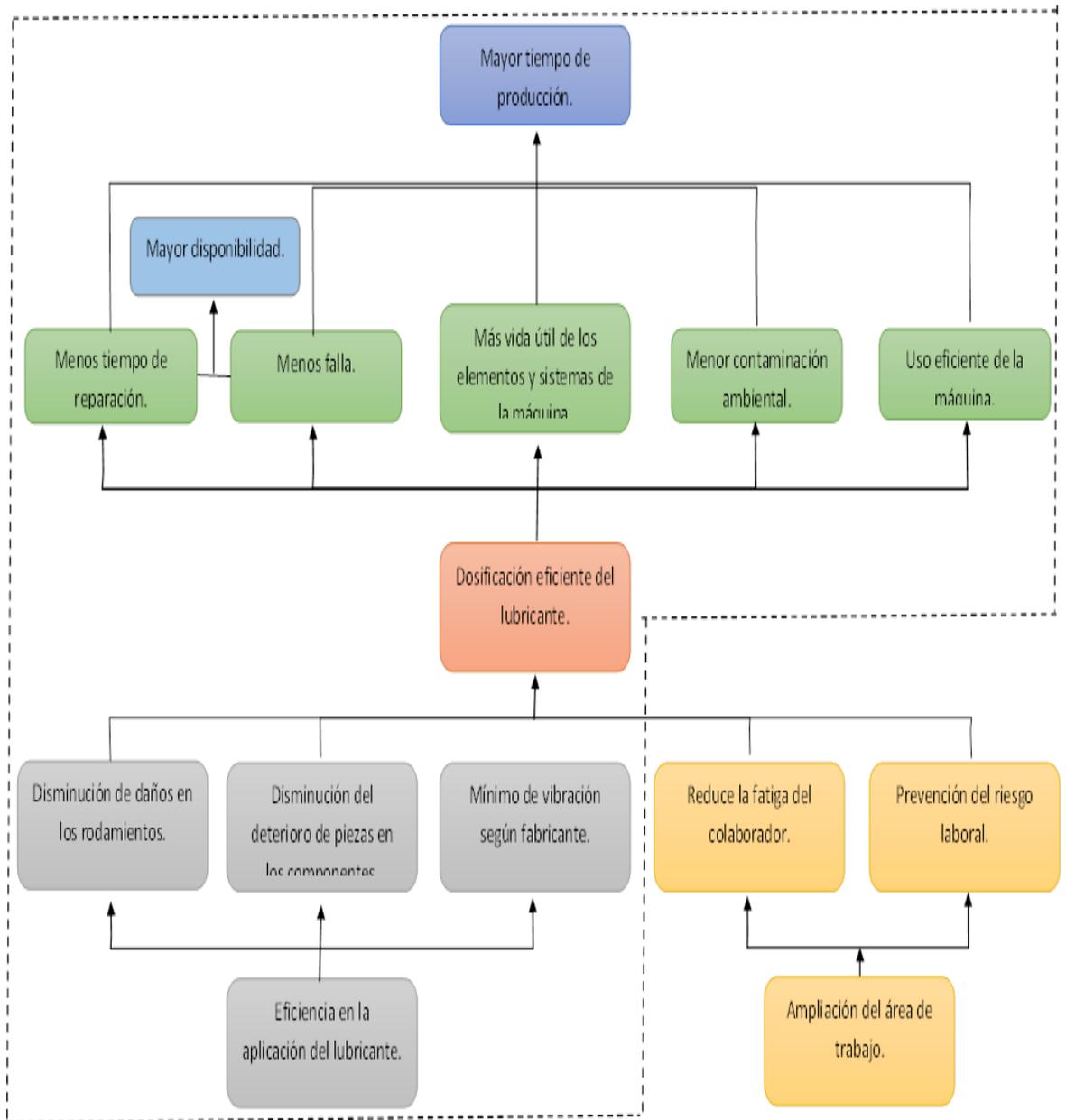


Figura 15: Árbol de solución. fuente: propia

Lo que está encerrado en puntiagudo es la mejor solución por que garantiza una dosificación eficiente del lubricante, un factor clave para el buen funcionamiento y mantenimiento de los rodamientos. Al dosificar el lubricante de manera precisa se evita la sobre lubricación como la falta de lubricación, lo que ayuda a prevenir el desgaste prematuro y posibles daños.

Esta solución también prolonga la vida útil de los rodamientos, ya que reciben la cantidad exacta del lubricante que necesitan para operar correctamente, minimizando el deterioro. Además, mejora la disponibilidad y productividad del aerogenerador al reducir los tiempos de inactividad.

6.2. Propuesta de mejora de lubricación de los rodamientos de pala.

En esta fase se buscó información y se indagó sobre los tipos de sistema de lubricación, su funcionamiento y aplicaciones en las industrias para seleccionar el más adecuado y poder mejorar el sistema de lubricación actual (manual) a uno de lubricación automático en los rodamientos de pala.

El objetivo de proponer un nuevo sistema de lubricación en los rodamientos de pala de turbinas eólicas es mejorar la vida útil y la eficiencia operativa de estas turbinas. Los rodamientos de pala son componentes críticos que enfrentan condiciones extremas de carga y velocidad, lo que los hace propensos al desgaste y la falla prematura si no se lubrican adecuadamente. Al proponer un nuevo sistema de lubricación, se busca aumentar la vida útil de los rodamientos, reducir los costos de mantenimiento y minimizar el riesgo de paradas no programadas. Además, un sistema de lubricación mejorado podría contribuir a la optimización del rendimiento de la turbina, aumentando su producción de energía y su rentabilidad a largo plazo. Este objetivo es relevante en el contexto de la industria eólica, donde la confiabilidad y la disponibilidad de las turbinas son fundamentales para el éxito operativo y financiero de los proyectos.

Existen varios tipos de sistemas de lubricación dentro de los cuales se encuentra: el sistema de lubricación de línea simple, sistema de línea doble y sistema progresivo. En la actualidad los aerogeneradores, utilizan fundamentalmente dos sistemas de lubricación por grasa: el sistema progresivo y el sistema de línea simple.

Para la lubricación de los rodamientos de pala es necesario que se incorpore un plato seguidor en la bomba del sistema progresivo. El plato seguidor es imprescindible, ya que la bomba gira junto con las palas y debe ser capaz de suministrar lubricantes en todas las posiciones, incluso cuando la bomba esta boca abajo, por lo cual el de línea de línea simple no cuenta con este componente en la bomba por lo que se dificulta lubricar en todas las posiciones.

Por eso se opta por instalar un **sistema de lubricación automático progresivo**, ya que es el único que tiene incorporado un plato seguidor en la bomba con el propósito de lubricar en todas las posiciones de los rodamientos de pala, este es un sistema versátil y fácil de monitorear, tiene un costo de instalación económico respecto a los otros y libre de mantenimiento, va de la mano con el tipo de grasa que se utiliza que es una grasa de grado NLG2 semifluida.

