

Universidad Católica De Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



**PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO CENTRADO PRINCIPALMENTE EN EL ANÁLISIS
DE ACEITE EN LOS REDUCTORES DE VELOCIDAD UTILIZADOS PARA CALENTAMIENTO Y
ENFRIAMIENTO UNIFORME EN TURBINAS DE GAS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA
PUERTO BRAVO, MOLLENDO – AREQUIPA.**

Tesis presentada por el Bachiller:

Zeballos Benavides, Alonso Mauricio

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico

Asesores:

Ing. Cáceres Núñez, Augusto Emilio Carlos

Arequipa- Perú

2021

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 09 de Diciembre del 2020

Dictamen: 000757-C-EPIMMEM-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000757, presentado por:

2012224321 - ZEBALLOS BENAVIDES ALONSO MAURICIO

Titulado:

**PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO CENTRADO PRINCIPALMENTE EN EL ANÁLISIS DE
ACEITE EN LOS REDUCTORES DE VELOCIDAD UTILIZADOS PARA CALENTAMIENTO Y
ENFRIAMIENTO UNIFORME EN TURBINAS DE GAS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA PUERTO
BRAVO, MOLLENDO ? AREQUIPA.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR



2396 - CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS
DICTAMINADOR



DEDICATORIA

A:

Dios, por brindarme la sabiduría y las fuerzas en cada uno de mis objetivos a lo largo de mi vida y por estar presente en cada decisión realizada, sobre todo en los momentos más complicados.

Mi madre Erika y mi padre Jesús, los pilares de mi vida ya que sin ellos ninguna de las grandes metas de mi vida podría haber sido logradas; gracias por todo su esfuerzo, dedicación, experiencias, sabios consejos, amor y valores los cuales me guiaron en mi vida estudiantil y me continúan guiando en mi vida diaria y laboral.

Mi hermano mayor Fernando, quien es el motor de mi vida para buscar, alcanzar y cumplir con éxito todas las oportunidades que la vida me presente; que a pesar de su discapacidad me demostró a su manera su apoyo y felicidad en todos mis logros y me enseñó que una sonrisa y un abrazo sincero valen más que mil palabras de apoyo.

Mi enamorada Noelia, quien estuvo a mi lado desde el 2015 y juntos fuimos creciendo, apoyándonos y guiándonos en todos los aspectos como un gran equipo.

A todos los amigos y personas que hicieron cada uno de mis logros posibles, pero en especial Marycarmen, Juan Diego, Fabricio y Renato, con quienes estuvimos día a día esforzándonos y apoyándonos en nuestra preparación para poder cumplir con la mayor eficiencia y éxito esta gran y honorable profesión.

AGRADECIMIENTO

A:

Los docentes que me guiaron y apoyaron a lo largo de los estudios de pregrado, brindándome los conceptos y conocimientos necesarios para poder realizar un trabajo de investigación de esta magnitud.

Ing. Cáceres Núñez, Augusto Emilio Carlos, por todo el apoyo, asesoría y confianza brindada a lo largo desde la elaboración del plan de tesis hasta la culminación de la presente tesis.

Especial agradecimiento a la central termoeléctrica Puerto Bravo situada en Mollendo, en la cual pude desenvolverme en el área de mantenimiento y me brindó todos los conocimientos prácticos, así como de gestión permitiéndome participar en implementación de mejoras y buscar junto con mis compañeros la mejor forma de optimizar y seguir con la excelencia operacional.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló un plan de mantenimiento proactivo, centrado en los reductores los cuales son equipos críticos que participan directamente en el enfriamiento y calentamiento uniforme en las turbinas de gas 7FA.04. Se podrá apreciar que el muestreo y análisis de aceite en estos equipos es muy importante ya que su correcto seguimiento nos permitirá observar que los cambios de aceite pueden ampliarse reflejando un ahorro en un panorama anual adicional de mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad muy importantes para el tipo de operación de la planta.

El propósito de la central como reserva fría es poder generar energía y cumplir la demanda requerida cuando el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) sufre algún problema o falla de congestión, inestabilidad, y sobrecarga; así mismo diariamente el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) realiza sorteos de pruebas aleatorias entre las diferentes centrales las cuales indican que la unidad generadora seleccionada debe generar y sincronizar por un tiempo mínimo de 2 horas para lo cual todas las turbinas deben encontrarse con total disponibilidad y confiabilidad de lo contrario se produce un arranque no exitoso; siendo estos dos objetivos los principales de las áreas de operaciones y mantenimiento.

Se ha tenido en cuenta los manuales suministrados por los fabricantes del equipo, experiencia del personal de operaciones y mantenimiento, instructivos entregados después del proyecto de construcción de planta, así como los realizados durante los años de operación de manera que se complementen llegando a tener un plan de mantenimiento centrado en identificación de posibles fallas y poder alargar la vida del activo.

Palabras clave: mantenimiento proactivo, disponibilidad, confiabilidad, reserva fría.

ABSTRACT

In this work, a proactive maintenance plan was developed, focused on the reducers, which are critical teams that participate directly in the uniform cooling and heating of the turbines. It will be appreciated that the sampling and analysis of oil in these equipment is very important to you since its correct follow-up will allow us to observe that the oil changes can be expanded reflecting a saving in an additional annual panorama of improving the availability and reliability indicators that are very important for the type of plant operation.

The purpose of the plant as a cold reserve is to be able to generate energy and meet the demand required when the National Interconnected Electric System (SEIN) suffers a problem or failure of congestion, instability, and overload; Likewise, daily, the Economic Operation Committee of the National Interconnected System (COES) conducts random test draws between the different plants, which indicate that the selected generating unit must generate and synchronize for a minimum time of 2 hours, for which all turbines must to be found with total availability and reliability otherwise an unsuccessful start occurs; these two objectives being the main ones in the operations and maintenance areas.

The manuals supplied by the equipment manufacturers, the experience of the operations and maintenance personnel, instructions given after the plant construction project have been taken into account, as well as those made during the years of operation so that they are complemented, reaching a maintenance plan focused on identifying possible failures and being able to extend the life of the asset.

Key Words: proactive maintenance, availability, reliability, cold reserve.

INTRODUCCIÓN

La industria energética en el Perú involucra muchas fuentes utilizadas para su generación gas natural, carbón, viento, sol, hidrocarburos líquidos, etc.; debido a la gran demanda para las diferentes industrias en nuestro país se tienen generadoras que funcionan de manera continua, de manera intermitente con principal enfoque a la hora punta de 17:00 a 23:00 horas y generadoras de reserva fría las cuales entran en funcionamiento cuando el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) sufre algún problema y se necesita satisfacer la demanda de energía.

En la actualidad los principales indicadores utilizados por muchas generadoras eléctricas, que miden tanto las áreas operativas como las de mantenimiento, son la disponibilidad y confiabilidad buscando de esta forma la excelencia operacional, minimizar las paradas no programadas y poder cumplir con el objetivo principal que estas tengan ya sea con sus clientes directos privados, así como contratos firmados con el gobierno.

Dentro de la mejora continua el objetivo del área de mantenimiento es poder tener los equipos completamente operativos teniendo en cuenta los muchos factores que involucran seguridad, gestión, etc., un punto importante es tener una correcta gestión y control del presupuesto entregado por gerencia para poder lidiar con las muchas actividades de mantenimiento que una central requiere; anualmente se busca poder reducir los costos de mantenimiento pero no dejando de realizar actividades importantes sino buscar la mejor forma de optimizar los costos estos pueden realizarse buscando repuestos alternativos que cumplan con la necesidad teniendo la certeza que no fallarán, ampliar plazos de mantenimiento teniendo en cuenta la condición del equipo, buscar formas de predecir y prevenir fallas de manera que por ejemplo el cambio de una pieza en el momento adecuado pueda prevenir una falla así como ahorrar ante una falla que pueda tener gran impacto económicamente.

