

Optimización del programa de lubricación en la central de generación de energía

Termobarranquilla E.S.P S.A.

Isaac Chinchilla Noriega

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Francisco José Saldivia Saldivia

Magister en gerencia de mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Barranquilla

2022

Dedicatoria

A Dios por su infinita misericordia, a mi familia por su apoyo, confianza y motivación que indudablemente han contribuido al logro de mis metas; por su incondicional compañía.

Agradecimientos

A Termobarranquilla S.A y su dependencia de mantenimiento por permitir el desarrollo de esta monografía y por contribuir a mi desarrollo profesional y personal.

A Alejandro Cortes, técnico lubricador, por su colaboración, dedicación y su amplia experiencia que contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

Finalmente, quiero agradecer a la universidad y a mi director de grado Francisco José Saldivia Saldivia por su orientación durante el desarrollo de este trabajo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1 Objetivos	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2 Marco teórico	14
2.1 Ciclo Brayton, el ciclo de las turbinas de gas	14
2.2 Ciclo Rankine, el ciclo de las turbinas a vapor	15
2.3 Ciclo Combinado	15
3 Marco conceptual.....	17
3.1 Generalidades sobre mantenimiento	17
3.2 Generalidades sobre la lubricación	18
3.3 Lubricación	19
3.3.1 <i>Lubricación preventiva</i>	19
3.3.2 <i>lubricación predictiva</i>	20
3.4 Gestión ambiental de la lubricación.....	20
3.5 Cuarto de lubricación	21
4 Marco legal	22
5 Plan de trabajo.....	23
5.1 Levantamiento de información	24
5.2 Cuarto de lubricación	25

5.3	Rutas de lubricación.....	26
5.4	Muestreo y análisis de aceite	26
5.5	Disposición final y mejoramiento continuo.....	26
6	Desarrollo de la metodología	27
6.1	Diagnóstico del programa de lubricación	27
6.2	Levantamiento de información	32
6.3	Cuarto de lubricación.....	36
6.4	Rutas de lubricación.....	45
6.5	Muestreo y análisis de aceite	46
6.6	Disposición final y mejoramiento continuo.....	48
7	Conclusiones.....	51
8	Recomendaciones	52
	Referencias Bibliográficas	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Equipos auxiliares de los turbogeneradores en la empresa Termobarranquilla S.A	32
Tabla 2. Inventario actual de grasas vs inventario necesario	34
Tabla 3. Inventario actual de aceites vs inventario necesario	35
Tabla 4. Código de color para la identificación de lubricantes	42

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Metodología de trabajo.....	24
Figura 2. Actividad de lubricación programada en Ellipse 9.0.....	28
Figura 3. Falla rodamiento axial bomba agua de circulación # 1 planta ABB	29
Figura 4. Cálculo de re-engrase de rodamientos.....	30
Figura 5. Falla rodamiento motor bomba de aceite de lubricación # 2 GT13	30
Figura 6. Carta de lubricación de los ventiladores de agua de enfriamiento	33
Figura 7. Tambor de Aceite DTE MEDIUM.....	36
Figura 8. Cuarto de lubricación actual.....	37
Figura 9. Diseño propuesto para el cuarto de lubricación	38
Figura 10. Aceiteras que se utilizaban en el programa de lubricación	39
Figura 11. Engrasadoras que se utilizaban en el programa de lubricación.....	40
Figura 12. Nuevas aceiteras	40
Figura 13. Nuevas engrasadoras	41
Figura 14. Organización antes de la implementación del código de color de los lubricantes	43
Figura 15. Organización después de la implementación del código de color.....	43
Figura 16. Almacenamiento de aceites lubricantes antes de optimizar el inventario	44
Figura 17. Almacenamiento de aceites lubricantes después de optimizar el inventario.....	44
Figura 18. Rutas de lubricación gestionadas desde el software de mantenimiento	45
Figura 19. Rutas de muestreo y análisis de aceite	48
Figura 20. Códigos de cierre de las ordenes de trabajo correctivas.....	50

Glosario

Aceitera: herramienta para la aplicación de aceite lubricante.

ASTM (siglas en inglés): sociedad americana para pruebas y materiales.

Barniz: residuo orgánico insoluble de difícil remoción en los componentes o sistemas de lubricación.

Benchmarking: método de gestión y comparación o puntos de referencia para procesos o indicadores.

Demulsibilidad: propiedad o capacidad que tiene un aceite lubricante para separarse rápidamente del agua.

Ellipse: software de mantenimiento utilizado por la empresa Termobarranquilla S.A

Engrasadora: herramienta para la aplicación de grasa lubricante.

ERP (siglas en inglés): software para la planificación de recursos empresariales.

Formación de espuma: prueba de laboratorio para aceites que mide la capacidad del lubricante de formar y disipar espuma.

GT (siglas en inglés): turbina a gas

HRSR (siglas en inglés): Generador de vapor por recuperación de calor.

ISO (siglas en inglés): organización internacional de estándares.

Reservorio: en lubricación, depósito de aceite lubricante.

SAE: sociedad de ingenieros automotrices.

ST (siglas en inglés): turbina a vapor

TEBSA: Termobarranquilla S.A

Resumen

Título: Optimización del programa de lubricación en la central de generación de energía Termobarranquilla E.S.P S.A *

Autor: Isaac Chinchilla Noriega**

Palabras Clave: Lubricación, análisis de aceite, confiabilidad.

Descripción: En este trabajo de grado se desarrolla la optimización del programa de lubricación de la planta de generación de energía térmica más grande de Colombia, utilizando una metodología planeada, sistemática y enmarcada en confiabilidad. Como primer paso se lleva a cabo un diagnóstico de las actividades de lubricación, identificando oportunidades de mejoras estratégicas que lleguen a impactar positivamente en la disponibilidad y confiabilidad de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares. Seguidamente, se va abordando y optimizando cada una de los puntos de mejora, utilizando estrategias de clase mundial como la actualización de frecuencias de rutas y análisis de aceite, elaboración de cartas de lubricación, implementación de código de colores para la identificación de los lubricantes, y el mejoramiento de las herramientas de almacenamiento y distribución. En todo este proceso se destaca la homologación de lubricantes, con la cual se logra uno de los aportes más significativos, y de efecto inmediato, reduciendo el inventario de aceites y grasas en más del 40% aportando un ahorro de mas de 50 millones de pesos al presupuesto de mantenimiento.

Finalmente, se establecen dos indicadores para medir y controlar la gestión del programa de lubricación. El primer indicador hace referencia al numero de fallas asociadas a la lubricación y el segundo indicador permite controlar la tasa de consumo de aceite.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Francisco Jose Saldivia Saldivia. Magister en gerencia de mantenimiento.

Abstract

Title: Optimization of the lubrication program at the Termobarranquilla E.S.P S.A power generation plant*

Author(s): Isaac Chinchilla Noriega**

Key Words: Lubrication, oil analysis, reliability

Description: In this degree work, the optimization of the lubrication program of the largest thermal power generation plant in Colombia is developed, using a planned, systematic methodology framed in reliability. As a first step, a diagnosis of the lubrication activities is carried out, identifying opportunities for strategic wetting that will have a positive impact on the availability and reliability of the turbogenerators and their auxiliary equipment. Next, each of the improvement points is addressed and optimized, using world-class strategies such as updating route frequencies and oil analysis, drawing up lubrication charts, implementing color codes for lubricant identification, and the improvement of storage and distribution tools. Throughout this process, the homologation of lubricants stands out, with which one of the most significant contributions is achieved, and with immediate effect, it reduces the inventory of oils and greases by more than 40%, contributing savings of more than 50 million pesos. to the maintenance budget. Finally, two indicators were established to measure and control the management of the lubrication program. The first indicator refers to the number of failures associated with lubrication and the second indicator allows control of the rate of oil consumption.

* Degree Work

**School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Francisco Jose Saldivia Saldivia, Master in maintenance management.

Introducción

Termobarranquilla E.S.P S.A. – TEBSA, es el mayor generador térmico de Colombia, con una capacidad efectiva neta de 918 MW que cubre cerca del 12% de la demanda de energía nacional y del 45% de la demanda del Caribe. Ubicada a orillas del río Magdalena, municipio de soledad, departamento del atlántico. Actualmente, la empresa cuenta con dos plantas de generación de energía: la planta ABB y la planta SIEMENS.

La planta ABB trabaja en ciclo combinado con cinco (5) turbogeneradores a gas y dos (2) a vapor. Cada turbina a gas cuenta con una caldera recuperadora (HRSG) que utiliza la energía de los gases de combustión para generar vapor, este vapor se envía a las turbinas de vapor por medio de colectores y tuberías. Por otro lado, la planta SIEMENS cuenta con dos (2) turbogeneradores de vapor que trabajan, cada uno, en ciclo Rankine.

Cada turbogenerador cuenta con un robusto sistema de lubricación que tiene un reservorio de 3.000 Galones de aceite. Adicionalmente, las turbinas requieren equipos auxiliares para sus sistemas de refrigeración, condensado, alimentación de caldera y aceite de control. La confiabilidad y disponibilidad de estos equipos y sistemas es indispensable para el proceso de generación de energía.

La lubricación y la gestión de los lubricantes es una de las tareas más importantes dentro del programa de mantenimiento de TEBSA, y su objetivo es garantizar la integridad y confiabilidad de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares, evitando paradas no planeadas y/o daños mayores que aumenten los costos de mantenimiento o que pudieran comprometer la sostenibilidad de la compañía.

La dependencia de mantenimiento de TEBSA, trabaja continuamente en la búsqueda de estrategias que permitan el mejoramiento continuo en el proceso de generación de energía, por esta razón, la empresa se plantea la optimización del programa de lubricación.

El presente trabajo, busca optimizar el programa de lubricación de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares, mejorando la gestión de los lubricantes y sus pruebas de laboratorio. Adicionalmente, se evaluarán las frecuencias de lubricación y las cantidades aplicadas, todo esto con la finalidad de reducir costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de los equipos.

La energía eléctrica es indispensable para el crecimiento social e industrial del país, por esta razón, Termobarranquilla E.S.P S.A. requiere que la confiabilidad y la vida útil de sus turbogeneradores y equipos auxiliares sean igual o superior a la esperada según diseño, de esta manera continuar contribuyendo al desarrollo de la región caribe y del país, aportando energía confiable y eficiente.