Las características que posee el lubricante Gleitmo 585k (NLG2) son:

- Rango de temperatura de -45 a 130 grados Celsius
- Protección contra el desgaste
- Prevención de la corrosión por fricción
- Protección contra la corrosión
- Largos intervalos de lubricación
- Resistencia al envejecimiento
- Operación fiable en condiciones extremas

6.2.1. Descripción del sistema de lubricación automático progresivo.

Este sistema consta de una unidad de bombeo eléctrica con plato seguidor, además de poseer tres salidas de lubricación individuales. Cada una de estas salidas alimenta un distribuidor progresivo, el cual está ubicado en la base del rodamiento de la pala, este se encarga de direccionar la grasa a los dieciocho puntos de entrada con que cuenta cada rodamiento.

En cada uno de estos distribuidores progresivos se tiene un sensor inductivo encargado de enviar una señal de verificación de la lubricación al controlador principal, adicionalmente cuenta con un pin indicador que sirve para una correcta verificación visual del funcionamiento del sistema.

El controlador principal emite una señal de accionamiento a la unidad de bombeo, cada vez que se cumple el tiempo de ciclo programado espera la señal de verificación de los tres sensores inductivos y manda a parar la bomba para iniciar un nuevo ciclo de bombeo.

En la fig16 se muestra el diagrama de un sistema de lubricación automático progresivo, el cual fue realizado por la empresa Trittech.

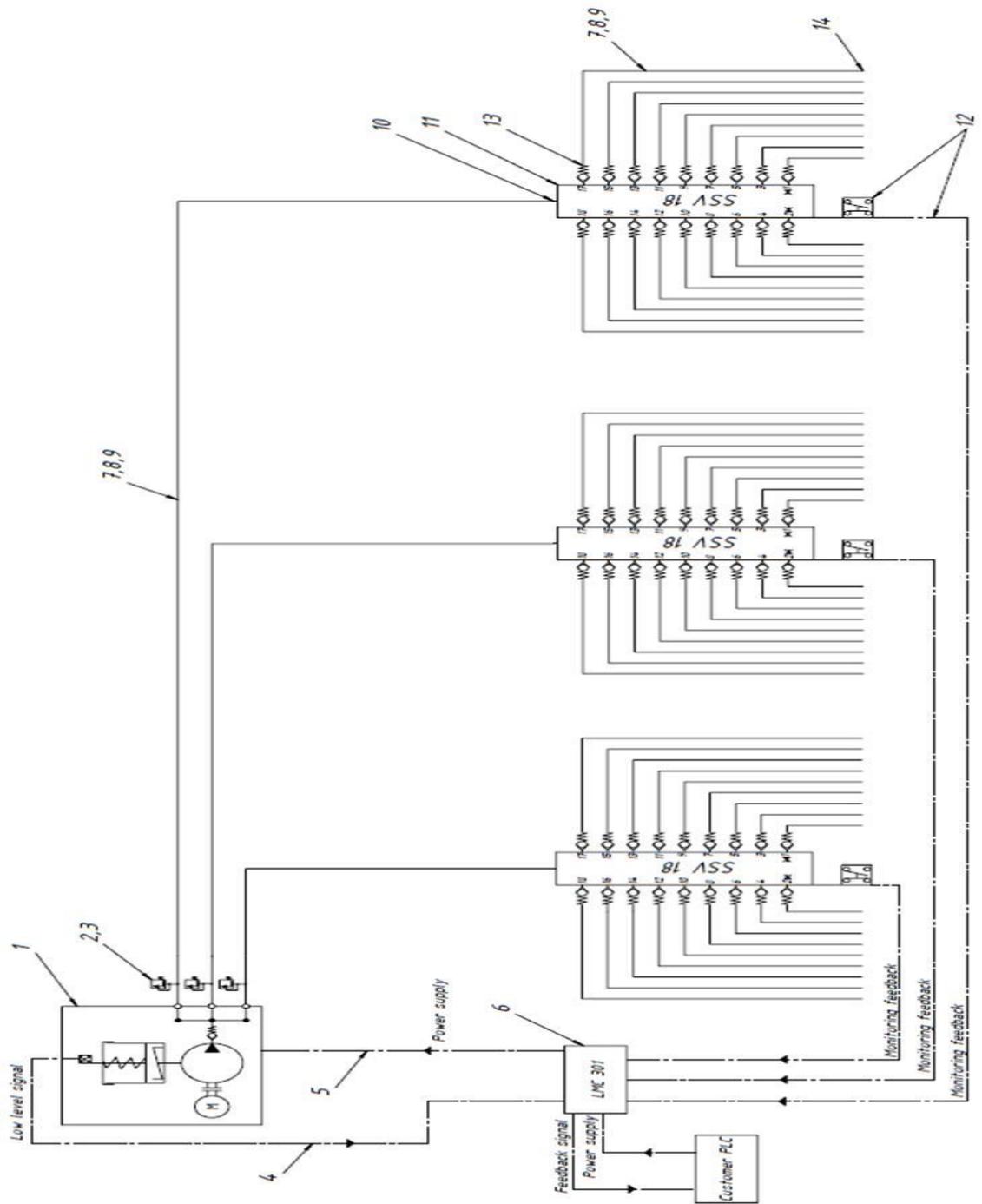


Figura 16: Esquema del sistema de lubricación automático. fuente: Tritech

La bomba (1) tiene un plato seguidor, tiene tres salidas de engrase (2,3) cada una de ellas alimenta a un bloque distribuidor (SSV 18), el sensor inductivo (12) le manda una señal de verificación que el sistema está lubricando correctamente al controlador (6), del controlador sale la alimentación hacia la bomba (5), y la bomba le manda una señal al controlador cuando el nivel de grasa está bajo (4).

El diagrama en la figura 16 muestra el funcionamiento del sistema de lubricación automático progresivo utilizado para garantizar una distribución eficiente del lubricante en los distintos puntos de engrase del rodamiento de pala. Este sistema se caracteriza por emplear una bomba principal que impulsa el lubricante desde un depósito central hacia los bloques distribuidores progresivos, los cuales dosifican el flujo hacia cada rodamiento de pala en cantidades específicas y controladas.

7. Costos de instalación del sistema de lubricación.

Para establecer los costos en esta etapa se solicitó información a la empresa Eolo de Nicaragua.

Costos de instalación del sistema de lubricación.

- Sistema de lubricación= \$ 4500 costo individual
- Mano de obra por día = \$ 25 por técnico
 - 4 técnicos * \$25= \$100 diario
- Gastos fijos (alimentación, transporte, hospedaje) = \$150 por técnico
 - 4 técnicos * \$150= \$ 600 diario
- Otros gastos (fabricación de bases, pernería etc.) = \$ 625 por cada Turbina
- Precio de venta de todo el sistema = \$ 7000 por cada Aerogenerador
- Utilidad = Precio de venta del sistema - precio del sistema - (mano de obra + gastos fijos + otros gastos)

$$\text{Utilidad} = \$7000 - \$4500 - \$1325 = \$1175$$

Inversión total de bases y pernería

$$625 \text{ precio individual} * 22 \text{ Aerogeneradores} = \text{total de } \$13,750$$

Venta total del sistema de lubricación

$$7000 * 22 \text{ Aerogeneradores} = \text{\$154,000 venta total}$$

Costo total del sistema

$$4500 * 22 \text{ Aerogenerador} = \$ 99,000 \text{ costo total}$$

Escenario acompañamiento 3 montajes.

(Gastos fijos+ mano de obra 4 técnicos) * 10 días

$(600+100) * 10 \text{ días} = \7000 total

Acompañamiento por un técnico.