ÍNDICE

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Identificación Del Problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos	2
1.3 Objetivos de la Investigación	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Limitaciones del Estudio	4

CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Marco conceptual.	6
2.2.1. Virador de turbina (Turning Gear).....	6
2.2.2. Central Termoeléctrica clásica.....	9
2.2.3. Historia del mantenimiento.....	11
2.3. Definiciones de términos u otros contenidos.	12
2.3.1. Definiciones.	12
2.3.1.1. Definición de mantenimiento.....	12
2.3.1.2. Implementación plan de mantenimiento y gestión	17
2.3.1.3. Indicadores de mantenimiento.	18
2.3.1.4. Aceite lubricante.	20
2.3.1.5. Análisis de aceite y normatividad.	23
2.4. Hipótesis.....	30
2.4.1. Hipótesis general.....	30
2.4.2. Hipótesis específicas.....	30
CAPÍTULO III.....	31
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.1. Método de investigación.	31
3.2. Tipo de investigación.	32

3.3. Nivel de investigación.....	33
3.4. Diseño de la investigación.....	34
3.5. Población de observación.....	35
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.6.1. Instrumentos utilizados para la recolección de datos.....	37
3.6.2. Instrumentos utilizados para análisis de documentos.....	37
3.7. Procedimiento de recolección de datos.....	38
CAPÍTULO IV.....	39
IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	39
4.1. Descripción de la situación actual del equipo.....	39
4.1.1. Análisis de criticidad en equipos rotativos de los sistemas auxiliares utilizados para la operación de turbinas de gas.....	39
4.1.2. Análisis causa raíz de la indisponibilidad de los reductores de velocidad..	45
4.1.3. Plan de mantenimiento preventivo – predictivo actual.....	50
4.1.4. Revisión estado general del equipo actualmente.....	61
4.2. Aceites recomendados y utilizados por fabricante.....	62
4.3. Estado de análisis de aceite.....	63
4.4. Plan de mantenimiento.....	77
4.4.1. Estrategia actualmente aplicada de mantenimiento.....	77
4.4.2. Indicadores actuales de mantenimiento.....	79
4.4.3. Mantenimiento recomendado por el fabricante.....	79

4.4.4. Elaboración de mantenimiento proactivo centrado principalmente en análisis de aceite.....	82
4.5. Formato de revisión para actividades de mantenimiento.	91
4.5.1. Formato de revisión durante mantenimiento autónomo	91
4.5.2. Formato de revisión durante muestreo de aceite para ensayos.	92
4.5.3. Formato de revisión durante dializado de aceite.....	93
4.5.4. Formato de revisión durante inspección general del reductor.	94
4.6. Revisión de costos asociados al equipo en investigación.....	95
4.7. Comparación indicadores de mantenimiento 2019 y 2020.	97
CAPÍTULO V.....	100
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	100
5.1. Presentación de resultados.....	100
5.2. Discusión e interpretación de resultados.	101
5.3. Aportes y aplicaciones.....	101
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inspecciones mayores a turbinas de gas.	8
Figura 2. Detalle Central Termoeléctrica Puerto Bravo – Nodo Energético del Sur.	10
Figura 3. Tipos de aceites lubricantes y su composición.....	22
Figura 4. Ejemplo de colores aceite lubricante según norma ASTM D 1500.	25
Figura 5. Reductor de velocidad marca Koenig Engineering Inc. modelo KE100-55T-5.....	35
Figura 6. Detalle población en estudio.	36
Figura 7 .Árbol lógico del análisis causa raíz de indisponibilidad reductor de velocidad.	46
Figura 8. Análisis modo de falla N°1 del árbol lógico ACR indisponibilidad reductor de velocidad.	47
Figura 9. Análisis modo de falla N°2 del árbol lógico ACR indisponibilidad reductor de velocidad.	48
Figura 10. Análisis modo de falla N°3 del árbol lógico ACR indisponibilidad reductor de velocidad.	49
Figura 11. Diagrama de criticidad de vibraciones según tipo de máquina.....	51
Figura 12. Tendencia de vibraciones realizada al reductor de velocidad durante el 2019.....	52
Figura 13. Conexionado reductor de velocidad a equipo de dializado de aceite.....	53
Figura 14. Pantalla de equipo dializador indicando rango de NAS inicial.....	54
Figura 15. Pantalla de equipo dializador indicando rango de NAS final.....	54
Figura 16. Programación anual de muestreo y ensayos de aceite.....	56
Figura 17. Detalle de ensayos a realizarse a las muestras aceite en reductores de velocidad.	56

Figura 18. Resumen de reporte final por servicio de muestreo y ensayo aceite reductor de velocidad TG1.....	57
Figura 19. Gráfico comparativo de aislamiento de fases.....	58
Figura 20. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG1 en servicio.....	59
Figura 21. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG1 en servicio.	59
Figura 22. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG2 en servicio.....	59
Figura 23. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG2 en servicio.	60
Figura 24. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG3 en servicio.....	60
Figura 25. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG3 en servicio.	60
Figura 26. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG4 en servicio.....	61
Figura 27. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG4 en servicio.	61
Figura 28. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG1.....	65
Figura 29. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG1.....	66
Figura 30. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG1.....	67
Figura 31. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG2.....	68
Figura 32. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG2.....	69
Figura 33. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG2.....	70

Figura 34. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG3.....	71
Figura 35. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG3.....	72
Figura 36. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG3.....	73
Figura 37. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG4.....	74
Figura 38. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG4.....	75
Figura 39. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG4.....	76
Figura 40. Ciclo PDCA.....	77
Figura 41. Gráfico indicadores de disponibilidad y confiabilidad 2019.	79
Figura 42. Resumen plan de mantenimiento proactivo propuesto.....	90
Figura 43. Formato propuesto de revisión de actividades durante mantenimiento autónomo. ..	91
Figura 44. Formato propuesto de revisión de actividades durante muestreo de aceite.....	92
Figura 45. Formato propuesto de revisión de actividades durante dializado de aceite.....	93
Figura 46. Formato propuesto de revisión de actividades durante inspección y lubricación.	94
Figura 47. Resumen valorización anual por servicio de muestreo y ensayo de aceite.....	95
Figura 48. Cuadro resumen de gastos en cambio de aceite según manual de fabricante.....	96
Figura 49. Cuadro resumen de gastos en monitoreo de aceite.....	96
Figura 50. Comparación de gastos propuestos y gastos reales en lubricante.....	96
Figura 51. Promedio anual horas de operación reductores de velocidad.	98

Figura 52. Comparación indicadores de disponibilidad y confiabilidad años 2019 y 2020..... 98

Figura 53. Resumen indicadores de disponibilidad y confiabilidad años 2019 y 2020. 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Directrices para funcionamiento del sistema virador..... 7

Tabla 2. Intervalos de inspección y mantenimiento a generador. 8

Tabla 3. Código de limpieza según norma ISO 4406. 26

Tabla 4. Sistema de clasificación de contaminantes según norma NAS 1638..... 27

Tabla 5. Tabla resumen de los detalles técnicos reductor y motor sistema virador, según manual del fabricante..... 36

Tabla 6. Tabla de análisis de criticidad a los principales equipos rotativos de los sistemas auxiliares utilizados en la operación de las turbinas (considerando sólo criticidad A y B). 44

Tabla 7. Tabla de resumen plan rutinario de mantenimiento a motor y reductor de velocidad utilizado en el virado de las 04 turbinas de gas. 50

Tabla 8. Tabla de resumen ejecutivo de vibraciones tomando en cuenta únicamente reductores de velocidad. 52

Tabla 9. Valores de limpieza aceite según norma NAS – ISO. 55

Tabla 10. Características típicas aceites serie SHC 600 marca Mobil. 62

Tabla 11. Posibles fuentes de contaminación del aceite en equipos rotativos..... 64

Tabla 12. Tabla de extensión de vida en la maquinaria. 102



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación Del Problema.

Cuando se inicia un arranque en frío en las turbinas no se permite el ingreso de gases o vapor con flujo y una presión completa, se le permite el ingreso a una velocidad mucho menor de manera que caliente las partes de la turbina que intervienen en el proceso y de esta manera se alcance un equilibrio térmico; para que se realice de manera uniforme el calentamiento del rotor de la turbina el eje debe ser girado de manera muy lenta y constante a 6 RPM con el uso de un engranaje giratorio cuando se alcance el equilibrio térmico se procede con el desacople del engranaje giratorio y continua su proceso normal alcanzando la velocidad de trabajo producto del proceso 3600 RPM. Por otro lado, cuando se realiza el apagado de la turbina esta no se detiene instantáneamente, se va parando lentamente mientras se reduce el flujo a través de ella hasta que el engranaje giratorio se acopla asumiendo el giro para mantener trabajando el rotor de la turbina hasta realizar el enfriamiento uniforme esto con el objetivo de evitar deformaciones en el rotor por efecto del calor durante la combustión.

Hasta ahora no se tiene un trabajo de investigación e implementación de planes de mantenimiento proactivo en centrales termoeléctricas del sector peruano centrados en los equipos reductores para el giro de los ejes en las turbinas siendo un activo crítico para el proceso cuyo su mal funcionamiento o averías puede derivar en daños a activos de mayor valor y causar indisponibilidad de la unidad al momento que se requiera despacho de energía al sistema energético o retraso en el arranque desde la orden brindada por COES (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional); y que por otro lado permita tener

un ahorro cuantificable en el uso de lubricantes al poder alargar el uso de los mismos basados en ensayos de laboratorio cuyos costos son menores.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cómo es que el elaborar un plan de mantenimiento proactivo mejorará los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de las turbinas en la central?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se podrá alargar la vida útil de los reductores a partir de una nueva estrategia de mantenimiento?
- ¿De qué forma las actividades predictivas como el muestreo y análisis de aceite pueden ampliar la duración de aceite en los reductores?
- ¿Cómo se puede reducir costos en el mantenimiento anual de los reductores y al mismo tiempo elevar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Mejorar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de los reductores de velocidad utilizados para calentamiento y enfriamiento uniforme en turbinas aplicando el plan de mantenimiento proactivo enfocado principalmente en los análisis de aceite.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de criticidad en los principales equipos rotativos que soportan el arranque y operación de la turbina.
- Elaborar el análisis causas raíz para detectar los posibles factores que causan la constante suciedad en el lubricante de los reductores de velocidad.
- Generar un correcto plan de mantenimiento proactivo en los cuatro reductores de velocidad utilizados en las turbinas.
- Demostrar un ahorro económico en el uso de aceite lubricante en los reductores respaldado con ensayos de aceite.