Un adecuado programa de lubricación contribuye en gran manera al correcto funcionamiento y al cumplimiento de la vida esperada de los equipos, aportando valores agregados con la anticipación o detección de inicios de fallas mediante análisis de aceites en laboratorio, y reducción de fricción y desgaste en los componentes internos de las máquinas.

La relevancia de la lubricación dentro del proceso de generación de energía conlleva a realizar una optimización del programa de lubricación de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares, que lleve al incremento de la vida útil de los activos y a reducir las pérdidas económicas por paradas de planta no planeadas, de ahí la importancia de esta monografía.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Optimizar el programa de lubricación de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares en la central de generación de energía Termobarranquilla E.S.P S.A. mejorando las frecuencias de lubricación, la gestión de los lubricantes y sus pruebas de laboratorio, para reducir los costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de los equipos.

1.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar las actividades de mantenimiento que se realizan actualmente con énfasis en la lubricación de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares.

Desarrollar un plan de lubricación basado en las recomendaciones de los fabricantes, la correcta gestión de los lubricantes y análisis de laboratorio para aumentar la confiabilidad de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares.

Proponer indicadores de fallas y costos que permitan hacer seguimiento y evaluar la efectividad del programa de lubricación.

2 Marco teórico

La generación de energía en una central de ciclo combinado se realiza mediante la transformación de la energía liberada por un combustible (gas natural, carbón, fuel oil, etc.) en electricidad. Esto se logra comúnmente con los ciclos termodinámicos: Brayton y Rankine y/o la combinación de ellos (Dutra e Silva et al., 2019).

El ciclo Brayton modela el funcionamiento de las turbinas a gas y el ciclo Rankine corresponde a las turbinas de vapor. El trabajo conjunto, para generar energía, de una turbina a gas y una turbina a vapor se le conoce como ciclo combinado. A continuación, se describe el principio de operación de cada uno de estos ciclos.

2.1 Ciclo Brayton, el ciclo de las turbinas de gas

El aire del ambiente es aspirado y filtrado a través de una casa de filtros. El aire limpio fluye, a continuación, hasta la entrada del compresor, en donde es comprimido ganando temperatura y presión. En la salida del compresor el aire es enviado, en su gran mayoría, a la cámara de combustión (una parte del aire se utiliza para enfriamiento y obturación). En la cámara de combustión, el aire presurizado se mezcla con el gas y con la ayuda de una llama de arranque o “chispero” se produce el proceso de combustión. Los gases de combustión presurizados son enviados a la turbina donde se expanden a través de los alabes, produciendo energía mecánica para girar el eje turbina-compresor. Posteriormente los gases de combustión son descargados a la atmosfera (ABB, 1993).

El eje de la turbina este acoplado a un generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

2.2 Ciclo Rankine, el ciclo de las turbinas a vapor

Agua previamente filtrada y tratada químicamente (desmineralizada) se envía a una caldera donde por la acción de calor, producto de una combustión entre aire y un combustible, se convierte en vapor de alta presión y temperatura. Este vapor es enviado a la turbina para expandirse a través de los alabes, produciendo energía mecánica para girar el eje. El vapor, luego de salir de la turbina se hace pasar por un condensador de superficie o intercambiador de calor para convertirlo nuevamente en agua e iniciar el ciclo agua-vapor enviándola de vuelta a la caldera.

El eje de la turbina está acoplado a un generador que transforma la energía mecánica producida por el vapor en energía eléctrica.

2.3 Ciclo Combinado

Los gases de combustión de la turbina de gas, en lugar de ser enviados a la atmosfera, se hacen pasar por una caldera recuperadora de calor para producir vapor. Este vapor es enviado a una turbina de vapor donde se expande y la hace girar. A la salida de la turbina, el vapor pasa por un condensador de superficie o intercambiador de calor convirtiéndose en fase líquida y es enviado de vuelta a la caldera de recuperación para iniciar nuevamente el ciclo de agua vapor (ABB, 1993).

La turbina de gas y la de vapor tienen acoplado un generador para transformar la energía mecánica de cada turbina en energía eléctrica.

Para la operación de las turbinas y generadores, son necesarios equipos y/o sistemas auxiliares. A continuación, de forma general se mencionan los sistemas auxiliares que comúnmente tienen las turbinas de gas, las turbinas de vapor y los generadores eléctricos.

- Sistema de aceite lubricante: Su función es la de suministrar aceite filtrado a los cojinetes de la turbina y el generador a la temperatura y presión correctas.

- Sistema de aceite de emergencia: su función es la de suministrar aceite a los cojinetes de la turbina y el generador si hubiese una pérdida de corriente alterna en las bombas de aceite lubricante o si la presión en el sistema cae por debajo del punto mínimo establecido.
- Sistema de aceite de virado o levante: suministra aceite a alta presión a los cojinetes de la turbina y generador creando una capa de aceite que eleva ligeramente el rotor, reduciendo el par de torsión y el desgaste de los cojinetes.
- Sistema de aceite de virado o levante de emergencia: cumple la misma función que el sistema de aceite de virado o levante en caso de que hubiese una pérdida de corriente alterna.
- Sistema de giro lento: su función es girar el rotor después que la turbina y el generador salen de servicio para garantizar un enfriamiento uniforme del eje y evitar que se deforme por efectos de la temperatura.
- Sistema de aceite motriz o hidráulico: su función es enviar aceite filtrado a alta presión al control hidráulico de la turbina.
- Sistema de enfriamiento: su función es suministrar aire, agua o cualquier otra sustancia que ayude a mantener una temperatura idónea controlada en la turbina y generador.

3 Marco conceptual

3.1 Generalidades sobre mantenimiento

El mantenimiento se define como la combinación de acciones técnicas y de gestión que pretenden o que tienen como objetivo principal conservar y/o restaurar una maquina o componente a su estado inicial o en un estado en que pueda realizar lo requerido (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016). Bajo esta premisa el mantenimiento a evolucionado a lo largo de la historia según las necesidades que fueron surgiendo en la industria.

Inicialmente, la gestión del mantenimiento se limitaba a los trabajos correctivos o reactivos, posteriormente la planeación de actividades con una frecuencia definida fue tomando mayor importancia por sus beneficios económicos, finalmente se desarrollaron técnicas y tecnologías especializadas para poder predecir el comportamiento de las fallas y poder actuar incluso antes de que estas ocurrieran. Dentro de las técnicas o tecnologías que se utilizan hoy en día para predecir el comportamiento de las fallas y poder anticiparse a las mismas están: los análisis de vibraciones, ultrasonidos, termografías, análisis de aceites, entre otras.

Los análisis de aceite son una de las técnicas más utilizadas por la cantidad y valiosa información que suministra sobre el estado de los componentes internos de las maquinas. El análisis constante de los aceites utilizando diferentes técnicas que se aplican para determinar su composición química y, por ende, deducir los parámetros de funcionamiento, materiales extraños y sus anormalidades permiten predecir fallas que en algunos casos pudieran ser catastróficas (Gutierrez, 2009).

3.2 Generalidades sobre la lubricación

- Tribología: Es el estudio de las superficies que interactúan en movimiento relativo donde se incluye la aplicación de la fricción, el desgaste, la lubricación y aspectos asociados al diseño de los componentes de las maquinas (Noria Latín América, 2019).

- Fricción: es la resistencia que presentan los componentes o materiales al movimiento relativo entre las superficies que se encuentran en contacto. No es una propiedad del material, sino del sistema. Las fuerzas producidas por la fricción pueden ser estáticas o cinética.

La fricción estática se produce cuando dos cuerpos no están en movimiento relativo uno con respecto al otro. Mientras que la fricción cinética se produce cuando los cuerpos se mueven uno con respecto al otro (Albarracín, 2017).

- Desgaste: es la degradación o pérdida de material que se presenta paulatinamente a lo largo del tiempo y que reduce o limita la vida útil de las máquinas y sus componentes. Es inevitable o imposible que no suceda. Sin embargo, si es posible controlar las causas que lo originan. Los tipos de desgaste más común son: adhesivo, fatiga superficial, erosivo, abrasivo y corrosivo.

- Lubricante: sustancia líquida, semisólida, sólida o gaseosa, que se interpone entre dos piezas con el objetivo de minimizar la fricción existente por el movimiento relativo entre estas, así como sus efectos y consecuencias. Entre otras funciones, los lubricantes evacuan la máxima cantidad de calor generado por la fricción, evacuar impurezas de tipo orgánico y metálico, y amortiguar el efecto de la carga dinámica sobre las superficies de fricción (Hernandez, Leonardo; Rincon, 2017).

- Viscosidad: es una propiedad de los aceites, que se define como la resistencia a fluir. Está condicionada a la temperatura, cuando esta aumenta la viscosidad disminuye. Por lo contrario, si la temperatura disminuye, la viscosidad aumenta y el aceite presenta más resistencia para fluir.

- **Consistencia:** es una propiedad de las grasas, que se define como la capacidad de fluir y que está condicionada mayormente a la viscosidad del aceite base que tenga la grasa.

3.3 Lubricación

Es una de las funciones o tareas más importantes dentro de un programa de mantenimiento y que requiere de atención especial e influye en las metas productivas o de operación de las empresas; su correcta gestión impacta positivamente en la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas y sus componentes.

Uno de los procesos que se debe tener en cuenta para alcanzar y garantizar los objetivos de producción/operación, la eficiencia y rentabilidad del mantenimiento de las máquinas, es el proceso de lubricación desarrollado dentro de la filosofía de la lubricación centrada en la confiabilidad (Albarracín, 2017).

La implementación de un programa de lubricación debe involucrar procesos o gestión preventiva, predictiva, y ambiental en marcadas en la participación y/o ejecución de personal entrenado en tribología.

3.3.1 *Lubricación preventiva*

Tiene lugar cuando las actividades de lubricación se realizan con una frecuencia de tiempo definida y contempla tareas como el cambio y/o reposición de aceite, reengrasar, cambio o limpieza de filtros, entre otras.

Para la ejecución de este tipo de actividades se debe contar con la información técnica de lubricación de los equipos y sus componentes como las frecuencias, el tipo de lubricante, la cantidad de lubricante y los puntos que se deben lubricar. Generalmente, esta información es suministrada por los fabricantes de las máquinas y debe estar registrada en el software de mantenimiento y/o en formatos como cartas de lubricación.

las frecuencias de lubricación de las maquinas no deben ser arbitrarias, sino que deben estar establecidas en las condiciones operativas en las cuales trabajan.