(Gastos fijos+ mano de obra) * 30 días

$(150+ 25) * 30 \text{ días} = \5250 total

Inversión total del proveedor.

Inversión total de bases y pernería + Acompañamiento 3 montajes +
acompañamiento por un técnico

Inversión total = $\$13,750 + \$ 7000 + \$ 5250 = \$ 26,000$ inversión total del
proveedor

Utilidad total.

Venta total del sistema – Costo total del sistema – inversión total del
proveedor

Utilidad total= $\$ 154,000 - \$ 99,000 - \$ 26,000 = \mathbf{\$ 29,000 \text{ total}}$

La utilidad total generada por la empresa tritech fue 29,000 dólares.

8. Verificación de la funcionalidad del sistema propuesto.

El parque Eolo de Nicaragua reemplazó, el sistema de lubricación manual, por un sistema de lubricación automático con el propósito de mejorar la disponibilidad de los aerogeneradores.

En esta fase se realizaron pruebas de Boroscopia en los rodamientos instalados desde el año 2012 y de igual manera un análisis de la grasa empleada tanto en el sistema de lubricación manual como en el automático progresivo, esto con el fin de poder demostrar la funcionalidad de ambos. Se procedió a realizar los ensayos mencionados respectivamente para comprobar el comportamiento de todos los elementos mecánicos que conforman el sistema. A su vez constatar que la implementación de este maximizará la vida útil de los componentes.

Para los análisis de Boroscopia se tomó en cuenta, la norma ISO 15243 que proporciona una clasificación de modos de falla de rodamientos basada en la apariencia del daño. Según las características observadas en la imagen y la descripción de la Boroscopia del rodamiento de la pala B, muestra restos de bolas quebradas, partículas metálicas y daño severo en la pista, el origen de este daño según la norma puede clasificarse dentro de dos modos principales:

- Fatiga iniciada debajo de la superficie (ISO 5.1.2): La causa la carga cíclica sobre las superficies de contacto rodante que, con el tiempo, origina un cambio en la estructura del material y se inician microgrietas. Las microgrietas se desarrollan debajo de la superficie y se propagan hasta la superficie como desconchado. Sobre la fatiga

influye la calidad del rodamiento, las cargas aplicadas, la lubricación y la limpieza.

- Desgaste Abrasivo (ISO 5.2.2): Es el desprendimiento progresivo de material, generalmente en presencia de material abrasivo, tal como partículas contaminantes. El desgaste abrasivo también puede producirse debido a una lubricación inadecuada. (SKF, s.f)

Tabla 4: Ensayo de Boroscopia del sistema de lubricación manual

| | |
|-----------------------------|------------|
| Detalles de inspección | |
| Nombre de inspección | Boroscopia |
| ID turbina | WTG21 |
| Marca de turbina | Gamesa |
| Modelo de turbina | G80 |
| Horas maquinas | |
| Marca de rodamientos Pala B | ROLLIX |
| Serie rodamiento Pala B | 361119 |
| Fecha | 21/06/2019 |
| Hora | 11:44 am |
| Peso rodamientos | 1481 KG |
| Técnico A | Milton B |
| Técnico B | William S |

EQUIPO: Mentor visual iQ.

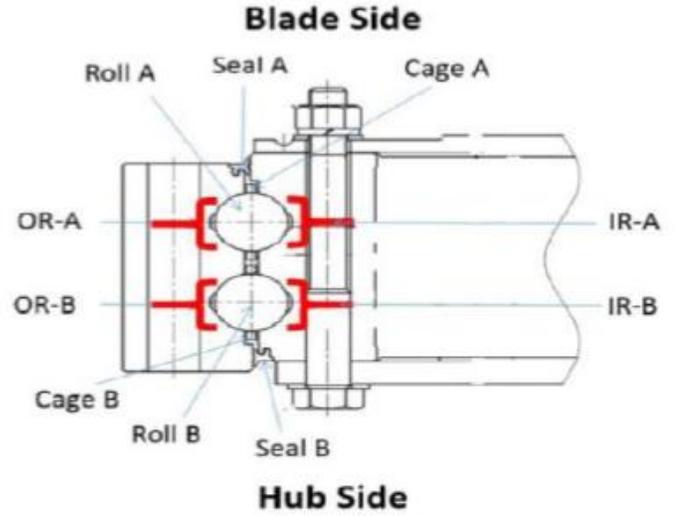
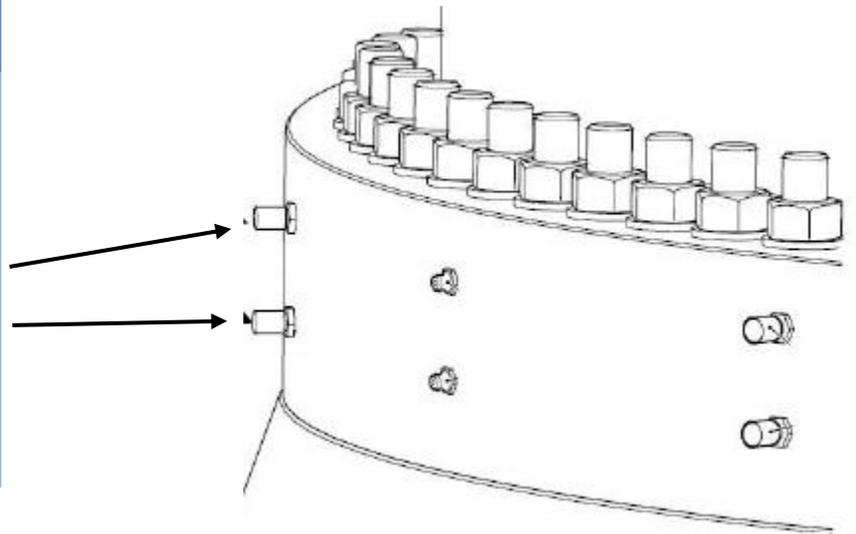


Tabla 4.1: Puntos de inspección

| Puntos de inspección |
|-------------------------------------|
| Aliviaderos de grasa de rodamientos |
| LP: Hilera de bolas lado palas |
| LB: Hilera de bolas lado buje |
| UW: Upwin side |
| DW: Downwind side |



Fuente: Eolo de Nicaragua

Tabla 4.2: Clasificación de daño acción recomendada

| Clasificación | Descripción | Acción recomendada |
|---------------|---|--|
| 1 | El componente está en condición aceptable para su edad | Inspeccionar anualmente |
| 2 | El componente presenta desgaste que puede o no afectar la vida útil | Inspeccionar anualmente |
| 3 | El componente presenta desgaste que acortará a vida útil | Aumentar la frecuencia de inspección |
| 4 | El componente ha experimentado un modo progresivo de falla | Reemplazar componente tan pronto sea posible para minimizar daños consecuentes |
| 5 | El componente ha fallado | Detener turbina para evitar daños consecuentes |
| No Access | El componente no se pudo ver durante la inspección | |

Fuente: Eolo De Nicaragua



Fotografía de la placa de Rodamientos originales que traía instalados la turbina y fue comisionada en noviembre de 2012.