1.4. Justificación

Con la elaboración de un correcto plan de mantenimiento proactivo se podrá tener una mejor gestión de mantenimiento soportada por el área de planeamiento y confiabilidad, con la finalidad de poder definir actividades principales cuyos resultados nos permitan la identificación y corrección de las causas que puedan originar fallas en los reductores con el objetivo de poder atacar la causa y no los efectos provocados reduciendo de esta manera las actividades correctivas y costos que esta pueda derivar tanto en horas hombre, repuestos, materiales, contratistas, consumibles, etc. De igual forma al tener una proyección de cero mantenimientos correctivos se vería reflejado en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad, mejor desempeño y alargamiento de la vida útil del activo.

Con los resultados de este primer mantenimiento proactivo la empresa tendría una línea base para iniciar con la estrategia de mantenimiento proactivo en los activos rotativos que se definan como críticos tanto para la producción, así como su impacto en la seguridad, medio ambiente, económico, sociales, etc.

1.5. Limitaciones del Estudio

En el estudio de investigación podremos encontrar las siguientes limitaciones:

- Los tiempos para entrega de resultados producto de los muestreos a los reductores los cuales pueden ser variables debido a condiciones externas de la empresa contratista y el laboratorio subcontratado.
- Conocimiento moderado del personal respecto a la técnica predictiva de muestreo y ensayos de aceite.
- Reportes de fallas menores a 05 años debido a la poca antigüedad de la planta.
- Limitado conocimiento del personal técnico contratista de apoyo debido a la constante rotación de personal por motivos externos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Hasta ahora no se tiene un trabajo de investigación e implementación de un plan de mantenimiento proactivo en centrales termoeléctricas del sector peruano centrados en los equipos reductores para el giro de las turbinas tanto en el proceso previo así como el proceso posterior al arranque siendo un activo crítico para el proceso cuyo mal funcionamiento o averías puede derivar en daños a activos de mayor valor y causar indisponibilidad de la unidad al momento que se requiera despacho de energía al sistema energético o retraso en el arranque desde la orden brindada por COES (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional) y por otro lado permita tener un ahorro cuantificable en el uso de lubricantes al poder alargar el uso de los mismos basados en ensayos de laboratorio cuyos costos son menores.

El área operativa cuenta con estrategias de mantenimiento autónomo aplicados por los operadores de campo las cuales constan de rutinas operativas, inspecciones sencillas y apoyo en actividades básicas de mantenimiento pero teniendo en cuenta que no deben ser el reemplazo de un plan de mantenimiento correctamente elaborado y aplicando los diferentes tipos de mantenimiento entre los cuales deben destacar el proactivo para poder alargar la vida útil del activo pero sobre todo elevar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad así mismo se debe tener en cuenta que la implementación de un plan de mantenimiento requiere de personal con mayor experiencia, recursos, presupuesto, programación, planificación y gestión.

Para una correcta gestión se debe utilizar un ERP (Enterprise Resource Planning – Planificación de Recursos Empresariales) el cual permita tener un control total de la programación y planificación trabajado en conjunto por el planificador de planta así como el supervisor de operaciones y mantenimiento que les permita administrar los recursos humanos, recursos de almacén, tiempos efectivos de trabajo, reportes de cierre, apertura y cierre de permisos de trabajo teniendo en cuenta la seguridad de los trabajadores directo así como contratistas y procesos de bloqueo – etiquetado.

2.2. Marco conceptual.

2.2.1. Virador de turbina (*Turning Gear*)

El sistema de virador utilizado en las turbinas constas de un motor eléctrico, el cual se encarga de realizar el giro lentamente de la turbina cuando esta no se encuentra en servicio. Su uso es vital para que evitar que el rotor sufra curvatura, por la expansión térmica o el peso propio de este durante la parada. La velocidad aproximada de giro es de 6 RPM durante varias horas según el modelo y tamaño de la turbina, este sistema es esencial para que la rectitud del rotor se mantenga; una falla en este sistema puede causar averías en la turbina o rotor provocando una inspección mayor para corroborar la magnitud así como en un peor escenario el cambio total del rotor para cuyo proceso requiere desmontaje, logística, horas hombre, pero sobre todo indisponer la turbina siendo un grave impacto para el negocio.

Antes de arrancar la turbina es necesario que esta gire con virador por algunas horas; cuando una turbina es apagada el enfriamiento de los elementos internos continúan por varias horas, si se permite que el rotor permanezca estacionario durante este tiempo la distorsión comienza casi instantáneamente causada por el flujo de vapores calientes a la parte superior de la carcasa de la turbina por lo que la mitad de la parte superior de la turbina estaría con

temperaturas más altas hasta 1400°C por lo que el virador debe estar en servicio por un tiempo mínimo de 48 horas después de un arranque o hasta que el espacio entre los álabes fijos y álabes móviles sea menor a 150°F (65.56°C) el cual es indicado por la termocupla instalada en ese punto y se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si el rotor estuvo detenido por menos de 48 horas, antes de arrancar la unidad se deberá poner en servicio el virador por un tiempo mínimo de 4 horas.
- Si el rotor estuvo detenido por más de 48 horas, antes de arrancar la unidad se deberá poner en servicio el virador por un mínimo de 6 horas.

Tabla 1. Directrices para funcionamiento del sistema virador.

Scenario	Turning Gear (or Ratchet) Duration
Following Shutdown:	
Case A.1 – Normal. Restart anticipated for >48 hours	Until wheelspace temperatures <150°F. ⁽²⁾ Rotor classified as unbowed. Minimum 24 hours. ⁽²⁾
Case A.2 – Normal. Restart anticipated for <48 hours	Continuously until restart. Rotor unbowed.
Case B – Immediate rotor stop necessary. (Stop >20 minutes) Suspected rotating hardware damage or unit malfunction	None. Classified as bowed.
Before Startup:	
Case C – Hot rotor, <20 minutes after rotor stop	0–1 hour ⁽²⁾
Case D – Warm rotor, >20 minutes & <6 hours after rotor stop	4 hours
Case E.1 – Cold rotor, unbowed, off TG <48 hours	4 hours
Case E.2 – Cold rotor, unbowed, off TG >48 hours	6 hours
Case F – Cold rotor, bowed	8 hours ⁽⁴⁾
During Extended Outage:	
Case G – When idle	1 hour daily
Case H – Alternative	No TG; 1 hour/week at full speed (no load). ⁽³⁾

Fuente: General Electric Company– O&M considerations report.

Se debe considerar que el uso excesivo del virador conlleva al incremento de los desgastes de por rozamiento del devanado del rotor del generador y los últimos álabes de la turbina, así mismo debido a la cantidad de horas del virador o cantidad de arranques se deben programar inspecciones mayores para verificar los componentes internos.

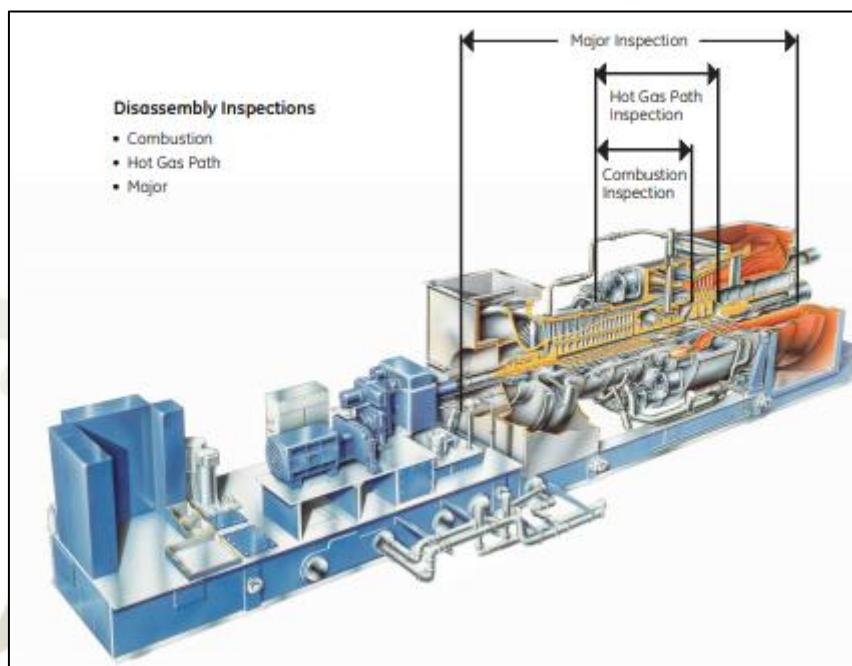


Figura 1. Inspecciones mayores a turbinas de gas.

Fuente: General Electric Company– O&M considerations report.