3.3.2 lubricación predictiva

El análisis de aceites es una de las técnicas más importantes que tienen los ingenieros y el personal de mantenimiento para garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Por medio de los análisis se pueden obtener resultados con relativa facilidad si se cuenta con el conocimiento y entrenamiento adecuado. Los análisis de laboratorio que se realizan a los aceites son para determinar básicamente tres cosas: el estado del aceite tras su tiempo de uso, la cantidad de contaminantes externos que lleva, y sobre todo la cantidad de partículas de desgaste que tiene en suspensión.

Los análisis de aceite en laboratorios proporcionan información del estado del lubricante y de los componentes internos de la máquina. Sin embargo, no se debe dejar de lado las inspecciones y ensayos rutinarios a pie de maquina donde se pueden usar recipientes de material transparente para realizar valoraciones visuales del aceite para identificar características como color, olor, espuma, agua y/o partículas en suspensión (Teradillos, 2003).

Las frecuencias de muestreo de aceite y el tipo de análisis que se requieren realizar, generalmente son sugeridas por los fabricantes de las maquinas o por los fabricantes del lubricante. Sin embargo, pueden ser ajustados según el contexto operacional de los equipos y sus componentes.

3.4 Gestión ambiental de la lubricación

En este apartado se debe contar con una correcta disposición final de los aceites y grasas usados. Para esto se involucran la empresa dueña del lubricante usado, y las empresas encargadas del transporte, acopio y de disposición final. Sin embargo, la gestión ambiental de la lubricación

no solo se centra en la disposición final, sino también en el control de fugas en los sitios de trabajo y en los lugares destinados para almacenar los lubricantes.

Por otro lado, el manejo de los lubricantes puede tener consecuencias en la seguridad de las personas ya que, los aceites usados son residuos peligrosos y por lo cual necesitan un manejo adecuado. Ante todo, debe evitarse el contacto directo y, en general, evitar aquellas condiciones que puedan permitir que las personas sean expuestas a cualquier situación de riesgo (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

3.5 Cuarto de lubricación

Los lubricantes exigen adecuados procesos de manipulación y almacenamiento para evitar el deterioro, la contaminación e incluso la costosa eliminación de desechos de los recipientes dañados a la exposición al calor o frío excesivos (Exxon Mobil Corporation, 2009).

En el cuarto de lubricantes nace o inicia el proceso de lubricación, siendo el lugar donde se reciben, almacenan y se distribuyen las grasas y aceites hacia los diferentes equipos y componentes de la planta. No es posible tener un programa de lubricación confiable sino se cuenta con un correcto almacenamiento y distribución de los lubricantes. Es por esto que el cuarto de lubricación debe contar con características como:

- Piso de concreto tratado con pinturas epoxicas resistente a los aceites y al tráfico semipesado.
- Estar encerrado para evitar el ingreso de contaminación externa como polvo y agua.
- Iluminación adecuada
- Control del clima y humedad.
- Las puertas de acceso deben ser lo suficientemente grandes para facilitar el ingreso y salida de los tambores de aceite.

- Contar herramientas como puente grúas o estibadoras para el manejo de los lubricantes.
- Debe estar organizado por secciones para facilitar la ubicación de los diferentes tipos lubricantes.
- Debe contar con las marcaciones, etiquetas y señales que permitan mantener el orden y limpieza del cuarto y que ayuden a evitar la confusión entre lubricantes.
- Medidas de seguridad como botiquines, sistemas contra incendio, estación lava ojos y rutas de evacuación.
- Diques de contención contra derrames.

4 Marco legal

En Colombia, para la compra de lubricantes no se tienen regulaciones ni normativa, sin embargo, el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial emitió el manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados. Es importante mencionar que los aceites usados son considerados como residuos peligrosos (Ley 253, 1996).

Adicionalmente, la resolución 1188 de 2003 tiene por objeto adoptar en todas sus partes el Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados, el cual contiene los procedimientos, obligaciones y prohibiciones a seguir por los actores que intervienen en la cadena de la generación, manejo, almacenamiento, recolección, transporte, utilización y disposición de los denominados aceites usados, con el fin de minimizar los riesgos, garantizar la seguridad y proteger la vida, la salud humana y el medio ambiente. Donde la disposición final se entiende como todos los procesos de combustión, incineración, biorremediación, y/o encapsulamiento que

tengan como finalidad la eliminación de los aceites usados (Dirección del departamento técnico administrativo del medio ambiente, 2003).

Los lubricantes de tipo automotriz, son clasificados por la SAE (Society of Automotive Engineers), y su aplicación se centra en componentes que están sometidos a procesos de combustión interna como pistones, cilindros, válvulas entre otros. Por otro lado, los aceites industriales son clasificados por la ISO (International Organization for Standardization).

La ASTM (American Society for Testing and Materials), ha desarrollado diferentes pruebas y sus procedimientos para conocer las propiedades físico-químicas de los lubricantes y verificar que estos mantengan sus propiedades de diseño.

5 Plan de trabajo

Inicialmente se realizará un diagnóstico del mantenimiento con énfasis en lubricación de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares. A partir de este diagnóstico se optimizará el programa de lubricación de la central de generación de energía TERMOBARRANQUILLA S.A. con una metodología propia, centrada en confiabilidad y basada en prácticas de lubricación de clase mundial. Para esto se seguirá el proceso y plan de trabajo detallado en la figura 1.

Figura 1

Metodología de trabajo.



Nota. Metodología que se utilizará para la optimización del programa de lubricación en la empresa Termobarranquilla S.A.

5.1 Levantamiento de información

En esta etapa se recopilará toda la información técnica referente a la lubricación de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares, para esto se utilizará como fuente principal los manuales del fabricante y los datos de placa de los equipos. Para los casos donde no sea posible obtener los manuales ni la información de placa, se realizarán cálculos matemáticos que serán respaldados o comprobados con la experiencia del personal que actualmente ejecuta las actividades de lubricación. La información recopilada debe tener como mínimo los siguientes datos:

- Identificación del equipo.
- Datos de operación del equipo (velocidad, tipo de rodamientos, entre otras).

- Tipo de lubricante.
- Cantidad de lubricante.
- Partes a lubricar.
- Frecuencia de lubricación.
- Tareas de lubricación (reengrasar, cambiar, reponer, etc.)
- Frecuencia de muestreo de aceite.
- Análisis de aceite que se deben realizar.
- Fichas de seguridad de los lubricantes MSDS.

Toda esta información servirá para diseñar y crear las cartas de lubricación de los equipos. Adicionalmente, se podrá identificar la cantidad y los tipos de lubricantes necesarios para desarrollar el programa de lubricación.

En este punto, se podrá evaluar la homologación de lubricantes y optimizar el inventario de grasas y aceites que se debe almacenar para atender las necesidades de la planta.

Por último, toda la información recopilada se registrará en el software de mantenimiento Ellipse 9.0 (ERP utilizado por Termobarranquilla S.A) para que todas las partes interesadas puedan acceder a ella.

5.2 Cuarto de lubricación

Todo programa de lubricación que busque aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, de forma eficiente, debe contar con un cuarto de lubricación con estándares mínimos que permitan una correcta gestión de almacenamiento y distribución de los lubricantes. Para esto se evaluará los siguientes aspectos en el cuarto de lubricación actual de Termobarranquilla S.A.

- Control del clima y humedad.
- Herramienta para el almacenamiento de los lubricantes.

- Herramientas para la distribución de los lubricantes.
- Marcaciones y señalización.
- Condiciones de seguridad (botiquín, sistema contra incendio, entre otros).
- Herramientas y medidas contra derrames.

El cuarto de lubricación es el centro de mando, y como tal debe ser el reflejo de las buenas prácticas que se tienen en la gestión y ejecución de la lubricación, es por esto, que se replanteará el diseño del cuarto actual y se implementará un código de colores para la marcación e identificación de los lubricantes según su aplicación, viscosidad (aceites) o consistencia (grasas).

5.3 Rutas de lubricación.

Las rutas de lubricación serán gestionadas a través del software de mantenimiento Ellipse 9.0 y serán programadas y ejecutadas según la información plasmada en las cartas de lubricación.

5.4 Muestreo y análisis de aceite

Las frecuencias de muestreo de aceite y los tipos de análisis que se realizarán a los lubricantes de los turbogeneradores estarán definidas por el fabricante. Por otro lado, se seleccionarán los equipos auxiliares a los cuales se les pueda hacer análisis de aceite y se definirán sus frecuencias según la criticidad de los mismos y el volumen de lubricante que utilicen.

Al igual que las rutas de lubricación, todas las tareas de muestreo y análisis de aceite se gestionarán desde en el software de mantenimiento Ellipse 9.0 donde además se registrará el procedimiento para tomar las muestras de lubricante.

5.5 Disposición final y mejoramiento continuo.

Se definirá una zona dentro del cuarto de lubricación para el almacenamiento temporal de los aceites usados. Con la información recopilada en el punto 5.1 se podrá tener un aproximado

del consumo de lubricante de la planta, de esta manera, se programará el retiro y disposición final con la empresa gestora de este tipo de residuos.

Con el nuevo programa de lubricación en funcionamiento, surgirán oportunidades de mejora y/o ajustes que se realizarán enmarcados en el mejoramiento continuo. Adicionalmente, se generarán indicadores para medir la efectividad del programa.

6 Desarrollo de la metodología

6.1 Diagnóstico del programa de lubricación

Actualmente las tareas de lubricación se desarrollan de la siguiente manera: La lubricación de los equipos auxiliares está programada desde el software de mantenimiento Ellipse 9.0 con una frecuencia que, en la mayoría de los casos, está fijada por actividades preventivas de mantenimiento como ajustes, aplicación de pintura, cambio de elementos, limpieza, entre otras. Es decir, los equipos se están lubricando con frecuencias basadas en el desgaste de partes de los equipos y no en la degradación/desgaste del propio lubricante. Lo anterior se puede apreciar en la figura 2, en la cual se observa que, en un mantenimiento preventivo para verificar ajustes de tornillería, cambio de empaques, aplicación de pintura, entre otras, se realiza las actividades de lubricación.

Figura 2

Actividad de lubricación programada en Ellipse 9.0.