Tabla 4.3: Resumen del ensayo de Boroscopia

| Resumen de inspección | | | | | | |
|--|----------------------------------|---|---|-------------------|---|-----------------|
|  Ninguna imagen marcada | | |  Imágenes marcadas | | | |
| Puntos de inspección | Imágenes | | | Imágenes marcadas | | |
| 16 | 8 | | | 8 | | |
| Ubicación | Clasificación de daño encontrado | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | No <u>acces</u> |
| WTG21 PALA "B" | | | | X | | |
| Rodamiento con daños considerables, por tanto se recomienda reemplazar el componente tan pronto como sea posible para minimizar los daños consecuentes. | | | | | | |

Fotografías reales del estado del rodamiento de pala B con el sistema de lubricación manual. Restos de pistas o bolas quebradas.



Fuente: Eolo De Nicaragua

Recomendación:

En la inspección realizada el 21 de junio del 2019, cuando se utilizaba el sistema de lubricación manual en el rodamiento de la pala "B" marca ROLLIX con número de serie 361119 instalado en el aerogenerador WTG21, se encontraron restos de bolas quebradas o pistas del rodamiento, esto en las hileras de lado pala. En la grasa se observan partículas metálicas, lo que indicaba un desgaste significativo. Por lo siguiente según la clasificación de daños se recomienda cambiar este rodamiento de pala "B" tan pronto sea posible para minimizar los daños consecuentes.

Es importante destacar que esta inspección fue realizada antes de la implementación del sistema de lubricación automático progresivo en 2020, cuando aún se utilizaba la lubricación manual. Este sistema manual probablemente

contribuyo a la insuficiente lubricación que derivo en el daño documentado en la Boroscopia en el 2019.

En el año 2020 se reemplazaron los rodamientos y la instalación del nuevo sistema de lubricación culmino en el año 2021. A continuación, en la tabla 5 se presentarán los resultados obtenidos de la reciente prueba de Boroscopia llevada a cabo el 15 de febrero del 2022 en el rodamiento de pala "B" marca ROLLIX con el **nuevo sistema de lubricación automático progresivo**. A partir de esta actualización se han monitoreado los rodamientos realizando boroscopias anualmente para verificar el funcionamiento del nuevo sistema prevenir daños similares en un futuro.

Así mismo en las tablas 5.1 y 5.2 se muestran clasificación de daños y recomendaciones, finalizando con la tabla 5.3 que contiene el resumen del ensayo de Boroscopia. Estos datos demuestran que el sistema está funcionando adecuadamente.

Tabla 5: Ensayo de Boroscopia del sistema de lubricación automático

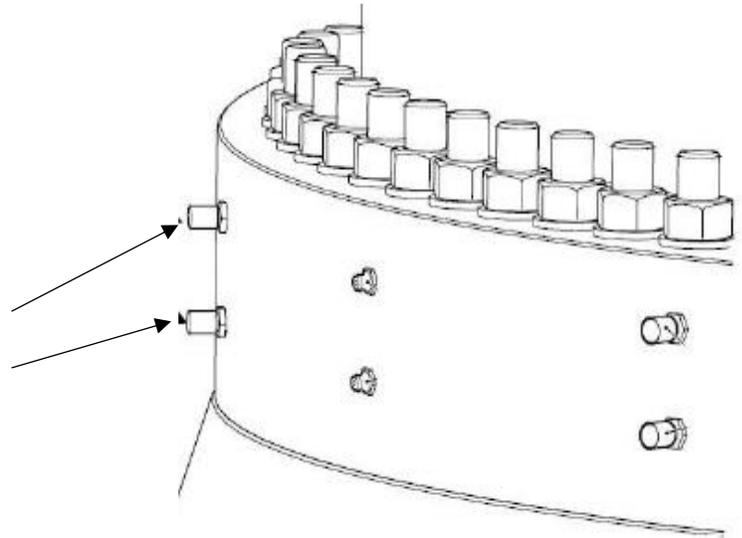
| Detalles de inspección. | |
|-----------------------------|------------|
| Nombre de inspección | Boroscopia |
| ID turbina | WTG21 |
| Marca de turbina | Gamesa |
| Modelo de turbina | G80 |
| Horas maquinas | |
| Marca de rodamientos Pala B | ROLLIX |
| Serie rodamiento Pala B | 361119 |
| Fecha | 15/02/2022 |

| | |
|------------------|-----------|
| Hora | 09:30 |
| Peso rodamientos | 1481 KG |
| Técnico A | Milton B |
| Técnico B | William S |

Fuente: Eolo de Nicaragua

Tabla 5.1: Clasificación de daños

| Puntos de inspección. |
|-------------------------------------|
| Aliviaderos de grasa de rodamientos |
| LP: Hilera de bolas lado palas |
| LB: Hilera de bolas lado buje |
| UW: Upwin side |
| DW: Downwind side |



Fuente: Eolo De Nicaragua

Tabla 5.2: Clasificación de daño y acción recomendada

| Clasificación | Descripción | Acción recomendada |
|----------------------|---|--|
| 1 | El componente está en condición aceptable para su edad | Inspeccionar anualmente |
| 2 | El componente presenta desgaste que puede o no afectar la vida útil | Inspeccionar anualmente |
| 3 | El componente presenta desgaste que acortará a vida útil | Aumentar la frecuencia de inspección |
| 4 | El componente ha experimentado un modo progresivo de falla | Reemplazar componente tan pronto sea posible para minimizar daños consecuentes |
| 5 | El componente ha fallado | Detener turbina para evitar daños consecuentes |
| No acceso | El componente no se pudo ver durante la inspección | |

Fuente: Eolo De Nicaragua

Tabla 5.3: Resumen del ensayo de Boroscopia con el sistema de lubricación automático

| Resumen de inspección | | | | | | | |
|---|---|----------------------------------|-------------------|---|---|---|----------|
|  sin imágenes  Ninguna imagen marcada  Imágenes marcadas | Puntos de inspección | Imágenes | Imágenes marcadas | | | | |
|  Pala B | 16 | 8 | 8 | | | | |
| Componente | Ubicación | Clasificación de daño encontrado | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | No acces |
| Rodamiento | WTG21 PALA "B" | X | | | | | |
| Observaciones | Rodamiento en óptimas condiciones, por tanto se recomienda inspeccionar el componente anualmente. | | | | | | |

Fotografías reales del estado de rodamiento de pala B con el nuevo sistema de lubricación automático.

Bolas en excelente estado.



Fuente: Eolo Nicaragua

Recomendación:

En la inspección realizada el 15 de febrero del 2022, en el rodamiento de la pala "B" marca ROLLIX con número de serie 361119 instalado en el aerogenerador WTG21, se **encontró en óptimas condiciones**, no se encontraron restos de bolas quebradas o pistas del rodamiento, esto en las hileras de lado pala. En la grasa no se observan partículas metálicas de ningún tipo. Por consiguiente, según la clasificación de daños se recomienda sólo inspeccionar de forma anual este rodamiento de pala "B".

En conclusión:

Como se puede observar en los datos obtenidos de las pruebas realizadas se demuestra que con el nuevo sistema de lubricación automático se obtuvo un resultado satisfactorio de los principales componentes (Palas) del aerogenerador marca Gamesa modelo G80, reduciendo así daños severos que conlleven a

cambios de piezas, así mismo maximizando la vida útil de los elementos, evitando gastos en compra de componentes y reduciendo los números de mantenimientos.