Tabla 2. Intervalos de inspección y mantenimiento a generador.

	First Inspection	Inspection and Maintenance Intervals
All Units not listed below	8,000 Turbine Hours; 250 Starts; 4,000 Turning Gear Hours	24,000 to 32,000 Turbine Hours; 900 to 1,250 Starts; 30,000 to 32,000 Turning Gear Hours
H55 (330H) Generators H73 (390H) Generators H75 (450H) Generators LC generators w/phosphorous brazed stator bars. Generators older than 25 years that have not been rewound with updated materials.	8,000 Turbine Hours; 250 Starts; 4,000 Turning Gear Hours	20,000 to 24,000 Turbine Hours; 750 to 900 Starts; 22,000 to 24,000 Turning Gear Hours
In the absence of operating experience and resulting condition assessments, Table 2 lists the recommended inspection intervals for turbo-generators. Generators can be inspected commensurate with the associated turbine inspection outage. These initial intervals should be reviewed and adjusted as operating and inspection experiences are accumulated. LC – Liquid Cooled		

Fuente: General Electric Company– Creating an Effective Generator Maintenance Program.

2.2.2. Central Termoeléctrica clásica

Se les conoce como las más antiguas en la generación eléctrica, para este propósito utilizan combustibles fósiles de tipo líquidos (Diesel B5 el utilizado por la central termoeléctrica Puerto Bravo), sólidos (carbón) y gases.

En este caso se le considera central termoeléctrica clásica para poderla diferenciar de las centrales termoeléctricas nucleares o solares las cuales son conocidas como centrales de nueva generación.

Independientemente del combustible que se emplea constan de un esquema de funcionamiento parecido, la diferencia es el tratamiento o proceso que sufre el combustible previo a ser inyectado en el proceso de combustión, así como los quemadores.

Se debe tener especial cuidado con el control de emisiones que son producidas durante el funcionamiento de la turbina ya que estas deben cumplir ciertos límites y ser medidas a tiempo real para su correcto control y seguimiento.

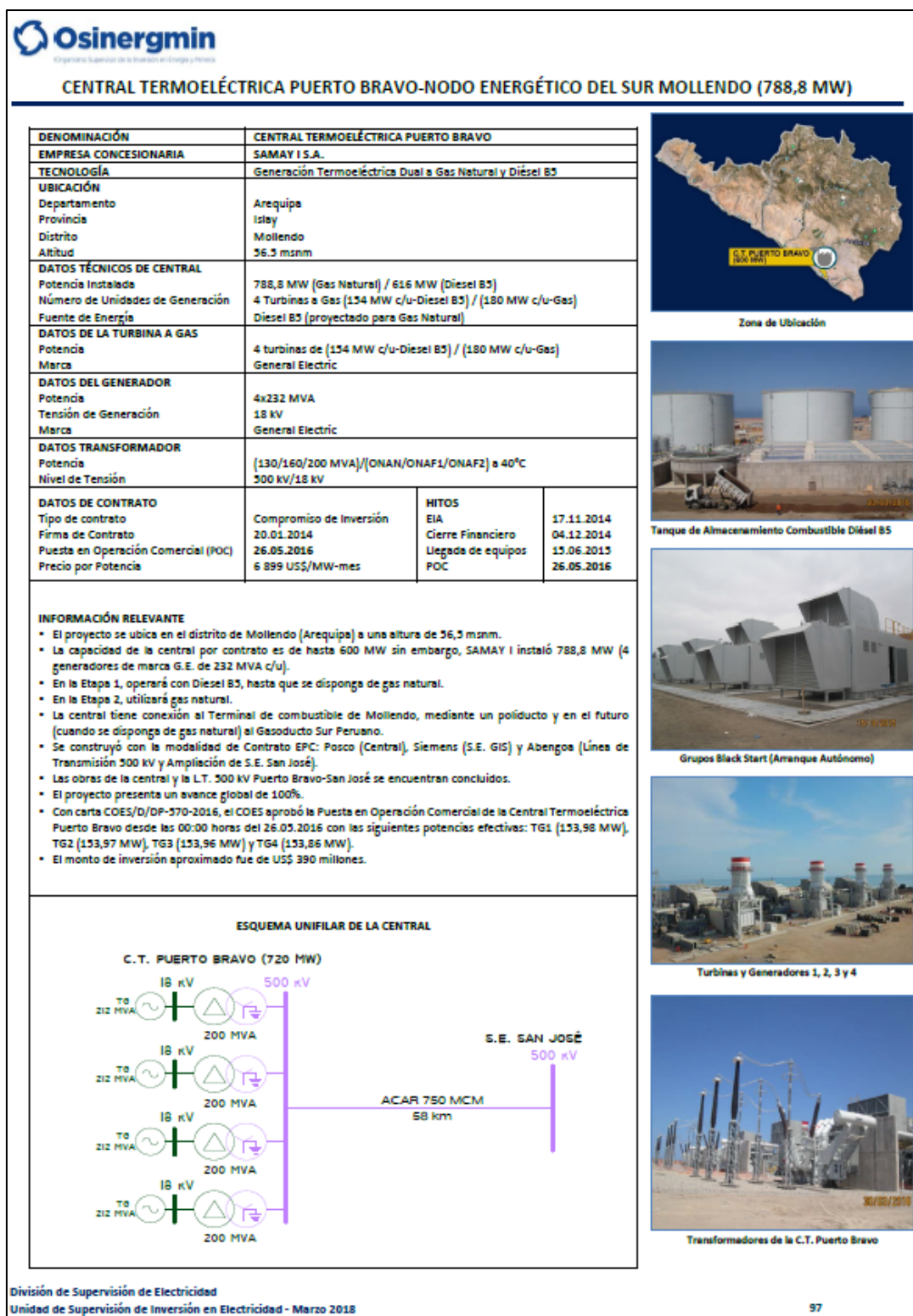


Figura 2. Detalle Central Termoeléctrica Puerto Bravo – Nodo Energético del Sur.

Fuente: OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería).

2.2.3. Historia del mantenimiento

Es conocido que el mantenimiento industrial con el paso del tiempo ha tenido una gran evolución, partir del año 80 es que se empieza a notar resultados y grandes cambios ya que desde ese momento hubo una gran revolución en el mantenimiento debido a la Segunda Guerra Mundial; hubo nuevas estrategias de mantenimiento por condición, diagnóstico, predictivos y dentro de esta se utilizaba nuevas tecnologías como los análisis vibracionales, análisis de aceites, termografía infrarroja, pruebas no destructivas, etc.

A partir de 1970 comienza una nueva filosofía en la cual se considera también el costo de ciclo de vida del activo (LCC – Life Cycle Cost) ésta comenzó en Estados Unidos, se instaló el concepto de costo integral y rentabilidad ya que se debe tener en cuenta otros factores como los costos de adquisición, comisionamiento, mantenimiento, desmontaje y retirada del activo; en este mismo año aparece en escena el Mantenimiento Productivo Total (TPM – Total Productive Maintenance) que se enfoca en la organización para poder lograr un máximo rendimiento de instalaciones y personal para que todos se encuentren involucrados.

Con la aparición del mantenimiento predictivo se complementó con una nueva visión de estas estrategias logrando el mantenimiento proactivo con el principal objetivo de ya no solo predecir la falla y realizar un mantenimiento reactivo para que el equipo este totalmente operativo sino que se busca detección y corrección de las causas que generan las fallas , de esta forma se dará solución a causas que cuentan con fallas recurrentes, aumentar el tiempo medio entre fallas y brindar más conocimiento de mantenimiento al personal de operaciones y mantenimiento.

2.3. Definiciones de términos u otros contenidos.

2.3.1. Definiciones.

2.3.1.1. Definición de mantenimiento.

Generalmente se le considera al mantenimiento como un conjunto de técnicas con el objetivo de preservar equipos e instalaciones durante el mayor tiempo que este sea posible, con un rendimiento total y la máxima disponibilidad.

El mantenimiento no es estático, sino que va mejorando sus técnicas, tecnologías, estrategias, etc. con el fin de mejorarlo; de manera que esta actividad humana debe garantizar la calidad y funcionamiento del activo como bases principales se tiene al mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

La gestión del mantenimiento es definida como la disciplina encargada de mantener máquinas y equipos para su correcta operación, pero dentro el proceso de mantenimiento incluye limpieza, inspecciones, reparaciones, reemplazos, mejoras, reingeniería, calibraciones, reconstrucciones, pruebas y análisis. Desarrollando conceptos, estrategias, técnicas y criterios que son necesarias para el mantenimiento teniendo en cuenta la seguridad, procesos administrativos y logísticos, recurso humano, presupuesto, gestión documentaria, así como una correcta gestión que generalmente es soportada por un ERP (Enterprise Resource Planning – Planificación de Recursos Empresariales).

Definiendo los tipos de mantenimientos que serán mencionados en la presente investigación:

- Mantenimiento Preventivo.