The screenshot displays the Ellipse 9.0 software interface. At the top, there is a menu bar with options: Submit, Refresh, +New, Save As, Delete, Open, and New Search. Below the menu bar, a sidebar on the left shows a tree view of tasks, with '001 REVISION BBA AGUA CIRCULACION ANU' selected. The main area shows the details for this task: Standard Job No. 000556, Standard Job Task 001, and Task User Status. Below this, there are tabs for Task Information, Job Instructions (selected), Planning, Costs, Material, Resource, and Equipment. The Job Instructions tab is active, showing a text area with the following instructions:

REVISAR ANCLAJE DE LA BOMBA. REVISAR CHEQUES SISTEMA LUBRICACION AGUA ENFRIAMIENTO. REVISAR AJUSTE DE TORNILLOS DE ACOUPLE. VERIFICAR ESTADO DE LA EMPAQUETADURA Y GOTEO POR LA MISMA. APLICAR CAPA DE PINTURA ANTICORROSIVA Y ACABADO, SI ES NECESARIO. REVISAR SOPORTES TUBERIAS PARA VERIFICAR QUE NO HAYA VIBRACIONES EXCESIVAS. REAJUSTAR LA TOLERANCIA DEL ROTOR. LIMPIAR ENFRIADORES Y REVISAR EMPAQUETADURAS DE LAS CAJAS DE AGUA, CAMBIAR SI ES NECESARIO. AL COLOCAR CAJAS LUBRICAR TORNILLOS Y TORQUEAR A 70N*m.

LIMPIAR VALVULA DE VENDEO DEL SISTEMA REFRIGERACION DEL MOTOR. REVISAR TORNILLERIA EXTERIOR PARA VERIFICAR QUE ESTE CORRECTAMENTE APRETADA.

*LUBRICACION: CHEQUEAR NIVELES DE ACEITE DEL MOTOR ISO VG100 (DTE 27 -SHELL TELLOS 68) Y DE GRASA (OKS400) EN RODAMIENTO DEL MOTOR LADO ACOUPLE.

Nota. La figura muestra la actividad de lubricación de la bomba agua de circulación turbogeneradores ABB, programada para ejecutarse cada año con una frecuencia basada en ajustes y limpiezas de componentes.

Las frecuencias fijadas por desgaste y/o ajustes y no por la degradación del lubricante, sumado a la falta de actualización del programa, ha traído consecuencias como la indisponibilidad de equipos por daños en las partes/componentes lubricados. Por ejemplo, la actividad de lubricación mostrada en la figura 2, no se debe realizar cada año sino cada tres meses. Adicionalmente, el aceite a utilizar no es de viscosidad ISO 100 sino un aceite sintético ISO 220 según recomienda el fabricante del equipo. Esta desactualización en el sistema provocó la falla del rodamiento axial del equipo con apenas 18 meses de uso (está diseñado para trabajar 48 meses), tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Falla rodamiento axial bomba agua de circulación # 1 planta ABB.

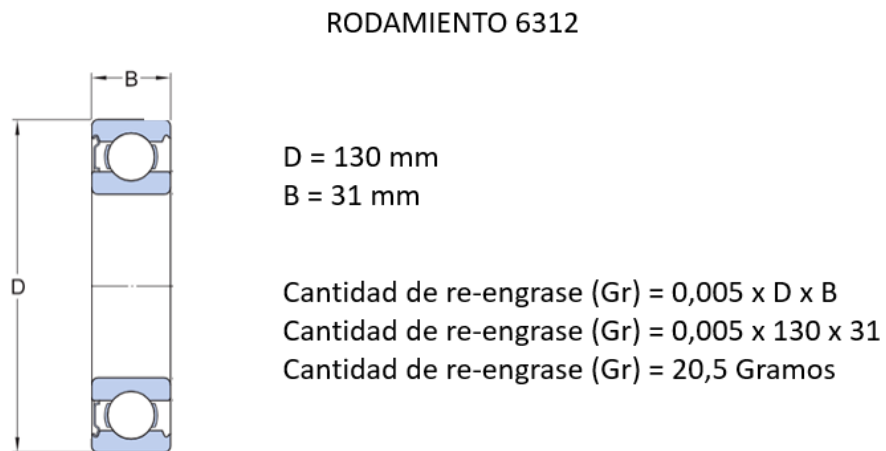


Nota. Daño de rodamiento axial por una incorrecta frecuencia de lubricación y por la aplicación de un lubricante con menor grado de viscosidad que el recomendado.

También se tiene registro de una falla asociada a problemas de lubricación, en el rodamiento lado acople del motor de una bomba de aceite de una de las turbinas a gas. Esta falla fue causada por falta de grasa, ya que se encontró su graseira cubierta de pintura, lo que reflejaba que, desde la instalación del rodamiento, este no se había lubricado, ver figura 5. El rodamiento solo opero 8 meses. En revisión del plan de mantenimiento de este equipo, se encontró que cada doce meses se le revisaba el acople, el ajuste de sus tornillos, se limpiaba y se lubricaba. En la descripción de estas tareas no se especificaba la cantidad ni el tipo de grasa que se debía aplicar al rodamiento. En consulta con el fabricante y el manual del equipo, se concluyó que se debía lubricar cada tres meses y no cada doce meses como se tenía en el programa de mantenimiento. La cantidad de grasa puede ser calculada según la geometría del rodamiento (Noria Latín América, 2015), tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Cálculo de re-engrase de rodamientos.



Nota. Cálculo de re-engrase para el rodamiento lado acople motor bomba de aceite lubricación # 2 turbina de gas GT 13.

Figura 5

Falla rodamiento motor bomba de aceite de lubricación # 2 GT13.



Nota. La figura muestra la falla del rodamiento por falta de lubricación y su grasera cubierta de pintura.

Por otro lado, la lubricación de los turbogeneradores se gestiona de forma distinta, ya que estos cuentan con reservorios de aproximadamente 3000 galones de aceite y su cambio se realiza por condición. Es decir, basado en los resultados de las pruebas y/o análisis de laboratorio que se le realizan al lubricante. La toma de muestras de aceite, para los análisis de laboratorio, se realiza una vez al año y no se encuentra programada en el software de mantenimiento Ellipse 9.0 sino que los ingenieros recuerdan que todos los febreros de cada año se debe hacer esta actividad. Las pruebas de laboratorios solo se realizan a los turbogeneradores, lo que quiere decir que, a los equipos auxiliares no se les monitorea la condición del lubricante.

El programa cuenta con un cuarto de lubricación donde se almacenan y distribuyen los lubricantes, en el cual se evidencian algunas oportunidades de mejora como: la deficiencia en herramientas, orden y aseo, señalización y posiblemente un sobre inventario de lubricantes.

En resumen, se tienen dos grandes y/o principales oportunidades de mejora que impactaran directamente en la confiabilidad de los turbogeneradores y sus equipos auxiliares. La primera consiste en modificar y/o crear nuevas frecuencias de lubricación a los equipos auxiliares, basándose en la degradación y consumo del lubricante, para lo que se tendrá en cuenta las recomendaciones de los fabricantes.

La segunda oportunidad de mejora consiste en actualizar la frecuencia de los análisis de aceite de los turbogeneradores, ya que la frecuencia actual de un año no es suficiente para anticiparse a daños internos en las maquinas o a la degradación del aceite. Adicionalmente, se deben incluir algunos equipos auxiliares para monitorear la condición de sus lubricantes y fallas en componentes internos como cojinetes.

6.2 Levantamiento de información

La información fue recopilada de los manuales y complementada con los datos de placa de los equipos. Se tomaron datos como la identificación de la máquina, velocidad, partes a lubricar, frecuencia de lubricación, tipo de lubricante, entre otros. En la tabla 1, se relaciona los equipos auxiliares que fueron objeto de la optimización del programa.

Tabla 1

Equipos auxiliares de los turbogeneradores en la empresa Termobarranquilla S.A.

		EQUIPOS AUXILIARES	CANTIDAD
TURBOGENERADOR A GAS PLANTA ABB	1	BOMBA LUBRICACIÓN AC	2
	2	BOMBA LUBRICACIÓN DC	1
	3	BOMBA ACEITE DE LEVANTE AC	1
	4	BOMBA ACEITE DE LEVANTE DC	1
	5	EXTRACTOR DE VAHOS	1
	6	BOMBA ACEITE DE CONTROL	1
	7	BOMBA GIRO LENTO	1
	8	BOMBA ENFRIAMIENTO GENERADOR	2
	9	VENTILADOR AGUA DE ENFRIAMIENTO	2
	10	VENTILADOR ENFRIAMIENTO DE CARCASA AC	3
	11	VENTILADOR ENFRIAMIENTO DE CARCASA DC	2
TURBOGENERADOR A VAPOR PLANTA ABB	12	BOMBA AUXILIAR ACEITE DE LUBRICACIÓN AC	1
	13	BOMBA ACEITE DE LUBRICACIÓN DC	1
	14	EXTRACTOR DE VAHOS	2
	15	BOMBA ACEITE DE CONTROL	2
	16	BOMBA ACEITE DE LEVANTE - GIRO LENTO	1
	17	BOMBA CTO CERRADO ENFRIAMIENTO	2
	18	BOMBA AGUA DE ALIMENTACIÓN ALTA PRESIÓN	3
	19	BOMBA AGUA DE ALIMENTACIÓN BAJA PRESIÓN	3
	20	BOMBA DE CONDENSADO PRINCIPAL	3
	21	BOMBA AGUA DE CIRCULACIÓN	4
TURBOGENERADOR A VAPOR PLANTA SIEMENS	22	BOMBA AUXILIAR DE LUBRICACIÓN AC	2
	23	BOMBA AUXILIAR DE LUBRICACIÓN DC	1
	24	BOMBA DE LEVANTE	2
	25	EXTRACTOR DE VAHOS	1
	26	BOMBA AGUA DE ALIMENTACIÓN	3
	27	VENTILADOR DE TIRO FORZADO	1
	28	VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO	1
	29	BOMBA DE CONDENSADO PRINCIPAL	2
	30	BOMBA DE AGUA DE CIRCULACIÓN	3
	31	BOMBA ELEVADORA DE PRESIÓN	3

Nota. Equipos auxiliares de los turbogeneradores a gas y vapor de las plantas ABB y SIEMENS en Termobarranquilla S.A.



Fuera del alcance de este trabajo quedan los equipos de las plantas de tratamiento de agua, ya que en su gran mayoría cuentan con rodamientos lubricados de por vida o sellados. También

quedan por fuera equipos no esenciales para la operación como bombas de aguas lluvias, agua potable, entre otras.

Con la información recopilada se elaboraron las cartas de lubricación de cada equipo, tal como la que se muestra en la figura 6, estas consisten en un instructivo grafico para lograr la completa identificación de los puntos a lubricar en los equipos. Garantizando que las personas encargadas de la lubricación realice sus actividades sin pasar por alto puntos importantes, reconociendo periodicidades, tipo y cantidad de lubricante (Callejas, 2015).