8.1. Análisis de los dos tipos grasas usadas en los rodamientos de la pala B del aerogenerador marca Gamesa modelo G80.

A continuación, se muestran los reportes de los análisis de grasa a los que fueron sometidos tanto la grasa marca Gleitmo 585 k, empleada en el sistema de lubricación automática, como la Rhodina grasa utilizada en el sistema manual en LABORATORIO POLARIES ubicado en Indianápolis, Estados Unidos, así mismo se adjuntan los reportes de ferrografía. Ambos reportes exponen las condiciones de los lubricantes empleados, indicando los grados de severidad general siendo el grado 0 normal y el grado 4 crítico en esta escala.

Análisis de grasa Gleitmo – sistema de lubricación automático



Reporte de Análisis de Grasa

North America: +1-877-808-3750
 Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
 Europe: +1-317-808-3750

| | | | | |
|--------|---|---------|---|---------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| NORMAL | | ANORMAL | | CRITICO |

Severidad General del Reporte

| Información de Cuenta | Información del Componente | Información de muestra |
|---|--|--|
| Número de cuenta: 780774-0000-0000 Nombre de Compañía: TRITECH NICARAGUA Contacto: SAMUEL GONZALEZ Dirección: KM 17.5 CARRETERA NUEVO LEON EDIFICIO PRECON MANAGUA NI Teléfono: | ID de Componente: 21020G82037 GREASE ID Secundaria: Filtro de tipo de componente: GREASE Fabricante: Informacion solicitada Modelo: Informacion solicitada Aplicación: BASELINE REFERENCE | Número de Huella: 21020G82037 Número de laboratorio: I-778761 Localización de Laboratorio: Indianapolis Analista de Datos: ENC Tomada: 2021 Recibido: 29-ene-2021 Resuelto: 01-feb-2021 Completado: 08-feb-2021 |
| | Información Misceláneo | Información del Producto |
| | | Fabricante del Producto: FUCHS Nombre del Producto: GLEITMO 585 K |

Comentarios Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. Resultados de menor importancia del estudio ferrographic. Refiera por favor al informe del ferrograph enviado en volumen separado; Para comparar correctamente los datos a los estándares correctos, necesitamos fabricante y modelo de la unidad, y el fabricante, tipo y grado del lubricante; Falta el tiempo de la unidad y/o el lubricante DUE TO OUR FDM TEST OUT FOR REPAIR WE WILL ISSUE AN UPDATED REPORT WHEN IT IS BACK IN PRODUCTION.

| Muestra # | Metales de Desgaste (ppm) | | | | | | | | | | Metales Contaminantes | | Fuente de Varios Metales (ppm) | | | Metales Aditivos (ppm) | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-----------------------|-------|--------------------------------|---------|-----------|------------------------|------|-----------|-------|----------|--------|-------|---------|------|
| | Hierro | Cromo | Niquel | Aluminio | Cobre | Plomo | Estaño | Cadmio | Plata | Vanadio | Silice | Sodio | Potasio | Titanio | Antimonio | Manganeso | Boro | Molibdeno | Litio | Magnesio | Calcio | Bario | Fósforo | Zinc |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 2 | 1 | 0 | 3 | 463 | 3 | 1112 | 77 | 5531 | 0 | 1156 | 1879 |

| Muestra # | Información de muestra | | | | | | Contaminantes | Propiedades de líquido | Análisis Adicionales | |
|-----------|------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| | Fecha de toma | Fecha de recibo | Tiempo de Aceite h | Tiempo de unidad h | Cambio de Aceite | Aceite Agregado L | | | Agua % de Vol | Número de Acido mg KOH/g |
| 1 | N/A | 29-ene-2021 | 0 | 0 | Unk | 0 | | | 1 | UTT |

Los comentarios son un consultivo y se basan el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o ausencia de tiempo del componente limita la evaluación. Niguna garantía expresada o implícita. La incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Comentarios Históricos



Reporte de Ferrografía

North America: +1-877-808-3750

Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)

Europe: +1-317-808-3750

| | | | | |
|--------|---|---------|---|---------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| NORMAL | | ANORMAL | | CRITICO |

Severidad General del Reporte

| Información de Cuenta | Información del Componente | Información de muestra |
|---|--|--|
| Número de cuenta: 780774-0000-0000 Nombre de Compañía: TRITECH NICARAGUA Contacto: SAMUEL GONZALEZ Dirección: KM 17.5 CARRETERA NUEVO LEON EDIFICIO PRECON MANAGUA NI Teléfono: | ID de Componente: 21020G82037 GREASE ID Secundaria: Filtro de tipo de componente: GREASE Fabricante: Informacion solicitada Modelo: Informacion solicitada Aplicación: BASELINE REFERENCE | Número de Huella: 21020G82037 Número de laboratorio: I-778761 Localización de Laboratorio: Indianapolis Analista de Datos: JDT Tomada: 2021 Recibido: 29-ene-2021 Resuelto: 01-feb-2021 Completado: 08-feb-2021 |
| | Información Misceláneo | Información del Producto |
| | | Fabricante del Producto: FUCHS Nombre del Producto: GLEITMO 585 K |
| Comentarios | No maintenance or corrective action suggested at this time. Minor amount of ferrous rubbing wear. Rubbing wear can result from breakdown of larger particles in a system with a fault present. Minor amount of cutting wear particles. Minor amount of abrasives (silica/dirt and environmental contaminants). | |

| Desgaste del Metal (min μm - max μm) | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|-------------|--------|--------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-------------------|-------------------|---------|----------|
| Número de laboratorio | Fecha de toma | Fricción | Esfera | Fatiga | Deslizamiento | Refundido | Cortando | Corrosivo | Ferrosos | Aleación de Cobre | Aleación de Plomo | Babbitt | Aluminio |
| | Fecha de recibo | | | | | | | | | | | | |
| I-778761 | N/A 29-ene-2021 | 2.00 - 5.00 | - | - | - | - | 10.00 - 40.00 | - | 2.00 - 40.00 | - | - | - | - |

| Contaminación (min μm - max μm) | | | | | | | | Other (min μm - max μm) | | | | | |
|--|--------------------|--------------|--------------|---------------|-------|----------|-----------------|--|---|---|---|---|---|
| Número de laboratorio | Fecha de toma | Abrasivos | Oxidos Rojos | Oxidos Negros | Sales | Polímero | Fibras/Celulosa | | | | | | |
| | Fecha de recibo | | | | | | | | | | | | |
| I-778761 | N/A 29-ene-2021 | 4.00 - 15.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

One Cutting Wear Particle



Aumento de Imagen Ferrografica - 500x

Comentarios

Ferrous Rubbing Wear



Aumento de Imagen Ferrografica - 500x

Comentarios

Ferrous Rubbing Wear



Aumento de Imagen Ferrografica - 500x

Comentarios

Ferrous Rubbing wear



Aumento de Imagen Ferrografica - 500x

Comentarios

Como podemos observar en el análisis de muestra de grasa Gleitmo esta se encuentra en un rango normal de trabajo, no hay necesidad de realizar mantenimientos de manera urgente, sin embargo, en el análisis de ferrografía se observa partículas metálicas por lo que se sugiere llevar un control de la misma.