Su objetivo es que la disponibilidad de equipos, sistemas e instalaciones industriales sea asegurada, para que brinden un rendimiento óptimo, busca evitar o disminuir reparaciones por medio de inspecciones periódicas rutinarias para verificar externa e internamente el estado de los componentes por desmontaje parcial o total para realizar un análisis de su estado adicionalmente realizar el cambio de ciertos elementos menores que se deterioran según sea necesario o cumplan los tiempos indicados por los fabricantes; la efectividad de este tipo de mantenimiento se basa en una correcta periodicidad de ejecución ya que de ser inspecciones muy prolongadas pueden conllevar a la aparición de fallos por otro lado las inspecciones muy cortas elevan los costos por los diferentes factores que involucran es por esto que se debe encontrar un equilibrio guiados en las recomendaciones de los fabricantes, experiencia del personal, histórico de averías y estadísticas.

- Mantenimiento Predictivo.

Surge con la búsqueda de reducción de costos a las estrategias comunes aplicadas por las diferentes industrias, que son los mantenimiento preventivos y correctivos, por un lado busca el retiro y cambio de componentes que ya no se encuentran correctos operativamente reduciendo los tiempos de parada de los equipos por inspecciones que ya no son necesarias así como evitar paradas no programadas debido a un fallo que puede ser prevenido por cualquier anomalía encontrada en el equipo al que se le aplica las diferentes técnicas predictivas como toma de

vibraciones para posterior análisis, termografía, muestreo y análisis de aceites lubricantes, ensayos no destructivos, etc.

Para una correcta efectividad en la aplicación del mantenimiento predictivo se deben tener en cuenta dos bases fundamentales:

- 1.- Se deben tener parámetros funcionales del estado del equipo sobre los cuales serán comparados los nuevos valores tomados.
- 2.- Vigilancia y seguimiento continuo para poder detectar cualquier anomalía

Algunas de las principales ventajas que podemos encontrar en el mantenimiento predictivos son:

- 1.- Detectar e identificar defectos o anomalías sin necesidad que los equipos sean desmontados parcial o totalmente así mismo muchas de estas técnicas pueden ser aplicadas con los equipos en servicio.
- 2.- Poderle dar un correcto seguimiento a la evolución o reducción de defectos y anomalía a partir de la elaboración de un histórico de funcionamiento, medición de parámetros, eventos programados y no programados, repuestos o componentes reemplazados, así como los costos involucrados.
- 3.- Poder programar y planificar correctamente repuestos, consumibles, componentes mayores, mano de obra, facilidades, permisos de trabajo, bloqueos, etc. para la corrección del defecto logrando que se realice durante una parada rutinaria.
- 4.- Reducir tiempos de reparación teniendo en cuenta que las averías o anomalías fueron identificadas previamente, así como los componentes involucrados.

Finalmente, algunas limitaciones que pueden presentarse:

- 1.- Que una anomalía o defecto no sea correctamente detectado con la técnica elegida.
- 2.- Requiere equipos especiales y generalmente de costos elevados por lo que su inversión inicial es elevada.
- 3.- Necesidad de personal altamente calificado y de preferencia certificado.

- Mantenimiento Correctivo.

Comúnmente llamado mantenimiento “a rotura”, únicamente se intervienen a los equipos cuando estos el fallo ya se produjo, tomando una actitud pasiva por el área de mantenimiento a la espera del fallo o avería.

Esta estrategia es aplicada en muchas industrias, pero al igual que en todas las estrategias cuenta con una justificación, en la mayoría de los casos en la que los componentes tienen costos muy bajos, son equipos auxiliares y no afectan directamente a la producción ya que su parada no produce ninguna interrupción; se aplica cuando el costo derivado de la falla de manera imprevista es mucho menor a la inversión que se necesita para la implementación de otro tipo de mantenimiento.

En la práctica comúnmente las industrias aplican este tipo de mantenimiento a cierto porcentaje de equipos a pesar de que manejen planes de mantenimiento muy sofisticados.

No requieren de programación y planificación a gran escala, basta con consumibles, repuestos y herramientas de uso común en talleres de mantenimiento (lubricantes, trapos, sellos, pernería, etc.).

Finalmente, algunas limitaciones que pueden presentarse:

- 1.- Averías son inoportunas por lo que su corrección puede tomar más tiempo del previsto.
- 2.- Por ser un fallo pueden causar alguna avería no prevista y podría ser negativa tanto operativamente como en la seguridad.

- Mantenimiento Autónomo.

La base del mantenimiento autónomo tiene como pilares las “cinco S” las cuales son:

- 1.- **Seiri:** Organización y clasificación.
- 2.- **Seiton:** Orden.
- 3.- **Seiso:** Limpieza e inspección.
- 4.- **Seiketsu:** Estandarización o normalización.
- 5.- **Shitsuke:** Cumplimiento o disciplina.

Se basa en la realización de actividades de mantenimiento que son ejecutadas por el personal encargado de la operación de los equipos con el objetivo de conservar sus condiciones necesarias para su correcta operación, mientras que por otro lado las actividades más complejas de mantenimiento son realizadas por personal más capacitado del departamento de mantenimiento; es considerado un importante paso en el Mantenimiento Productivo Total.

- Mantenimiento Overhaul.

Conjunto de tareas que tienen como meta final realizar una revisión programada de los equipos en un intervalo de tiempo definido antes de que se produzca una falla.

Esta revisión consiste en que el equipo quede como un equipo de 0 horas de funcionamiento es decir como si fuera un nuevo equipo, durante la inspección se

reparan y/o sustituyen todos los componentes que sufren algún deterioro de manera que se asegure el correcto funcionamiento del activo por otro intervalo de tiempo fijado.

- Mantenimiento Proactivo.

Es una estrategia de mantenimiento cuyo principal enfoque es la detección y posterior corrección de las causas que ocasionan el deterioro y posterior falla del activo de esta manera se busca evitar que estas fallas continúen de manera que se prolongue la vida útil del activo, para el alargue de duración de los componentes es fundamental que los parámetros de causas de las fallas se mantengan en los rangos aceptables, una vez la máquina llegue o se encuentre cerca de los límites el operador del equipo debe reportarlo al área de mantenimiento para que se proceda con la programación de las actividades lo más pronto de esta forma evitar averías.

A nivel mundial el mantenimiento proactivo es considerado muy importante ya que es uno de los métodos para generar ahorros dentro de las técnicas de mantenimiento ya que no se limita únicamente al mantenimiento reactivo.

2.3.1.2. Implementación plan de mantenimiento y gestión

- Plan de mantenimiento.

Conjunto de actividades que se ejecutan de manera preventiva en un equipo, sistema o instalación con el objetivo de prolongar al máximo la vida útil de estos teniendo en cuenta los indicadores propuestos según cada industria y empresa para una correcta gestión y seguimiento.

- Implementación.

Es colocar en marcha una idea indistintamente la aplicación o rubro.

- Gestión.

Conjunto de acciones enfocadas en la administración y dirección de un área u organización que requiere programación, planificación, desarrollo, implementación, seguimiento y control.

2.3.1.3. Indicadores de mantenimiento.

Indicadores técnicos utilizados para medir de manera cuantitativa y cualitativa la gestión de mantenimiento así mismo estos indicadores ayudan a las áreas operativas para tener conocimiento del estado de los activos principales tanto en comportamiento como rendimiento; basándonos en la Gestión de Categoría Mundial que son mayormente utilizados industrialmente son, las fórmulas indicadas bajo cada concepto se encuentran en función de las utilizadas por la central en estudio.

Se debe tener en cuenta que existen gran cantidad de indicadores claves de desempeño, pero el tratar de medir una gran cantidad de indicadores más allá de mejorar la gestión pueden crear gran carga de trabajo así mismo muchos de ellos no son del todo útiles, ya que los indicadores utilizados deben estar en función del rubro, tipo de operación y alineadas a los objetivos estratégicos de la corporación.

- Confiabilidad.

Probabilidad de un equipo, sistema o instalación cumpla su principal función bajo ciertas condiciones en un determinado periodo, su estudio se basa en las fallas tanto del activo propiamente como sus componentes.

$$R = \frac{HL - PR}{HL}$$

Donde:

HL = Horas totales del activo en servicio para el caso de estudio se consideran 24 horas diarias y 365 días al año.

PR = Tiempo del activo fuera de servicio por paradas no programadas para reparaciones u Overhaul.

- Disponibilidad.

Capacidad de un equipo, sistema o instalación para realizar una función requerida bajo ciertas condiciones en un instante dado o en ciertos intervalos de tiempo.

$$A = \frac{HL - (PP + PR)}{HL}$$

Donde:

HL = Horas totales del activo en servicio para el caso de estudio se consideran 24 horas diarias y 365 días al año.

PP = Tiempo del activo fuera de servicio por paradas programadas para mantenimiento preventivo, predictivo, proactivo, reparaciones u Overhaul.

PR = Tiempo del activo fuera de servicio por paradas no programadas para reparaciones u Overhaul.