Figura 6

Carta de lubricación de los ventiladores de agua de enfriamiento.

CARTA DE LUBRICACIÓN									
									
									
EQUIPO	VENTILADOR AGUA ENFRIAMIENTO								
SKS	11MKF10AN011 / 12; 12MKF10AN011 / 12; 13MKF10AN011 / 12; 21MKF10AN011 / 12; 22MKF10AN011 / 12								
PLANTA	ABB								
LUBRICACIÓN	PLANTA EDOSPINA								
DESCRIPCIÓN	PARTE A LUBRICAR	RECOMENDACIÓN DE LUBRICANTE							
		ACEITE	TIPO	GRASA	TIPO	SC	ACTIVIDAD	CANTIDAD	FRECUENCIA
1. MOTOR	RODAMIENTON LADO LIBRE	N/A	N/A	UNIREX N2-NLGI 2	MINERAL	145417	REENGRASAR	20 GR	TRIMESTRAL
POTENCIA: 30 HP									
VELOCIDAD: 1175 RPM									
TENSIÓN: 460 V									
CORRIENTE: 38.5 AMP	RODAMIENTO LADO ACOPLE	N/A	N/A	UNIREX N2-NLGI 2	MINERAL	145417	REENGRASAR	20 GR	TRIMESTRAL
RODAMIENTO LADO LIBRE: 6312									
RODAMIENTO LADO ACOPLE: 6312									
2. VENTILADOR	CHUMACERA LADO ACOPLE	N/A	N/A	OKS 400	MINERAL	101626	REENGRASAR	15 GR	TRIMESTRAL
CHUMACERA SUPERIOR 50081	CHUMACERA LADO LIBRE	N/A	N/A	OKS 400	MINERAL	101626	REENGRASAR	15 GR	TRIMESTRAL
CHUMACERA INFERIOR 50080									
VELOCIDAD: 222 RPM									
BLADES: 6	ACTIVIDAD ADICIONAL								
	ITEM	DESCRIPCIÓN							FRECUENCIA
	1	LIMPIAR LÍNEAS Y PUNTOS DE LUBRICACIÓN.							TRIMESTRAL

Nota. Carta de lubricación de uno de los equipos auxiliares de los turbogeneradores a gas.

Por otro lado, los datos tomados sirvieron como base para optimizar el inventario de lubricantes. Se encontró un inventario de \$ 24.399.547 en grasas y \$ 101.454.609 en aceites, para un total de \$ 125.854.155. Luego de aplicar estrategias como homologación de lubricantes y reducción de inventario, teniendo solo lo necesario para suplir las necesidades de lubricación de la planta, el inventario de grasas se redujo a \$ 11.773.945 y el de aceites a \$ 60.874.703, para un total de \$72.648.648. Esto supone un ahorro en inventario de lubricantes de \$ 53.205.507.

La homologación fue necesaria ya que dentro del inventario había lubricantes con las mismas propiedades y composición que podían ser utilizados indistintamente, para esto se tuvieron en cuenta factores como la compatibilidad, viscosidad, aditivos, espesantes y principalmente el tipo de aplicación dentro de la planta. En total se homologaron tres tipos de grasas y seis aceites. Ver tabla 2 y 3.

Tabla 2

Inventario actual de grasas vs inventario necesario.

INVENTARIO ACTUAL DE GRASAS LUBRICANTES								
ITEM REFERENCIA	FABRICANTE	NLGI	INVENTARIO KG	INVENTARIO CARTUCHO	PRECIO KG	PRECIO CARTUCHO	PRECIO INVENTARIO	
1 GRASA 410	OKS	2	10	0	\$ 52.262,50	\$ -	\$ 522.625	
2 GRASA 400	OKS	2	32	0	\$ 71.482,69	\$ -	\$ 2.287.446	
3 GRASA 422	OKS	2	0	5	\$ -	\$ 188.200,00	\$ 941.000	
4 GRASA 422	OKS	2	16	0	\$ 360.018,75	\$ -	\$ 5.760.300	
5 POLYREX EM	MOBIL	2	8	0	\$ 73.901,06	\$ -	\$ 591.208	
6 POLYREX EM 103	MOBIL	3	24	0	\$ 61.648,13	\$ -	\$ 1.479.555	
7 GRASA UNIREX N	MOBIL	2	32	0	\$ 60.094,13	\$ -	\$ 1.923.012	
8 GRASA PARA ACOPL	REXNORD - SKF	1	0	8	\$ -	\$ 39.100,00	\$ 312.800	
9 GRASA BESLUX K.B.L.	BRUGAROLAS	00	8	0	\$ 60.656,25	\$ -	\$ 485.250	
10 GRASA 240 - ALTA TEMPERATURA	OKS	---	44	0	\$ 229.462,50	\$ -	\$ 10.096.350	
TOTAL			174	13			\$ 24.399.547	

INVENTARIO DE GRASAS NECESARIAS PARA ATENDER LAS NECESIDADES DE PLANTA								
ITEM REFERENCIA	FABRICANTE	NLGI	INVENTARIO KG	INVENTARIO CARTUCHO	PRECIO KG	PRECIO CARTUCHO	PRECIO INVENTARIO	
1 GRASA 400	OKS	2	32	0	\$ 71.482,69	\$ -	\$ 2.287.446	
2 GRASA 422	OKS	2	0	4	\$ -	\$ 188.200,00	\$ 752.800	
3 POLYREX EM	MOBIL	2	16	0	\$ 73.901,06	\$ -	\$ 1.182.417	
4 POLYREX EM 103	MOBIL	3	16	0	\$ 61.648,13	\$ -	\$ 986.370	
5 GRASA UNIREX N	MOBIL	2	32	0	\$ 60.094,13	\$ -	\$ 1.923.012	
6 GRASA BESLUX K.B.L.	BRUGAROLAS	00	16	0	\$ 60.656,25	\$ -	\$ 970.500	
7 GRASA 240 - ALTA TEMPERATURA	OKS	---	16	0	\$ 229.462,50	\$ -	\$ 3.671.400	
TOTAL			128	4			\$ 11.773.945	

Nota. Las referencias de grasas en negrita y cursiva fueron homologadas.

Tabla 3

Inventario actual de aceites vs inventario necesario para suplir las necesidades de lubricación.

INVENTARIO ACTUAL DE ACEITES LUBRICANTES						
ITEM	REFERENCIA	FABRICANTE	VISCOSIDAD / GRADO	INVENTARIO GAL	PRECIO GALON	VALOR INVENTARIO
1	ACEITE DTE SERIE NAMED - LIGHT	MOBIL	32	165	\$ 68.748	\$ 11.343.384
2	ACEITE DE TURBINA GST	CHEVRON	46	675	\$ 19.717	\$ 13.308.975
3	ACEITE DE TURBINA REGAL OIL	CHEVRON	46	565	\$ 20.410	\$ 11.531.650
4	ACEITE DTE SERIE NAMED - MEDIUM	MOBIL	46	140	\$ 42.241	\$ 5.913.697
5	ACEITE DTE SERIE NAMED -HEAVY MEDIUM	MOBIL	68	195	\$ 70.336	\$ 13.715.512
6	ACEITE SERIE SHC 600 - 629	MOBIL	150	15	\$ 252.605	\$ 3.789.072
7	ACEITE MOBIL GEAR 600 XP - 220	MOBIL	220	55	\$ 64.659	\$ 3.556.237
8	ACEITE SERIE SHC 600 - 636	MOBIL	680	70	\$ 193.961	\$ 13.577.278
9	ACEITE MOBIL GEAR SERIE 600 XP 636	MOBIL	680	30	\$ 47.471	\$ 1.424.132
10	ACEITE SELECT T-30	INGERSOLL RAND	---	6	\$ 15.340	\$ 92.040
11	ACEITE S-460	KAESER	---	6	\$ 256.343	\$ 1.538.058
12	ACEITE SIGMA FLUID S-570	KAESER	---	8	\$ 177.444	\$ 1.419.552
13	ACEITE TELLUS S2 M 68	SHELL	68	30	\$ 54.558	\$ 1.636.731
14	ACEITE DTE SERIE 20 - 24	MOBIL	32	100	\$ 41.633	\$ 4.163.300
15	ACEITE DTE SERIE 20 - 27	MOBIL	100	55	\$ 44.085	\$ 2.424.660
16	ACEITE NUTO 100 / TERESSTIC	MOBIL	100	100	\$ 44.488	\$ 4.448.756
17	ACEITE CYLINDER 600 W	MOBIL	375	55	\$ 62.001	\$ 3.410.066
18	ACEITE DELVAC 1340	MOBIL	40	70	\$ 54.604	\$ 3.822.298
19	ACEITE DELVAC 1	MOBIL	5W-40	3	\$ 107.346	\$ 322.037
20	ACEITE MX ESP	MOBIL	15W-40	1	\$ 17.176	\$ 17.176
21	ACEITE TRANSFERENCIA MOBILTHERM 603	MOBIL	---	0	\$ -	\$ -
TOTAL				2344		\$ 101.454.609

INVENTARIO DE ACEITES LUBRICANTES NECESARIOS PARA ATENDER LAS NECESIDADES DE PLANTA						
ITEM	Item Name	Fabricante	VISCOSIDAD / GRADO	INVENTARIO GAL	PRECIO GALON	VALOR INVENTARIO
1	ACEITE DTE SERIE NAMED - LIGHT	MOBIL	32	110	\$ 68.748	\$ 7.562.256
2	ACEITE DE TURBINA GST	CHEVRON	46	220	\$ 19.717	\$ 4.337.740
3	ACEITE DE TURBINA REGAL OIL	CHEVRON	46	220	\$ 20.410	\$ 4.490.200
4	ACEITE DTE SERIE NAMED -HEAVY MEDIUM	MOBIL	68	165	\$ 70.336	\$ 11.605.433
5	ACEITE MOBIL GEAR 600 XP - 220	MOBIL	220	110	\$ 64.659	\$ 7.112.474
6	MOBIL SHC 600 XP - 220	MOBIL	220	10	\$ 311.611	\$ 3.116.110
7	ACEITE MOBIL GEAR SERIE 600 XP 636	MOBIL	680	55	\$ 47.471	\$ 2.610.908
8	ACEITE SELECT T-30	INGERSOLL RAND	---	6	\$ 15.340	\$ 92.040
9	ACEITE S-460	KAESER	---	6	\$ 256.343	\$ 1.538.058
10	ACEITE SIGMA FLUID S-570	KAESER	---	8	\$ 177.444	\$ 1.419.552
11	ACEITE TELLUS S2 M 68	SHELL	68	55	\$ 54.558	\$ 3.000.673
12	ACEITE DTE SERIE 20 - 24	MOBIL	32	55	\$ 41.633	\$ 2.289.815
13	ACEITE DTE SERIE 20 - 27	MOBIL	100	55	\$ 44.085	\$ 2.424.660
14	ACEITE CYLINDER 600 W	MOBIL	375	55	\$ 62.001	\$ 3.410.066
15	ACEITE DELVAC 1340	MOBIL	40	55	\$ 54.604	\$ 3.003.234
16	ACEITE TRANSFERENCIA MOBILTHERM 603	MOBIL	---	55	\$ 52.027	\$ 2.861.485
TOTAL				1240		\$ 60.874.703

Nota. Las referencias de aceites en negrita y cursiva fueron eliminadas/homologadas del programa de lubricación.