Análisis de grasa Rhodina – sistema de lubricación manual



Reporte de Análisis de Grasa

North America: +1-877-808-3750
 Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
 Europe: +1-317-808-3750

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| NORMAL | ANORMAL | CRITICO | | |

Severidad General del Reporte

| Información de Cuenta | Información del Componente | Información de muestra |
|---|---|--|
| Número de cuenta: 780774-0000-0000 Nombre de Compañía: TRITECH NICARAGUA Contacto: SAMUEL GONZALEZ Dirección: KM 17.5 CARRETERA NUEVO LEON EDIFICIO PRECON MANAGUA NI Teléfono: | ID de Componente: 21020G82032 GREASE ID Secundaria: Filtro de tipo de componente: BASELINE REFERENCE - GREASE Fabricante: NOT APPLICABLE Modelo: NOT APPLICABLE Aplicación: BASELINE REFERENCE | Número de Huella: 21020G82032 Número de laboratorio: I-778762 Localización de Laboratorio: Indianapolis Analista de Datos: ENC Tomada: 2021 Recibido: 29-ene-2021 Resuelto: 01-feb-2021 Completado: 08-feb-2021 |
| | Información Misceláneo | Información del Producto |
| | | Fabricante del Producto: SHELL Nombre del Producto: RHODINA GREASE BBZ |
| Comentarios | Los datos marcados no requieren acción de mantenimiento en forma urgente. Se sugiere observar la tendencia de la condición del equipo y del lubricante. Para comparar correctamente los datos a los estándares correctos, necesitamos fabricante y modelo de la unidad, y el fabricante, tipo y grado del lubricante; Falta el tiempo de la unidad y/o el lubricante Ningunos resultados significativos del estudio ferrographic; DUE TO OUR FDM TEST OUT FOR REPAIR WE WILL ISSUE AN UPDATED REPORT WHEN IT IS BACK IN PRODUCTION. | |

| Muestra # | Metales de Desgaste (ppm) | | | | | | | | | | Metales Contaminantes | | | Fuente de Varios Metales (ppm) | | | | Metales Aditivos (ppm) | | | | | | |
|-----------|---------------------------|-------|--------|----------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-----------------------|-------|---------|--------------------------------|-----------|-----------|------|------------------------|-------|----------|--------|-------|---------|------|
| | Hierro | Cromo | Niquel | Aluminio | Cobre | Plomo | Estaño | Cadmio | Plata | Vanadio | Silice | Sodio | Potasio | Titanio | Antimonio | Manganeso | Boro | Molibdeno | Litio | Magnesio | Calcio | Bario | Fósforo | Zinc |
| 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 8 | 369 | 2872 | 0 | 26 | 14 |

| Muestra # | Información de muestra | | | | | | | Contaminantes | Propiedades de líquido | Análisis Adicionales | |
|-----------|------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------|--------------------------|------------------------|----------------------|--|
| | Fecha de toma | Fecha de recibo | Tiempo de Aceite h | Tiempo de unidad h | Cambio de Aceite | Aceite Agregado L | Agua % de Vol | Número de Acido mg KOH/g | Ferografía Analítica | Ferrous Debris ppm | |
| 1 | N/A | 29-ene-2021 | 0 | 0 | Unk | 0 | | | 0 | NES | |

Los comentarios son un consultivo y se basan en el supuesto de que la muestra y los datos presentados son válidos. Lubricante o ausencia de tiempo del componente limita la evaluación. Ninguna garantía expresada o implícita. La incertidumbre de la medición está disponible bajo solicitud.

Comentarios
Históricos



Reporte de Ferrografía

North America: +1-877-808-3750
 Latin America: +1-317-808-3750 / +502-3093-6466 (WhatsApp)
 Europe: +1-317-808-3750

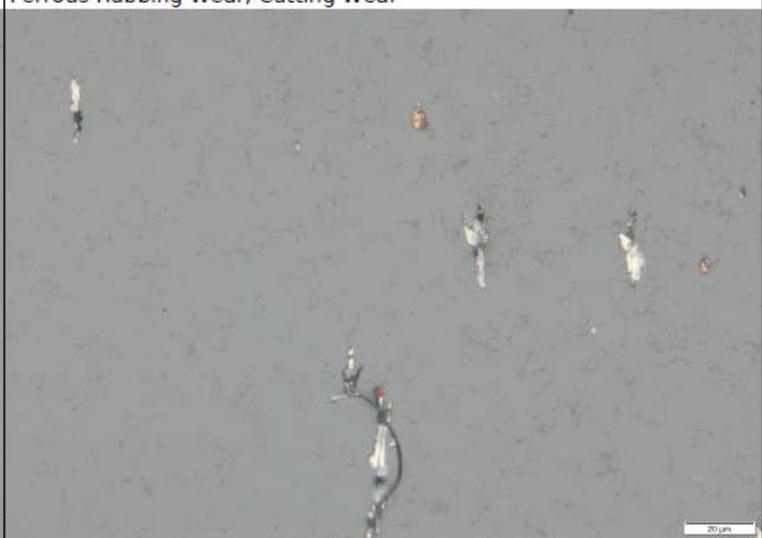
| | | | | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| NORMAL | ANORMAL | ANORMAL | CRITICO | CRITICO |

Severidad General del Reporte

| Información de Cuenta | Información del Componente | Información de muestra |
|---|---|--|
| Número de cuenta: 780774-0000-0000 Nombre de Compañía: TRITECH NICARAGUA Contacto: SAMUEL GONZALEZ Dirección: KM 17.5 CARRETERA NUEVO LEON EDIFICIO PRECON MANAGUA NI Teléfono: | ID de Componente: 21020G82032 GREASE ID Secundaria: Filtro de tipo de componente: BASELINE REFERENCE - GREASE Fabricante: NOT APPLICABLE Modelo: NOT APPLICABLE Aplicación: BASELINE REFERENCE | Número de Huella: 21020G82032 Número de laboratorio: I-778762 Localización de Laboratorio: Indianapolis Analista de Datos: JDT Tomada: 2021 Recibido: 29-ene-2021 Resuelto: 01-feb-2021 Completado: 08-feb-2021 |
| | Información Misceláneo | Información del Producto |
| | | Fabricante del Producto: SHELL Nombre del Producto: RHODINA GREASE BBZ |
| Comentarios No notable debris was found during this analysis. | | |

| Desgaste del Metal (min µm - max µm) | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|--------------|--------|--------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-------------------|-------------------|---------|----------|
| Número de laboratorio | Fecha de toma | Fricción | Esfera | Fatiga | Deslizamiento | Refundido | Cortando | Corrosivo | Ferrosos | Aleación de Cobre | Aleación de Plomo | Babbitt | Aluminio |
| | Fecha de recibo | | | | | | | | | | | | |
| I-778762 | N/A | 2.00 - 20.00 | . | . | . | . | 20.00 - 30.00 | . | 2.00 - 20.00 | . | . | . | . |
| | 29-ene-2021 | | | | | | | | | | | | |

| Contaminación (min µm - max µm) | | | | | | | | Other (min µm - max µm) | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-----------|--------------|---------------|-------|----------|-----------------|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Número de laboratorio | Fecha de toma | Abrasivos | Oxidos Rojos | Oxidos Negros | Sales | Polímero | Fibras/Celulosa | | | | | | |
| | Fecha de recibo | | | | | | | | | | | | |
| I-778762 | N/A | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | 29-ene-2021 | | | | | | | | | | | | |

| | |
|---|--|
| <p>Ferrous Rubbing Wear, Abrasives</p>  <p>Aumento de Imagen Ferrografica - 500x</p> <p>Comentarios</p> | <p>Ferrous Rubbing Wear, Cutting Wear</p>  <p>Aumento de Imagen Ferrografica - 500x</p> <p>Comentarios</p> |
| <p>Ferrous Rubbing Wear, Cutting Wear</p>  <p>Aumento de Imagen Ferrografica - 500x</p> <p>Comentarios</p> | <p>Ferrous Rubbing wear</p>  <p>Aumento de Imagen Ferrografica - 500x</p> <p>Comentarios</p> |

Con respecto al análisis de la grasa Rhodina, los estudios realizados de igual manera demuestran que se encuentran dentro del rango normal de trabajo, no obstante, se observan más partículas metálicas con respecto a la muestra de grasa Gleitmo, de igual manera se recomienda llevar un control de la misma.