2.3.1.4. Aceite lubricante.

Las características que se deben tener en cuenta para la elección de un aceite lubricante son las siguientes:

- 1.- Con altas temperaturas la viscosidad del aceite debe mantenerse, así como una buena fluidez para permitir un arranque en frío, así como proteger los componentes internos de la corrosión.
- 2.- El aceite no debe dejar residuos de suciedad al estar sometidos a altas temperaturas, evitando la contaminación de los componentes internos.
- 3.- Sus cualidades deben ser constantes teniendo en cuenta los largos intervalos operativos del equipo en que será utilizado y tener en cuenta los diferentes factores que lo pueden afectar ácidos corrosivos, agua o combustibles que pueden fugarse y contaminar el equipo; también son utilizados aditivos para mejorar las características y alargar la vida del aceite.

Los aceites más utilizados actualmente en la industria moderna son:

- Aceite mineral.

Constituido por varios hidrocarburos con origen mineral por medio del refinado del petróleo crudo.

Anteriormente se utilizaban aceites grasos, en la actualidad han sido reemplazados en la mayoría de casos por aceites minerales debido a que estos últimos no se hidrolizan es decir que no se solidifican por culpa del hidrógeno a temperaturas y presiones altas, no se vuelven corrosivos ni ácidos por el uso continuo así mismo sus costos son menores; por otro lado algunas de las ventajas de los aceites grasos son la mejor y mayor adherencia sobre las superficies metálicas como una película muy delgada lo cual es muy beneficioso para evitar el agarrotamiento del metal cuando se presentan condiciones de extrema presión u otras condiciones donde películas más

gruesas de aceite suelen ser desplazadas entre las superficies que se someten a desgaste, también se desplazan con menos facilidad sobre las superficies por acción del agua en comparación con los aceites minerales.

En algunos lubricantes se añaden aceites grasos sulfurados como aditivos debido al azufre y que impide el contacto entre superficies metálicas que se encuentran muy cercanas al crearse capaz de sulfuro entre las superficies metálicas.

Otro aceite que también fue reemplazado por los aceites minerales es el aceite de ricino cuya composición es más viscosa que los aceites comunes siendo muchos más útiles en la lubricación de maquinaria pesada, la viscosidad varía ligeramente con la temperatura y un bajo punto de solidificación a -18°C aproximadamente muy considerable para motores utilizados en la industria de la aviación, pero fue reemplazado casi en su totalidad por aceites minerales que tienen un punto de solidificación a temperaturas inferiores a -20°C .

- Aceite sintético: Es resultado de diversos procesos químicos los cuales modifican sus estructuras moleculares de los componentes y eliminación de partículas no deseadas.

Como ya se mencionó anteriormente los aceites minerales cuentan con grandes propiedades, pero el aceite sintético cuenta con más ventajas aún:

- 1.- Fluidez muy buena cuando se somete a bajas temperaturas, lo que permite un correcto arranque en frío.
- 2.- Viscosidad bastante constante cuando se encuentra en muy bajas y muy altas temperaturas lo cual prolonga su vida útil.
- 3.- Bastante resistencia frente a la oxidación producto de altas temperaturas.

4.- Menor fricción entre componentes lo cual produce que el desgaste sea mínimo, así como la pérdida de energía.

- Aceite semisintético: Se compone de aceite mineral junto con aceite sintético en cierto porcentaje, dando como resultado un aceite mineral mejorado.

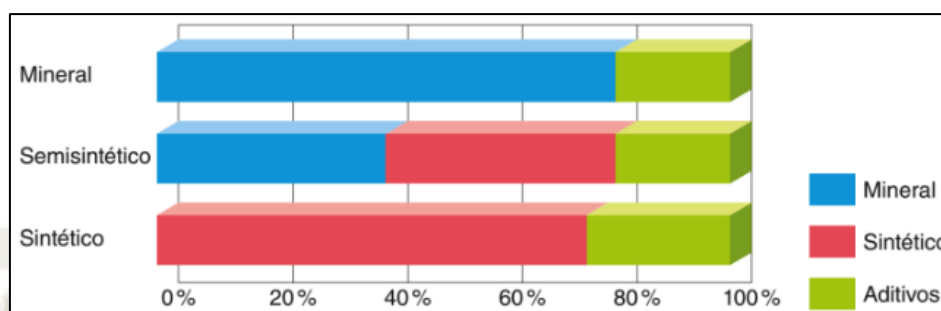


Figura 3. Tipos de aceites lubricantes y su composición.

Fuente: El sistema de lubricación (Motores) por Santiago Sanz Acebes.

- Aditivos utilizados en aceites lubricantes.

Compuestos químicos que se añaden para poder aumentar la calidad de estos:

1.- Antioxidantes: Reducir la degradación del aceite producto de la oxidación causada por el contacto con el aire.

2.- Anticorrosivos: Cuando el aceite se somete a altas temperaturas se forman ácidos al interior de los equipos y estos deterioran los componentes metálicos con los que tienen contacto por lo que los anticorrosivos neutralizan estos ácidos.

3.- Dispersantes: Su objetivo es evitar que partículas o residuos se aglomeren hasta su próximo cambio de aceite.

4.- Detergentes: Evitar que se formen acumulaciones o depósitos de lodos o barnices en superficies u otros.

2.3.1.5. Análisis de aceite y normatividad.

Se requiere realizar un monitoreo, control y seguimiento a los aceites utilizados de los equipos donde se utilicen con el objetivo de saber los elementos de materiales de desgaste o parámetros observados se encuentren dentro del rango nuevamente a partir de un correcto plan de mantenimiento proactivo.

Se debe tener en cuenta las diferentes partes y materiales que el equipo donde se suministra el aceite posee para poder tener un conocimiento claro con los reportes finales obtenidos por las muestras de aceite.

Los análisis de aceite para el caso de estudio se realizarán la misma cantidad de veces que según indicación de manual se debe realizar el cambio de aceite de esta manera poder observar el estado del aceite y de estar correcto no proceder con el cambio, alargando la vida del lubricante teniendo como sustento correctos resultado brindados por laboratorio.

Los principales puntos que se desean controlar en el aceite y sus principales ensayos para el caso de la caja reductora en estudio según el manual del fabricante son:

1.- Salud general del lubricante:

- Viscosidad a 40°C (cSt)

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM D-7279, medición de la viscosidad cinemática utilizando un viscosímetro Houillon de manera automática, los rangos mínimo y máximo a 40°C son 437.00 cSt hasta 483.00 cSt, para el caso de aceite nuevo el valor es 460.00 cSt.

- Viscosidad a 100°C (cSt)

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM D-7279, medición de la viscosidad cinemática utilizando un viscosímetro Houillon de manera automática, los rangos mínimo y máximo a 40°C son 48.17 cSt hasta 53.24 cSt, para el caso de aceite nuevo el valor es 50.70 cSt.

- Oxidación (A/cm)

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM E-2412, la espectroscopía de emisión atómica (AE) y absorción atómica (AA) se utiliza para analizar el desgaste del metal junto con un conjunto de pruebas complementarias de la propiedad física para conocer el estado del lubricante, así como un análisis molecular por espectroscopía FT-IR nos brinda información de especies moleculares incluyendo aditivos, productos de descomposición de fluidos y contaminantes externos, los rangos máximos permisibles son:

- Alerta > 8 A/cm (absorción / centímetro).
- Peligro > 12 A/cm (absorción / centímetro).

- Color

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM D-1500, se utiliza para monitorear visualmente el estado de contaminación del lubricante.

- Alerta > 3
- Peligro > 5



Figura 4. Ejemplo de colores aceite lubricante según norma ASTM D 1500.

Fuente: Hoja técnica equipo para ensayo de color marca KEMTRAK.

- TAN (mgKOH/g)

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM D-664, utilizado para determinar los componentes orgánicos ácidos en los aceites lubricantes durante el uso del mismo en condiciones oxidantes así mismo se utiliza de manera predictiva ante la tendencia corrosiva del aceite hacia el metal teniendo en cuenta las altas temperaturas de servicio las cuales aceleran la oxidación; mientras mayor es el TAN la degradación del aceite es mayor, los rangos máximos permisibles son:

- Alerta > 0.84 mgKOH/g (miligramos de hidróxido de potasio / gramo de aceite).
- Peligro > 1.14 mgKOH/g (miligramos de hidróxido de potasio / gramo de aceite).

2.- Contaminación general del lubricante:

- NIVEL DE LIMPIEZA (ISO / NAS)

Ensayo desarrollado bajo la norma ISO 4406 utilizada para cuantificar los niveles de contaminantes por milímetro de fluido, estos se basan a la cantidad de partículas sobre 4 μm , 6 μm y 14 μm .

Tabla 3. Código de limpieza según norma ISO 4406.