En el inventario también se encontró aceites lubricantes que tenían más de 12 años de antigüedad, como es el caso del aceite mostrado en la figura 7, lo que pudiera comprometer la confiabilidad de las actividades de lubricación y por ende la de los equipos.

Figura 7

Tambor de Aceite DTE MEDIUM.



Nota. Tambor de 55 galones de aceite DTE médium con fecha de fabricación del año 2009.

6.3 Cuarto de lubricación

El cuarto de lubricación actual, mostrado en la figura 8, cuenta con el espacio suficiente para la correcta gestión de los lubricantes desde el almacenamiento hasta la distribución a cada equipo de la planta. Adicionalmente, cuenta con herramientas contra derrames y de seguridad como botiquines y equipos contra incendios. Sin embargo, tiene las siguientes oportunidades de mejora:

- El clima dentro del cuarto no es controlado
- Las herramientas para la distribución no son suficientes ni las correctas
- No se cuenta con marcación para identificar los lubricantes.

EL clima controlado dentro del cuarto de lubricación es el ideal, esto permite disminuir las probabilidades de contaminación por cambios de temperatura que pudieran generar vapores o condensados en los lubricantes. Adicionalmente, controlar agentes externos como polvo y partículas del ambiente. La contaminación de los lubricantes en todo su proceso de utilización (desde la compra hasta la administración a la máquina lubricada) constituyen la causa de más del 80% del desgaste en sistemas hidráulicos (en otros sistemas, este valor puede estar entre el 50 y el 70%) (Abarejo, 2020).

Para lograr lo mencionado se propuso un nuevo diseño del cuarto de lubricación, como el que se muestra en la figura 9, ya que el actual tiene encerramientos en malla que permiten el paso de contaminación externa y dificulta mantener una temperatura constante dentro del cuarto.

Figura 8

Cuarto de lubricación actual.



Nota. Parte frontal del cuarto de lubricación cerrado por portones de malla que permite el ingreso de polvo y contaminantes al interior del cuarto.

Figura 9

Diseño propuesto para el cuarto de lubricación.



Nota. Diseño propuesto que incluye marcación de áreas y encerramiento que permita controlar el clima al interior del cuarto.

la construcción del nuevo diseño del cuarto no está dentro del alcance de esta monografía, ya que solo se limita a una propuesta que se presentó a la gerencia de planta y que será evaluada en los presupuestos de los próximos años.

No es suficiente con que el cuarto de lubricación cuente con unas instalaciones idóneas, también son esenciales las herramientas de distribución para desarrollar las actividades de lubricación, ya que con ellas se lleva el lubricante desde el cuarto hasta cada una de los puntos que se requieren lubricar. Estas herramientas deben garantizar que el lubricante no se contamine desde que sale del cuarto hasta que sea aplicado en cada una de las maquinas, para esto deben ser herméticas, deben contar con una salida de lubricante que se pueda controlar y deben estar marcadas o rotuladas para su fácil identificación.

Dentro de las herramientas de distribución, las principales son las aceiteras y engrasadoras. El programa de lubricación contaba con herramientas que no aportaban confiabilidad a las tareas de lubricación, ya que se tenía “jarras”, como las mostradas en la figura 10, que se utilizaban como aceiteras, estas eran abiertas a la atmósfera lo que permitía contaminación con el ambiente y facilitaba la presencia de derrames en el transporte y aplicación del lubricante. Esto fue solucionado con la compra de treinta aceiteras con su tapa de acuerdo al código de color de lubricantes (se explicará en detalle más adelante), marcadas y con su salida de aceite controlada por una válvula de aire, como las que se muestran en la figura 12.

Adicionalmente, se contaba con cuatro engrasadoras sin ningún tipo de identificación y que se llenaban de grasa según las necesidades, es decir, la misma engrasadora podía ser utilizada con diferentes referencias de grasas, ver figura 11. Para mejorar este punto se compraron engrasadoras para cada referencia de grasa y rotuladas para su fácil identificación, según se muestra en la figura 13.

Figura 10

Aceiteras que se utilizaban en el programa de lubricación



Nota. La imagen muestra las dos aceiteras que se utilizaban para la lubricación de los equipos.

Figura 11

Engrasadoras que se utilizaban en el programa de lubricación



Nota. La imagen muestra las engrasadoras, sin ningún tipo de identificación, que se utilizaban para la lubricación de los equipos.

Figura 12

Nuevas aceiteras



Nota. Nuevas aceiteras con su respectiva marcación del grado de viscosidad ISO, boquillas de aplicación y color para su fácil identificación.

Figura 13

Nuevas engrasadoras.



Nota. Nuevas engrasadoras con su respectiva marcación de la referencia de grasa que se debe utilizar y el logo de la empresa Termobarranquilla S.A.

Para mejorar la identificación y marcación en el cuarto de lubricantes, se implementó un código de colores, como el que se muestra en la tabla 4, que clasifica a los aceites según su aplicación y su grado de viscosidad ISO y a las grasas según su aplicación, grado de consistencia NLGI y espesante. Adicionalmente, y como ya se mencionó, se compraron herramientas de distribución, como aceiteras y engrasadoras para cada referencia de lubricante y marcadas según el código de color del lubricante (las engrasadoras fueron identificadas con el nombre de la grasa que se debe usar en ella).

Lo anterior para evitar la contaminación cruzada, que puede ocurrir durante el almacenamiento, la manipulación o las actividades de aplicación. Implica la contaminación del lubricante con otro lubricante, solvente o aceite de montaje usado en la planta (Noria Latín América, 2017).

Tabla 4

Código de color para la identificación de lubricantes.

ITEM	REFERENCIA	FABRICANTE	VISCOSIDAD	APLICACIÓN	COLOR
1	ACEITE DTE SERIE NAMED - LIGHT	MOBIL	32	RODAMIENTOS Y COJINETES	AMARILLO
2	ACEITE DE TURBINA GST	CHEVRON	46	TURBINAS / BOMBAS	VERDE OSCURO
3	ACEITE DE TURBINA REGAL OIL	CHEVRON	46	TURBINAS	---
4	ACEITE DTE SERIE NAMED -HEAVY MEDIUM	MOBIL	68	RODAMIENTOS Y COJINETES	ROJO
5	ACEITE MOBIL GEAR 600 XP - 220	MOBIL	220	CAJAS DE ENGRANAJES	MORADO
6	ACEITE MOBIL SHC 600 XP - 220	MOBIL	220	RODAMIENTOS BAJAS RPM	MORADO
7	ACEITE MOBIL GEAR SERIE 600 XP 636	MOBIL	680	RODAMIENTOS BAJAS RPM	NEGRO
8	ACEITE SELECT T-30	INGERSOLL RAND	---	COMPRESORES	---
9	ACEITE S-460	KAESER	---	COMPRESORES	---
10	ACEITE SIGMA FLUID S-570	KAESER	---	COMPRESORES	---
11	ACEITE TELLUS S2 M 68	SHELL	68	SISTEMAS HIDRÁULICOS	ROJO
12	ACEITE DTE SERIE 20 - 24	MOBIL	32	SISTEMAS HIDRÁULICOS	AMARILLO
13	ACEITE DTE SERIE 20 - 27	MOBIL	100	RODAMIENTOS Y COJINETES	NARANJA
14	ACEITE CYLINDER 600 W	MOBIL	375	REDUCTORES PUENTE GRÚAS	VERDE CLARO
15	ACEITE DELVAC 1340	MOBIL	40	MOTORES DIESEL	MARRON
16	ACEITE TRANSFERENCIA MOBILTHERM 603	MOBIL	---	TRANSFERENCIA DE CALOR	AZUL

ITEM	REFERENCIA	FABRICANTE	GRADO NLGI	ESPELANTE / APLICACIÓN	COLOR
1	GRASA 400	OKS	2	JABON DE LITIO	ROJO
2	GRASA 422 (CARTUCHO)	OKS	2	JABON COMPLEJO DE BARIO	MORADO
3	GRASA POLYREX EM	MOBIL	2	POLIUREA	NARANJA
4	GRASA POLYREX EM 103	MOBIL	3	POLIUREA	AMARILLO
5	GRASA UNIREX N	MOBIL	2	COMPLEJO DE LITIO	NEGRO
6	GRASA BESLUX K.B.L.	BRUGAROLAS	00	CABLES	VERDE
7	GRASA 240 ALTA TEMPERATURA	OKS	---	TORNILLERIA	AZUL

Nota. Los aceites para compresores no se les asignó color, ya que se guardan en el almacén principal y vienen en presentación de 1 galón listo para ser aplicado. Por otro lado, el aceite REGAL 46 tampoco se le asignó color, ya que en los próximos años (cuando el aceite instalado cumpla su vida útil) será remplazado por el aceite GST 46.

Con la implementación del código de color para los lubricantes, la reducción de inventario y la marcación, el orden y aseo en el cuarto mejoró notablemente, como se puede apreciar en las figuras 14 a la 17.

Figura 14

Organización antes de la implementación del código de color de los lubricantes.



Nota. La figura muestra la zona de distribución del cuarto de lubricación.

Figura 15

Organización después de la implementación del código de color.



Nota. La figura muestra la zona de distribución del cuarto de lubricación.

Figura 16

Almacenamiento de aceites lubricantes antes de optimizar el inventario.



Nota. La figura muestra el almacenamiento de 21 tambores de aceite lubricante en el cuarto de lubricación.

Figura 17

Almacenamiento de aceites lubricantes después de optimizar el inventario.



Nota. La figura muestra el almacenamiento de 14 tambores de aceite lubricante en el cuarto de lubricación con su respectiva zona demarcada y señalizada.