Tabla 6: Compatibility test of Shell Rhodina grease BBZ with Gleitmo 585 k

| | | Shell Rhodina BBZ | gleitmo 585 K | 1:1-Mix Shell Rhodina BBZ and gleitmo 585 K |
|----------------------------|----------|-------------------|---------------|---|
| Penetration unworked | [0,1 mm] | 302 | 261 | 287 |
| Penetration worked (WP 60) | [0,1 mm] | 305 | 281 | 303 |
| Oil sep. 40°C 18h/7d | [%] | 4,0 / 8,8 | 1,0 / 1,9 | 1,9 / 4,2 |
| Dropping point | [°C] | 164 | 201 | 176 |

The test results show a positive miscibility between these two products.

Fuente: Eolo de Nicaragua

Los resultados de las pruebas (tabla 6) muestran una miscibilidad positiva entre estos dos productos. En esta tabla podemos observar algunos parámetros con respecto a la grasa Gleitmo con la grasa Shell Rhodina lo que nos indica que ambas grasas son compatibles entre sí.

La grasa Shell Rhodina es una grasa lubricante de alta calidad diseñada específicamente para aplicaciones industriales, rodamiento y maquinarias pesadas, por otro lado, la grasa Gleitmo 585k está diseñada para resistir altas temperaturas y cargas extremas, lo que la hace adecuada para aplicaciones en las que se requiere una lubricación de larga duración en condiciones severas, ambas grasas son compatibles para los rodamientos de pala.

Sin embargo, si los rodamientos de pala están expuestos a cargas extremas, altas temperaturas y condiciones ambientales severas la grasa Gleitmo 585k sería la ideal para los rodamientos que soportan el peso y la fuerza del viento, proporciona una buena protección contra la oxidación y la corrosión, lo que

es importante en aplicaciones al aire libre donde los rodamientos están expuestos a la intemperie y a condiciones ambientales adversas.

El resultado de los datos de grasa sometidos a estudios determinó que la Gleitmo 585K, fue la que más se adecua para este tipo de sistema de lubricación automático progresivo por consiguiente para los componentes, comportándose superior en comparación a la Rhodina, conservando un mayor desempeño en sus propiedades.

El análisis de la compatibilidad entre ambas grasas fue esencial debido a la posibilidad de que se mezclaran en el sistema. Originalmente, se empleaba la grasa Rhodina en el sistema de lubricación manual, pero al cambiar al sistema progresivo se incorporó el nuevo lubricante Gleitmo 585K. Aunque se realizó un drenaje del sistema para limpiar la grasa, es posible que algunas partículas hayan quedado en ciertos componentes mecánicos. Por tanto, es crucial asegurar que exista compatibilidad entre las grasas para prevenir posibles reacciones químicas y daños que podrían afectar al sistema.

9. Procedimiento para la instalación del sistema de lubricación

En esta fase se realizó el proceso de medición en los rodamientos de palas, con las medidas obtenidas se procedió a cortar las mangueras que van posicionadas en los bloques, una vez cortadas las mangueras se procedió a ponerle sus conectores para luego empezar armar dichos componentes (bloques), posterior se empezó a rellenar las bombas y mangueras de grasa, cabe mencionar que todo este proceso de medición, corte y relleno se realizó en el taller de trabajo.

El personal técnico se sometió a una capacitación esto con el objetivo de aprender a configurar el controlador que lleva el sistema de lubricación. Una vez teniendo listo todos los materiales y componentes se realizó un flushing en los rodamientos para finalmente instalar el sistema.

El proceso fue el siguiente: El primer paso la instalación de los bloques distribuidores de sus bases en los rodamientos de pala, segundo paso se instaló la bomba en su base con en el armario del buje y el controlador. Ya instalado se hicieron pruebas desde el controlador configurando el tiempo de engrase y se verificó que estaba dosificando correctamente para dejar funcionando el sistema de lubricación.

A continuación, se muestra fotos reales de los componentes empleados para la instalación del sistema de lubricación.

| Componente y especificación. | |
|---|--|
|  <p>- Mangueras que se utilizaron para hacer el flushin.</p> |  <p>- Bomba con la cual se realizó el flushin.</p> |
|  <p>- Armado de mangueras para los bloques.</p> |  <p>- Conectores que van en el bloque de distribución.</p> |
|  <p>- Bloque con sus mangueras armado.</p> |  <p>- Base para la bomba de grasa y base para controlador respectivamente.</p> |
|  <p>- Envase de la grasa llenado manualmente.</p> |  <p>- Bloque de distribución aislado por encima del</p> |

| | |
|---|--|
| | rodamiento. |
|  <p>- Recolectores de grasa instalados en los aliviadores.</p> |  <p>- Controlador instalado en el armario del hub.</p> |
|  <p>- Bomba de grasa instalado en base del armario hub,</p> | |

10. Conclusiones

A través de la implementación y análisis del sistema de lubricación manual, se obtuvo un diagnóstico que proporciona una visión clara del estado de los rodamientos de pala, utilizando instrumentos de recopilación de información e identificando áreas de mejoras, para tomar medidas proactivas y garantizar el funcionamiento más óptimo del aerogenerador.

Al proponer un nuevo sistema de lubricación contribuirá a la reducción del desgaste prematuro y mejorará el desempeño de los rodamientos de pala, prolongando su vida útil y asegurando la operatividad continua del aerogenerador en el parque Eolo de Nicaragua.

Al establecer costos de instalación del sistema de lubricación automático, se proporcionó una estimación detallada de la inversión de \$154,000 dólares, necesaria para la implementación de esta mejora que conllevará a mejorar la vida útil de los rodamientos de pala en el parque EOLO de Nicaragua.

Al verificar la funcionalidad del sistema de lubricación automático mediante los ensayos de Boroscopia y análisis de grasa, se obtuvo información sobre el comportamiento del nuevo sistema en los rodamientos de pala, los resultados de estos ensayos permiten verificar el buen funcionamiento del sistema propuesto en la reducción del desgaste y fricción, así como también en el rendimiento del equipo.

11. Recomendaciones.

- Realizar análisis de Boroscopia anualmente con el uso del nuevo sistema de lubricación automático, con el fin de verificar como se encuentran los rodamientos actuales con respecto a los anteriores cuando se utilizaba la lubricación manual.
- Capacitar al personal técnico de mantenimiento para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de lubricación automático.
- Establecer un programa de monitoreo continuo para asegurar de que el sistema está funcionando correctamente para detectar posibles fallos.
- Instalar un sistema de monitoreo en línea con sensores en los rodamientos de pala que detecten la vibración, temperatura y otros indicadores del estado de los rodamientos en tiempo real.