Código de Limpieza ISO 4406:1999			
Código de Rango	Partículas por 100 ml de fluido		
	Más de	Hasta y incluyendo	
24	8,000,000	16,000,000	
23	4,000,000	8,000,000	
22	2,000,000	4,000,000	
21	1,000,000	2,000,000	
20	500,000	1,000,000	
19	250,000	500,000	
18	130,000	250,000	
17	64,000	130,000	
16	32,000	64,000	
15	16,000	32,000	
14	8,000	16,000	
13	4,000	8,000	
12	2,000	4,000	
11	1,000	2,000	
10	500	1,000	
9	250	500	
8	130	250	
7	64	130	
6	32	64	
Nota: Un líquido con un código 22/21/18 tiene:			
Entre 2.000.000 y 4.000.000 partículas sobre 4 µm (por el 22 en primera posición)			
Entre 1.000.000 y 2.000.000 partículas sobre 6 µm (por el 21 en segunda posición)			
Entre 130.000 y 250.000 partículas sobre 14 µm (por el 18 en tercera posición)			

Fuente: ISO (Organización Internacional de Normalización).

Los rangos máximos permisibles según el tamaño de partículas son:

- 4 µm
 - Alerta > 18
 - Peligro > 20
- 6 µm
 - Alerta > 16
 - Peligro > 18
- 14 µm
 - Alerta > 13
 - Peligro > 15

Por otro lado, se utiliza la norma N.A.S 1638, sistema de codificación utilizado para el control de la cantidad de partículas que contaminan en el aceite lubricante.

Tabla 4. Sistema de clasificación de contaminantes según norma NAS 1638.

Size range		5–15 μm	15–25 μm	25–50 μm	50–100 μm	>100 μm
NAS classes (based on maximum contamination limits, particles per 100ml)	00	125	22	4	1	0
	0	250	44	8	2	0
	1	500	89	16	3	1
	2	1,000	178	32	6	1
	3	2,000	356	63	11	2
	4	4,000	712	126	22	4
	5	8,000	1,425	253	45	8
	6	16,000	2,850	506	90	16
	7	32,000	5,700	1,012	180	32
	8	64,000	11,400	2,025	360	64
	9	128,000	22,800	4,050	720	128
	10	256,000	45,600	8,100	1,440	256
	11	512,000	91,000	16,200	2,880	512
	12	1,024,000	182,400	32,400	5,760	1,024

Fuente: NAS (Estándares Nacionales Aeroespaciales).

- Humedad (ppm)

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM E-2412, el análisis debe realizarse teniendo en cuenta la sensibilidad del aceite utilizado y la criticidad del equipo según su uso en el proceso en algunos casos una mínima cantidad de agua puede provocar una gran falla, así como en otros casos es más tolerable la presencia de humedad en el aceite teniendo en cuenta máquinas de tamaño más robusto y con resistencia mayor a la contaminación.

Los rangos máximos permisibles según el tamaño de partículas son:

- Alerta > 100 ppm (partículas por millón).
- Peligro > 1000 ppm (partículas por millón).

- Flash Point (°C)

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM D-92, mínima temperatura a la que se vaporiza el aceite creando una mezcla que junto con el aire la que se quemaría al encenderla o estar expuesta a una llama, se le conoce como el punto de inflamación en los aceites lubricantes.

Los rangos mínimos permisibles según el tamaño de partículas son:

- Alerta < 214°C
- Peligro < 204°C

3.- ANÁLISIS ESPECTOMÉTRICO DE METALES:

Ensayo desarrollado bajo la norma ASTM D-6595, permite determinar y cuantificar el desgaste de contaminantes y metales en aceites utilizados por medio de espectroscopía, método que estudia los espectros de radiaciones de los cuerpos incandescentes, de emisión atómica.

Para la calibración se utilizan metales que son solubles en aceite, permite determinar el desgaste y contaminación en materiales disueltos y hasta partículas que cuentan con un tamaño de 10 μm .

- Desgaste mecánico: Los rangos máximos permisibles según sus materiales son:

Plomo, Cobre, Hierro, Estaño, Aluminio y Titanio:

- Alerta > 10 ppm (partículas por millón).
- Peligro > 20 ppm (partículas por millón).

Plata, Cromo y Níquel:

- Alerta > 5 ppm (partículas por millón).

- Peligro > 10 ppm (partículas por millón).

- Contaminación del lubricante: Los rangos máximos permisibles según sus materiales son:

Sodio, Cadmio, Silicio y Vanadio.

- Alerta > 10 ppm (partículas por millón).
- Peligro > 20 ppm (partículas por millón).

- Salud del lubricante: Nos permite conocer contaminantes externos que puedan estar afectando al aceite lubricante como base se toman de referencia: Boro, Fósforo, Zinc, Molibdeno, Magnesio, Manganeso, Bario y Calcio.

Se deben tener ciertas consideraciones al momento de la extracción de aceite por parte del personal calificado que lo realizará:

- 1.- El laboratorio debe contar con los certificados patrón de sus equipos calibrados.
- 2.- El laboratorio debe estar correctamente acreditado y certificado para desarrollo de ensayos.
- 3.- La extracción debe ser realizada únicamente por una persona para evitar cualquier contaminación así mismo con el apoyo de personal de operaciones y mantenimiento en caso se requiera que el equipo se encuentre en servicio.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general.

El elaborar un plan de mantenimiento proactivo con base a los históricos de falla de los reductores utilizados en las turbinas para el calentamiento y enfriamiento uniforme de las mismas siendo activos críticos en la operación, mejorará la disponibilidad y confiabilidad en las unidades de generación, así como lograr un ahorro anual extendiendo la vida útil del aceite lubricante.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- De tener resultados óptimos con la aplicación del mantenimiento proactivo en los reductores, esta estrategia podría empezar a aplicarse a otros activos críticos previamente identificados.
- Se podría aplicar el mantenimiento proactivo en este u otros activos centrándonos en otras metodologías predictivas adicionales al análisis de aceite como análisis vibracional, ultrasonido, termografía, resistencia de aislamiento, tintes penetrantes, etc.
- Si se logra concebir un ahorro anual en los lubricantes utilizados en los reductores, se replantearía las periodicidades en el cambio de aceite de todos los equipos rotativos en planta teniendo en cuenta la relación costo beneficio de aplicar ensayos de aceite y en algunos casos tendría un impacto positivo en el presupuesto anual.
- Se tendría una nueva visión del mantenimiento centrándose en la estrategia proactiva la cual dejaría una nueva línea base al momento de actualizar el plan anual de mantenimiento así mismo aumentaría la experiencia y conocimiento del personal de operaciones y mantenimiento.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de investigación.

Entre los métodos más comunes de investigación tenemos los siguientes:

1.- Método Inductivo: Proceso en el cual a partir de algunos casos particulares se logra obtener conclusiones o leyes universales en las cuales se relacionan o explican fenómenos que son estudiados.

Este método utiliza:

- Experimentación.
- Estudia las relaciones que se dan entre los fenómenos o factores involucrados.
- Observación directa.

El objetivo principal es separar aquellos más elementales y posteriormente son examinados de forma individual logrando observar la relación con fenómenos que son similares, luego se elabora la Hipótesis y esta es contrastada por medio de la experimentación.

2.- Método Educativo: Se parte teniendo como línea base una ley universal para posteriormente poder tener conclusiones.

A diferencia del método inductivo se basa en los hechos para realizar inferencias de manera general, este método tiene como línea base verdades generales y va avanzando por medio del razonamiento.

3.- Método Sintético: Por medio de este método se integran hechos individuales para posteriormente unificarlo en una sola teoría integrando todos los conocimientos.

4.- Método Analítico: Por medio de este método analizan de manera ordenada e individualmente todos los fenómenos identificados previamente, este método es

utilizado en las diferentes ciencias como la Física, la Biología y la Química, parten de la experimentación y analizan gran cantidad de casos y posteriormente buscan establecer leyes universales.

Como resumen por medio del método analítico podemos observar fenómenos que son muy particulares, con el método inductivo podemos llegar a conclusiones precisas enfocándonos en históricos o situaciones puntuales, por el método deductivo se aplican leyes naturales a ciertas situaciones y por medio de la síntesis se juntan varios tipos de conocimientos que al parecer no tuvieran relación, pero con enfoque de una integración total.

Para el estudio de investigación propuesto se utilizará el método inductivo, procederemos a analizar históricos de mantenimiento bajo el concepto de órdenes de trabajo utilizados en la gestión de mantenimiento, los cuales cuentan con informes mantenimiento propio, así como de contratistas los cuales serán analizados, procesados e interpretados para el caso de estudio; como línea base tomaremos estos datos como información para finalmente llegando a conclusiones claras.

3.2. Tipo de investigación.

Generalmente se tienen dos tipos de investigación las cuales son:

- 1.- Investigación Aplicada: La cual se utiliza para la toma de decisiones y sentar estrategias y políticas; su principal enfoque es la resolución de problemas a largo plazo.
- 2.- Investigación Pura: Se utiliza para planificar y proceder a tomar decisiones importantes; tiene el mismo enfoque que la investigación aplicada a diferencia que la resolución de problemas no se hace con enfoque a largo plazo.

Para el estudio de investigación propuesto se utilizará el tipo de investigación Aplicada, ya que nos basaremos en la aplicación y utilización de conocimientos que fueron adquiridos al mismo tiempo que se van adquiriendo nuevos conocimientos para posteriormente establecer y sistematizar su práctica basándonos en la investigación. La utilización de conocimientos y las conclusiones de la investigación planteada son el resultado de un conocimiento riguroso, organizado y sistemático de la realidad.