6.4 Rutas de lubricación

Un programa de lubricación efectivo consta de varias partes, entre ellas se encuentran las rutas de lubricación, que no son más que una secuencia de acciones de lubricación agrupadas de manera conveniente que faciliten su planificación y programación (Ingmelendez, 2017).

Con la información recopilada y plasmada en las cartas de lubricación, se planearon y programaron las rutas desde el software de mantenimiento Ellipse 9.0.

Debido a que las tareas de lubricación estaban fijadas por frecuencia de ajustes, desgaste y cambio de elementos de los equipos y no por la degradación del lubricante, fue necesario crear tareas exclusivas para ejecutar la lubricación de los equipos. Es decir, las actividades de lubricación fueron separadas de las demás actividades preventivas, tal como se aprecia en la figura 18, ya que las frecuencias de estas no coincidían con las necesidades de lubricación de las máquinas.

Figura 18

Rutas de lubricación gestionadas desde el software de mantenimiento.

Standard Jobs

000333 LUBRICACIÓN EQUIPOS SISTEMA DE ACEITE GT

001 LUBRICAR BBA ACEITE LUBRICA. GT AC/DC
 002 LUBRICAR BBAS ACEITE DE LEVANTE AC/DC
 003 LUBRICAR EXTRACTOR DE VAHOS
 004 LUBRICAR BBA POWER OIL

TAREAS

Standard Job No: 000333 LUBRICACIÓN EQUIPOS SISTEMA DE ACEITE GT
 Global Indicator: LE LISTA PARA EJECUTAR
 User Status: LE

Document Link

Document No	Document Name 1	Document Nam...	Elect Ref
112	CARTA DE LUBRICACION - BBA LUBRICACION GT AC		smb://nas02.tebsa.loca
113	CARTA DE LUBRICACION - BOMBA ACEITE GT DC		smb://nas02.tebsa.loca
114	CARTA DE LUBRICACION - BOMBA ACEITE LEVANTE GT AC		smb://nas02.tebsa.loca
115	CARTA DE LUBRICACION - BBA LEVANTE GT DC		smb://nas02.tebsa.loca
116	CARTA DE LUBRICACION - EXTRACTOR DE VAHOS GT		smb://nas02.tebsa.loca
117	CARTA DE LUBRICACION - BBA POWER OIL		smb://nas02.tebsa.loca

DESCARGAR CARTAS DE LUBRICACIÓN

CARTAS DE LUBRICACIÓN

PROGRAMACIÓN

Planned Start Date	Planned Start Time	Description
16/05/2022	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
14/08/2022	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
12/11/2022	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
10/02/2023	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
11/05/2023	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
09/08/2023	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
07/11/2023	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
05/02/2024	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
03/05/2024	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT
03/08/2024	08:00:00	PH 900 LUBRICACION EQUIPOS SISTEMA ACEITE GT

Nota. Ruta de lubricación para los equipos del sistema de aceite de las cinco turbinas a gas.

Con la información cargada en el software de mantenimiento, los ingenieros implicados en el programa de lubricación pueden gestionar las rutas de forma efectiva y con las cartas de lubricación el personal encargado de lubricar las máquinas puede desarrollar sus tareas de forma confiable y eficiente.

6.5 Muestreo y análisis de aceite

Como se mencionó anteriormente, a los turbogeneradores se les analizaba el aceite una vez al año y esta tarea no estaba programado en el software de mantenimiento lo que significaba que la ejecución de esta tarea dependía de que los ingenieros de mantenimiento recordaran que se debía realizar. Adicionalmente, no se analizaban los aceites de ninguno de los equipos auxiliares.

Como parte de la optimización del programa de lubricación, a los nueve turbogeneradores se les definió dos frecuencias análisis de aceite, una mensual y otra semestral. Todo esto según las recomendaciones del fabricante de las turbinas ABB (propiedad de General Electric). Para los turbogeneradores SIEMENS, se encontró información muy similar a las emitidas por General Electric, por lo cual, y teniendo en cuenta que el aceite utilizado es el mismo en ambos tipos de turbogeneradores, se decidió utilizar las mismas frecuencias y tipos análisis recomendados para ambos fabricantes.

En los análisis de aceite mensuales, se monitorea la condición de los componentes internos de los turbogeneradores por conteo de partículas de desgaste y la condición del lubricante con pruebas como viscosidad, oxidación, aditivos, contaminación y contenido de agua. En los análisis semestrales, se evalúa los mismos parámetros que en los mensuales más pruebas especiales como demulsibilidad, contenido de barniz, vida remanente del lubricante, formación de espuma, entre otros. Esto sin duda permitirá tener suficientes datos para evaluar, de forma eficiente y veraz, la tendencia de diferentes parámetros o valores que reflejan la condición real del lubricante y el

desgaste de componentes internos en las turbinas y generadores, reflejándose como un valor agregado a la confiabilidad de toda la planta, ya que por medio de estos análisis del lubricante se podrá actuar de forma anticipada ante la degradación del lubricante y/o fallas potenciales por desgaste de elementos o piezas internas como los cojinetes.

Equipos auxiliares como las bombas de agua de alimentación de la planta SIEMENS y ABB son esenciales e indispensables para la operación de los turbogeneradores. Adicionalmente, son equipos de gran tamaño que cuentan con su propio sistema de lubricación (reservorio, enfriador y bomba de aceite) y que por su contexto operacional cuentan con modos de falla como son el desgaste de cojinetes y la probabilidad de que su aceite se contamine con agua en su proceso de refrigeración, es por esto que se incluyeron en el programa de análisis de aceite con el objetivo de garantizar la confiabilidad de estos equipos críticos para la generación de energía. El volumen de lubricante que utilizan estas bombas es: 36 gal las bombas (seis) de la planta SIEMENS y 30 gal las bombas (tres) de la planta ABB. La frecuencia de los análisis para estos equipos se definió que se realizarán cada 30 días (mensual).

Las rutas de muestreo y análisis de aceite con sus respectivas instrucciones se cargaron y programaron en el software de mantenimiento, ver figura 19. Todas las muestras de aceite serán analizadas en laboratorios externos.

Figura 19

Rutas de muestreo y análisis de aceite

Standard Jobs

001478 TOMA MUESTRAS ACEITE MENSUAL

Standard Job No: 001478 | Global Indicator: | User Status: LE | LISTA PARA EJECUTAR

Planning | Costs | **Equipment** | Job Codes | Extended Description | Reference Codes | Document Link

TURBOGENERADORES A VAPOR Y GAS

-ANTES DE TOMAR LA MUESTRA, EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEBE HABER ESTADO EN FUNCIONAMIENTO DURANTE AL MENOS 32 HORAS.
 -ANTES DE TOMAR LA MUESTRA, DESCARGUE APROX DE 3-4 LITROS DE ACEITE.
 -ENJUAGUE EL RECIPIENTE DE LA MUESTRA TRES VECES CON ACEITE.
 -TOME UNA (1) MUESTRA DE 100 ML DEL TOMA MUESTRA AGUAS ABAJO DE LOS FILTROS.
 -ETIQUETE LAS MUESTRAS CON LA FECHA Y EL EQUIPO AL QUE PERTENECE.
 -HAGA EL EMBALAJE DE LAS MUESTRAS EN PRESENCIA DEL SUPERVISOR DE VIGILANCIA CON LA RESPECTIVA ORDEN DE SALIDA.
 -ENVIE LAS MUESTRAS A LA SIGUIENTE DIRECCION:
 Polaris laboratorios
 km 3.4 vía Bogotá a Siberia
 Centro Empresarial Metropolitanos
 Bodega 21 Módulo 1
 Cota-Cundinamarca
 CEL:3179815523

BOMBAS AGUA ALIMENTACION DE CALDERA

-ANTES DE TOMAR LA MUESTRA, EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEBE HABER ESTADO EN FUNCIONAMIENTO DURANTE AL MENOS 32 HORAS.
 -ENJUAGUE EL RECIPIENTE DE LA MUESTRA TRES VECES CON ACEITE.
 -TOME UNA (1) MUESTRA DE 100 ML DEL RESERVOIRO DE ACEITE.
 -ETIQUETE LAS MUESTRAS CON LA FECHA Y EL EQUIPO AL QUE PERTENECE.
 -HAGA EL EMBALAJE DE LAS MUESTRAS EN PRESENCIA DEL SUPERVISOR DE VIGILANCIA CON LA RESPECTIVA ORDEN DE SALIDA.
 -ENVIE LAS MUESTRAS A LA SIGUIENTE DIRECCION:
 NOBEL SERV ANÁLISIS DE LUBRICANTES
 AUTOPISTA MEDELLIN, CALLE 80 KM. 7 COSTADO SUR,
 CELTA TRADE PARK, UNIDAD PRIVADA 152-2
 BOGOTA COLOMBIA
 CEL: 311 6735828

Equip	Equip Desc 1	Equip Desc 2
90LAC50AP001	BBA AGUA ALIMENT. HP No1	BOMBA AGUA ALIMENTACION HP No.1
90LAC60AP001	BBA AGUA ALIMENT. HP No2	BOMBA AGUA ALIMENTACION HP No.2
90LAC70AP001	BBA AGUA ALIMENT. HP No3	BOMBA AGUA ALIMENTACION HP No.3
04RL01D001	BBA AGUA ALIMENTACION No1	BOMBA AGUA ALIMENTACION No.1
03RL01D001	BBA AGUA ALIMENTACION No1	BOMBA AGUA ALIMENTACION No.1
04RL02D001	BBA AGUA ALIMENTACION No2	BOMBA AGUA ALIMENTACION No.2
03RL02D001	BBA AGUA ALIMENTACION No2	BOMBA AGUA ALIMENTACION No.2
04RL03D001	BBA AGUA ALIMENTACION No3	BOMBA AGUA ALIMENTACION No.3
03RL03D001	BBA AGUA ALIMENTACION No3	BOMBA AGUA ALIMENTACION No.3
045C	SIST. ACEITE LUBRICACION TURBINA	ACEITE LUBRICACION Y REGULACION TURBINA
035C	SIST. ACEITE LUBRICACION TURBINA	ACEITE LUBRICACION Y REGULACION TURBINA
24MAV	SIST. GENERAL ACEITE LUBR.	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION
14MAV	SIST. GENERAL ACEITE LUBR.	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION
22MBV	SIST. GRAL ACEITE LUBRICACION	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION
21MBV	SIST. GRAL ACEITE LUBRICACION	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION
13MBV	SIST. GRAL ACEITE LUBRICACION	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION
12MBV	SIST. GRAL ACEITE LUBRICACION	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION
11MBV	SIST. GRAL ACEITE LUBRICACION	SISTEMA GENERAL ACEITE LUBRICACION

INSTRUCCIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE ACEITE

Nota. Ruta de muestreo y análisis de aceite mensual para los turbogeneradores y las bombas de agua de alimentacion, con su respectivo procedimiento y gestionada desde el software de mantenimiento Ellipse 9.0.