12. Anexos.

A continuación, en la tabla 7 se presenta la estructura de la entrevista que se realizó a técnicos del parque Eolo de Nicaragua.

Tabla 7: estructura de entrevista a realizar

| | |
|--|--|
| Nombre de la Empresa: | |
| Nombre del Entrevistado | |
| Fecha de la Entrevista: | |
| 1. ¿Cuál es el principal problema a la hora de lubricar los rodamientos de forma manual? | |
| 2. ¿Una mala lubricación que problemas podría ocasionar en los rodamientos? | |
| 3. ¿Qué daños severos se han encontrado en los rodamientos debido a la mala lubricación? | |
| 4. ¿Cree usted que implementar un sistema de lubricación automático en los rodamientos mejoraría las condiciones actuales? | |

La entrevista fue validada por nuestra tutora Msc. Mary Triny Gutiérrez

| | |
|--|--|
| Nombre de la Empresa: | Eolo de Nicaragua |
| Nombre del Entrevistado | Enmanuel Ramirez |
| Fecha de la Entrevista: | 12-01-2022 |
| 1. ¿Cuál es el principal problema a la hora de lubricar los rodamientos de forma manual? | R: Uno de los principales problemas es la fatiga del personal debido a que es cansado y quita mucho tiempo hacer ese procedimiento y contaminación del técnico por una mala manipulación de grasa. |
| 2. ¿Una mala lubricación que problemas podría ocasionar en los rodamientos? | R: puede ocasionar una fuga, esto puede crear un desgaste en el rodamiento, la junta o los sellos se van a dañar, contaminación al medio ambiente debido a la fuga |
| 3. ¿Qué daños severos se han encontrado en los rodamientos debido a la mala lubricación? | R: se han encontrado agrietamiento descascaramientos de las bolas, jaulas o cunas, eso también puede ser ocasionado por la calidad del lubricante. |

| | |
|---|--|
| <p>4. ¿Cree usted que implementar un sistema de lubricación automático en los rodamientos mejoraría las condiciones actuales?</p> | <p>R: hay una mejora porque se estará dosificando siempre y no se va estar esperando lubricar cada seis meses, aun cuando haya una fuga siempre se va estar lubricando con el sistema eso evitara que el rodamiento llegase a quedar sin lubricación</p> |
|---|--|

| | |
|--|---|
| Nombre de la Empresa: | Eolo de Nicaragua |
| Nombre del Entrevistado | Moisés Morales |
| Fecha de la Entrevista: | 12-01-2022 |
| 1. ¿Cuál es el principal problema a la hora de lubricar los rodamientos de forma manual? | R: Peligro de golpes o caídas de técnico debido a la incomodidad, contaminación por una mala manipulación de grasa |
| 2. ¿Una mala lubricación que problemas podría ocasionar en los rodamientos? | R: Daño en los retenes de los rodamientos por exceso carencia de grasa, fugas y desgaste en los rodamientos. |
| 3. ¿Qué daños severos se han encontrado en los rodamientos debido a la mala lubricación? | R: bolas y jaulas de los rodamientos quebrados, agrietados, micropitting |
| 4. ¿Cree usted que implementar un sistema de lubricación automático en los rodamientos mejoraría las condiciones actuales? | R: Mejora en optimizar tiempo ya que es automático. Reduce riesgos de accidentes. Se garantiza la correcta dosificación automatizada. |

| | |
|--|---|
| Nombre de la Empresa: | Eolo de Nicaragua |
| Nombre del Entrevistado | William Sánchez |
| Fecha de la Entrevista: | 12-01-2022 |
| 1. ¿Cuál es el principal problema a la hora de lubricar los rodamientos de forma manual? | R: Fatiga del personal debido a la incomodidad a la hora de engrasar. Cuando se engrasa de forma manual puede engrasar mal porque hay que medir los gramos que se le van introducir en cada engrasador puede que vaya la grasa completa o a veces no. |
| 2. ¿Una mala lubricación que problemas podría ocasionar en los rodamientos? | R: Se pueden generar desgaste en los rodamientos, se pueden dañar los sellos y las juntas, daño en los retenes. |
| 3. ¿Qué daños severos se han encontrado en los rodamientos debido a la mala lubricación? | R: se han encontrado desgaste en los rodamientos, daño en la pista interna, se han encontrado micropitting, bolas quebradas. |

| | |
|---|--|
| <p>4. ¿Cree usted que implementar un sistema de lubricación automático en los rodamientos mejoraría las condiciones actuales?</p> | <p>R: si mejoraría las condiciones porque se estará engrasando en forma y tiempo los rodamientos, reduciría los riesgos de accidentes en los técnicos.</p> |
|---|--|

| | |
|--|---|
| Nombre de la Empresa: | Eolo de Nicaragua |
| Nombre del Entrevistado | Byron Monge |
| Fecha de la Entrevista: | 12-01-2022 |
| 1. ¿Cuál es el principal problema a la hora de lubricar los rodamientos de forma manual? | R: Cansancio del personal técnico debido a que es una tarea dilatada y cansada debido a la incomodidad, puede haber contaminación a la hora de estar manipulando la grasa. |
| 2. ¿Una mala lubricación que problemas podría ocasionar en los rodamientos? | R: puede ocasionar excesivo desgaste debido a que no haya lubricación en los rodamientos, se pueden dañar los sellos debido a un exceso de grasa esto puede ocasionar fuga por los retenedores. |
| 3. ¿Qué daños severos se han encontrado en los rodamientos debido a la mala lubricación? | R: Se han encontrado daños severos en la pista interna del rodamiento, bolas quebradas o agrietamiento en la jaula. |

| | |
|---|---|
| <p>4. ¿Cree usted que implementar un sistema de lubricación automático en los rodamientos mejoraría las condiciones actuales?</p> | <p>R: Esto reduciría la carga de trabajo a los técnicos</p> <p>Se estaría lubricando constantemente los rodamientos en dosificaciones pequeñas.</p> |
|---|---|

13. Bibliografía

- Acciona. (2020). *Acciona*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/?_adin=02021864894
- CAMPOS, G. C. (2021, Marzo 19). Procedimiento purga de grasa de rodamientos. Managua, Managua, Nicaragua.
- Gamesa. (2008). *Turbina eolica G80-2.0MW: Especificaciones tecnicas.(Documento interno)*.
- Méndez, N. (2018). *PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE AEROGENERADORES USANDO TECNOLOGIA BASADA EN MONITOREO DE LA SALUD ESTRUCTURAL(STRUCTURAL HEALTH MONITORING,SHM)*. Obtenido de <https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/442d385f-ac40-4544-9ece-cb09baceb81e/content>
- SKF. (s.f). *Evolution*. Obtenido de <https://evolution.skf.com/es/analisis-de-danos-en-los-rodamientos-iso-15243-esta-aqui-para-ayudarle/>
- SKF. (s.f). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/mx/products/lubrication-management/automatic-lubrication-systems>
- Structuralia. (2018, 07 16). *Structuralia*. Obtenido de <https://www.blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>
- tritech. (s.f.). Sistema de lubricación de doble linea. Managua, Managua, Nicaragua.