6.6 Disposición final y mejoramiento continuo

Para realizar una correcta gestión de la disposición final de los lubricantes usados, se utilizó toda la información recopilada y se estimó el consumo de aceite que se tendrá con el nuevo programa de lubricación. Los cálculos mostraron que el consumo promedio mensual de lubricante será de aproximadamente entre 25 y 35 galones. Para la disposición temporal de estos lubricantes se dispuso una zona dentro del cuarto de lubricación con una capacidad para cuatro tambores de 55 galones, es decir, 220 galones. Lo anterior significa que, dentro del cuarto de lubricación, se tendrá una capacidad de almacenamiento, del aceite usado, de hasta 6 meses de consumo. Sin

embargo, y previendo consumos de aceite no programados, se coordinó la recolección del lubricante usado cada cuatro meses con la empresa gestora de la disposición final.

Para garantizar la sostenibilidad en el tiempo y el mejoramiento continuo del nuevo programa de lubricación, se establecieron dos indicadores que permiten medir/controlar la efectividad de la lubricación de los equipos.

Los indicadores son la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño del proceso, cuya magnitud, al ser comparada con un nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se pueden tomar acciones correctivas o preventivas según sea el caso (Medina, 2014).

El primer indicador será el de fallas asociadas a la lubricación, se podrá llevar o cuantificar a través de los códigos de cierre de las ordenes de trabajo correctivas, ver figura 20. En estos códigos, en la casilla de “causa” se seleccionará “lubricación” cuando la falla del equipo se haya producido por esta causa.

Recopilando información del software y de los ingenieros y técnicos de mantenimiento, se pudo conocer que para el año 2020 se presentaron 12 fallas causadas por problemas en la lubricación y que para el año 2021 se tiene registro de 8 fallas. En lo que va corrido del año 2022 se han presentado 4 fallas relacionadas a problemas de lubricación. Debido a esto, este indicador de fallas asociadas a la lubricación tendrá, para el primer año, la meta de 3 fallas, para el segundo año será de 2 falla y a partir del tercer año será de 1 falla.

Figura 20*Códigos de cierre de las ordenes de trabajo correctivas*

Work Order	00075273	AUTHORISED
District Code	TBSA TERMOBARRANQUILLA S.A. E.S.P.	
Equipment Reference *	04RL03D001	
Component Code	BBA AGUA ALIMENTACION N03	Component Modifier Code
Standard Job	MOAC MOTOR AC	BOMBA AGUA AI
Síntoma *	REV. COJINETE LADO ACOUPLE - VIBRACIONES	
User Status	EE EN EJECUCION(OTS-LG)	

Descripción Síntoma	Tasks	Attachments	Document Link	Scheduling	Completion	Completion Comments	Job Codes
SINTOMA							
CAUSA							
PARTE QUE FALLA							
METODO DETECCION							
W/O CLASS 4							
W/O CLASS 5							

Nota. La figura muestra la casilla “causa” donde se debe seleccionar “lubricación” cuando se haya determinado que la falla del equipo se originó por problemas asociados a la lubricación.

El segundo indicador será el de la tasa de consumo de aceite, que es calcula con la siguiente formula:

$$Tasa\ de\ consumo\ de\ aceite = \frac{Cantidad\ de\ aceite\ consumido}{Capacidad\ instalada}$$

Este valor ayuda a conocer que también se controla el consumo de aceite, de acuerdo a la capacidad instalada. El benchmarking está entre 0.5 a 0.85; un resultado por arriba de este rango indica un problema de consumo, que puede provenir de fugas o cambios de aceite no programados. El valor agregado está en la identificación de las causas raíz y su eliminación (Cruz & Planta, 2016).

7 Conclusiones

En el diagnóstico inicial del programa de lubricación de Termobarranquilla S.A, se encontró que las frecuencias estaban fijadas por el desgates de los componentes de las máquinas y no por la degradación y/o consumo del lubricante, es decir, equipos que se lubricaban, por ejemplo, anualmente cuando se hacían otras actividades como el cambio de un acople y que en realidad se debían lubricar cada tres meses por la degradación de la grasa, esto sumado a la desactualización o falta de información provocaba múltiples fallos e indisponibilidad de los equipos. Adicionalmente, no se contaba con una estrategia clara para realizar los análisis de laboratorio de los aceites. Fue por esto que se necesitó crear nuevas tareas en el programa de mantenimiento que fueran exclusivas para los análisis de aceite y la lubricación de los equipos con frecuencias fijadas según el consumo y/o la degradación del lubricante.

El inventario de grasas y aceites que se tenía para el programa de lubricación de Termobarranquilla S.A era de \$ 125.854.155. Con estrategias como la homologación de lubricantes y solo almacenar lo necesario para cumplir las necesidades de lubricación de la planta se logró reducir a \$ 72.648.648 lo que supuso un ahorro de \$ 53.205.507.

Con la implementación del código de colores para los lubricantes utilizados en el programa, se logró mejorar notablemente el orden y el aseo dentro del cuarto de lubricación. A demás de reducir las probabilidades de contaminación en el proceso de almacenamiento y distribución de las grasas y aceites.

En el programa de lubricación anterior no se llevaban indicadores de gestión, con la optimización realizada se propusieron y establecieron indicadores que permitirán controlar el consumo de aceite y las fallas asociadas a la lubricación.

8 Recomendaciones

Con el fin de garantizar la sostenibilidad y el mejoramiento continuo del nuevo programa de lubricación se recomienda realizar estricto seguimiento y control a los indicadores de gestión que se establecieron en el desarrollo de esta monografía.

El técnico lubricador actual, es una persona con amplia experiencia en la ejecución de las actividades de lubricación. Sin embargo, es un trabajador que esta próximo a su jubilación. Es de vital importancia proyectar y capacitar el personal que a futuro se encargará de ejecutar las actividades del programa.

La optimización realizada al programa está basada, en su mayoría, en frecuencia de tiempo fijos o calendario, esto sin duda es un excelente punto de partida y dará mejoras inmediatas a la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de planta. Sin embargo, se recomienda que a futuro se estudie la posibilidad de realizar las actividades de lubricación basado en condición con la utilización de técnicas como el ultra sonido.

Con el tiempo, es inevitable que algunos equipos cumplan su vida útil y sean remplazados por nuevas máquinas que quizás vengan con recomendaciones de lubricantes diferentes a los que se tienen actualmente dentro del programa. Se recomienda que antes de comprar estos nuevos lubricantes se evalué cuidadosamente si este no es homologable y/o compatible con los que ya se tienen, lo anterior con el objetivo de no incrementar los costos por inventario de forma innecesaria.

Referencias Bibliográficas

- Abarejo, A. (2020). *Control de contaminación de lubricantes y su impacto en la confiabilidad*.
<https://predictiva21.com/control-contaminacion-lubricantes/>
- ABB. (1993). *Principales componentes de la Turbina a Gas GT11N2*. ABB.
- Albarracín, P. (2017). *Tribología y lubricación* (5th ed.). Litochoa.
- Callejas, D. S. (2015). *Diseño de rutinas y cartas de lubricación para los centros de mecanizado CNC de la compañía general de aceros S.A sucursal AV 68*.
- Ley 253, 52 Tetrahedron 13837 (1996).
- Cruz, A. E., & Planta, H. (2016). *La carta de lubricación: un documento clave en la gestión de lubricación*. <https://cmc-latam.com/2017/02/15/la-carta-de-lubricacion-un-documento-clave-en-la-gestion-de-lubricacion/>
- Dirección del departamento técnico administrativo del medio ambiente. (2003). *Resolución 1188*. 1–521.
- Dutra e Silva, S., Miraglia, M., Santos, A. O., Olivieri, C., Olvera, M. M. C., & Broto, P. C. (2019). Carta Editorial. *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribena*, 9(2), 11–17.
- Exxon Mobil Corporation. (2009). *Manipulación y almacenamiento de lubricantes*.
- Gutierrez, A. M. (2009). Mantenimiento planeación, ejecución y control. In *Africa's potential for the ecological intensification of agriculture*. Alfaomega.
- Hernandez, Leonardo; Rincon, C. (2017). *Aplicación de estándares de clase mundial al proceso de lubricación del área coquería de la siderúrgica Pazdelrío* [Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/>
- Ingmelendez. (2017). *Rutas de lubricación*.

<https://ingenieriamantenimiento.wordpress.com/2017/01/30/rutas-de-lubricacion/>

ISO 14224, & The British Standards Institution. (2016). Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento Iso 14224:2016. *Bsi*, 1999, 71.

Medina, R. J. (2014). *Indicadores Claves de Desempeño en el Mantenimiento*.

<https://predictiva21.com/indicadores-claves-desempeno-mantenimiento-equipo-estatico/>

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados*. www.minambiente.gov.co

Noria Latín América. (2015). *Calcula de la cantidad y frecuencia de re-engrase*.

<https://noria.mx/lublearn/calculo-de-la-cantidad-de-grasa-y-de-la-frecuencia-de-re-engrase/>

Noria Latín América. (2017). *Cómo identificar la fuente de contaminación del aceite*.

[https://noria.mx/lublearn/como-identificarla-fuente-de-contaminacion-del-](https://noria.mx/lublearn/como-identificarla-fuente-de-contaminacion-del-aceite/#:~:text=La%20contaminaci3n%20cruzada%20del%20aceite,montaje%20usado%20en%20la%20planta.)

[aceite/#:~:text=La contaminación cruzada del aceite,montaje usado en la planta.](https://noria.mx/lublearn/como-identificarla-fuente-de-contaminacion-del-aceite/#:~:text=La%20contaminaci3n%20cruzada%20del%20aceite,montaje%20usado%20en%20la%20planta.)

Noria Latín América. (2019). *Qué es la tribología*. <https://noria.mx/lublearn/que-es-la-tribologia>

Teradillos, J. (2003). Todo sobre la lubricación de las turbinas y su mantenimiento a través del análisis del aceite. *Ingeniería y Gestión de Mantenimiento*, 6(32), 59–67.