Se utilizará el tipo de investigación Aplicada de manera que se aplicarán y utilizarán los conocimientos obtenidos y como base de datos los resultados obtenidos por medio de los reportes de análisis de aceite en los reductores del sistema virador de las turbinas de gas de la central termoeléctrica en estudio para posteriormente determinar la problemática en la que estos equipos se encuentran para posteriormente plantear e implementar un plan de mantenimiento proactivos centrados principalmente en el análisis de aceite con el objetivo de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de manera que se puedan completar los objetivos internos planteados a la operación, a la unidad de negocio y finalmente los objetivos corporativos a nivel mundial.

3.3. Nivel de investigación.

Para el estudio de investigación propuesto se será de nivel experimental, para este nivel la problemática es traducida en una hipótesis y las variables serán los conceptos teóricos que se tengan, el objetivo es que el investigador tenga una participación activa ya que intervendrá.

El enfoque que se tiene es el comprobar los efectos resultantes al implementar un plan de mantenimiento proactivo en los equipos reductores propuestos.

3.4. Diseño de la investigación.

Los diseños de investigación se pueden definir en tres categorías según Donald Campbell y Julian Stanley en su monografía la cual fue publicada en el año 1963 titulada “Experimental and Quasi-Experimental Design for Research on Teaching”, los cuales tienen los siguientes conceptos, teniendo en cuenta que la principal diferencia entre estos tipos de diseños experimentales es el grado de control que tienen sobre las variables en estudio:

1.- Diseño de estudio Preexperimental.

Es el grado más bajo de control sobre la variable en estudio.

2.- Experimental verdadero.

Es el grado entre bajo e intermedio de control sobre la variable en estudio.

3.- Cuasiexperimental.

También conocidos como diseños causales-comparativos, es el grado intermedio de control sobre la variable en estudio entre el diseño de estudio preexperimental y experimental verdadero.

Para el estudio de investigación propuesto se utilizará el diseño de estudio preexperimental, ya que una de sus características es que la selección del participante en estudio es que no se realiza de manera aleatoria.

Diseño de preprueba – posprueba, al grupo en estudio se le aplicará una prueba de manera previa al tratamiento experimental que será sometido posteriormente este será sometido al tratamiento y se le aplica una prueba final posterior al tratamiento; la ventaja que obtenemos de este diseño es que se tiene una línea base como referencia para poder notar el nivel inicial previo a la aplicación de los tratamientos por lo que nos permite realizar el seguimiento respectivo.

01 - Z - 02

Donde:

O1: Observación previa.

Z: Variable independiente del estudio.

O2: Observación posterior.

3.5. Población de observación.

La población en estudio para el presente estudio de investigación son las cuatro cajas reductoras de velocidad también conocidas como reductores de velocidad de la marca Koenig Engineering Inc. modelo KE100-55T-5.



Figura 5. Reductor de velocidad marca Koenig Engineering Inc. modelo KE100-55T-5.

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	Nombre del equipo	Sistema	Codificación en planta	N° DE SERIE	HORÓMETRO
1	TURNING GEAR TG1	Virador de turbina	310MBK01AU001	TG2454/2015	15850
2	TURNING GEAR TG2	Virador de turbina	320MBK01AU001	TG2455/2015	11453
3	TURNING GEAR TG3	Virador de turbina	330MBK01AU001	TG2456/2015	12543
4	TURNING GEAR TG4	Virador de turbina	340MBK01AU001	TG2453/2015	12563

Figura 6. Detalle población en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Tabla resumen de los detalles técnicos reductor y motor sistema virador, según manual del fabricante.

Reductor marca Koenig Engineering Inc. modelo KE100-55T-5	
Torque de salida	82,100 IN.LBS
Velocidad de giro al ingreso	1750 RPM.
Ratio de reducción	285.8:1
Capacidad de aceite	9.8 galones // 37.1 litros
Factor de servicio	1.0
MOTOR AC BALDOR SUPER E SEVERE DUTY	
Potencia	5 H.P.
Voltaje de alimentación	230/460 V
Amperaje	12.6/6.3 A
Velocidad de giro	1750 RPM.
Frecuencia	60 Hz.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.6.1. Instrumentos utilizados para la recolección de datos

Para la presente investigación se utilizarán los siguientes instrumentos para el proceso de recolección de datos:

- Histórico de ordenes de trabajo en el área de mantenimiento.
- Reportes emitidos por la empresa contratista a cargo de muestreo y ensayos del aceite en los diferentes equipos utilizados en la central termoeléctrica.
- Reportes de fallas emitidos por los operadores de campo.
- Históricos de fallas de los equipos en investigación.
- Reportes predictivos ejecutivos utilizados en la gestión interna de planta.
- Información de la central, libros, internet y tesis antiguas.

3.6.2. Instrumentos utilizados para análisis de documentos

La central termoeléctrica Puerto Bravo cuenta con fuentes de información las cuales son plasmadas en ordenes de trabajo internas por medio de un ERP (Enterprise Resource Planning – Planificación de Recursos Empresariales) de manera que se pueda llevar una correcta gestión de mantenimiento, rutinas operativas para poder detectar fallas y alarmas en los diferentes equipos de planta para posteriormente ser reportadas al área de mantenimiento y poder tomar las acciones correctas para levantar las observaciones; gracias a esta correcta gestión de mantenimiento y herramientas podemos realizar la programación y planificación de mantenimiento preventivo, predictivo, proactivo, mejora y mantenimiento mayor según sea requerido.

3.7. Procedimiento de recolección de datos.

Con el fin de poder cumplir los objetivos planteados en el presente estudio de investigación se requieren ciertas etapas que deben cumplirse de manera ordenada para poder desarrollar e implementar el plan de mantenimiento proactivo, los cuales son los siguientes:

- 1.- Análisis de criticidad en equipos rotativos utilizados por los sistemas auxiliares.
- 2.- Recolección de información técnica de los reductores de velocidad utilizados en el sistema de virador utilizados en el calentamiento y enfriamiento de los ejes de las turbinas de gas durante su arranque y parada.
- 3.- Análisis de indicadores de disponibilidad y confiabilidad en las turbinas.
- 4.- Análisis de los métodos predictivos utilizados en los equipos de investigación para identificar cual nos está indicando más fallas.
- 5.- Identificar las causas principales de falla y los efectos de los mismos, para posteriormente relacionarlas con la situación actual de los equipos.
- 6.- Se definieron las inspecciones rutinarias a ser realizadas por los operadores de campo bajo un formato de inspección.
- 7.- Se diseñó el plan de mantenimiento proactivo de los equipos en investigación centrado principalmente en los resultados de los análisis de aceite.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO

4.1. Descripción de la situación actual del equipo.

Los reductores de velocidad de la marca Koenig Engineering Inc. modelo KE100-55T-5 utilizados en la central termoeléctrica Puerto Bravo, son los equipos rotativos más importantes dentro de los sistemas auxiliares que intervienen en la operación de las turbinas como se pudo comprobar por medio del análisis de criticidad a equipos rotativos de los sistemas auxiliares que participan en la operación de la turbina.

4.1.1. Análisis de criticidad en equipos rotativos de los sistemas auxiliares utilizados para la operación de turbinas de gas.

Para el presente análisis de criticidad se tuvieron en cuenta los principales motores, conjunto motor – bomba y reductores de velocidad de los sistemas auxiliares utilizados en la operación de las turbinas de gas (sistema virador, inyección agua desmineralizada, inyección aire atomizado, inyección combustible, lubricación, levante, sello, enfriamiento y extracción de nieblas) en total fueron 21 equipos por cada una de las turbinas de la central en estudio.

La norma aplicada para el análisis de criticidad es la ISO 14424:2016 cuyo enfoque es la correcta gestión de información de mantenimiento ya que basándonos en esta información es que futuramente se realizará la toma de decisiones, para ellos se utilizó bases de datos históricos, así como la experiencia del personal de planta.

Estableciendo los siguientes parámetros que serán evaluados:

- 1.- # Fallas presentadas en el equipo a ser analizado.
- 2.- Años activos el equipo desde su instalación.

3.- Mean Time Between Failures (MTBF) que se define como la cantidad años del equipo y la cantidad fallas ocurridas en el mismo.

4.- Probabilidad de MTBF, valorizado de la siguiente manera:

- 1) Si $MTBF = 0$, entonces probabilidad MTBF no aplica.
- 2) $MTBF < 1$, entonces se considera el valor 5.
- 3) $1 \leq MTBF \leq 3$, entonces se considera el valor 4.
- 4) $3 < MTBF \leq 5$, entonces se considera el valor 3.
- 5) $5 < MTBF \leq 10$, entonces se considera el valor 2.
- 6) $10 < MTBF$, entonces se considera el valor 1.

5.- Flexibilidad operativa, definida como la posibilidad de cambiar rápidamente del equipo fallado a otro equipo operativo con la finalidad de que la producción no sea afectada.

- Valores:

- 1) Cuando el equipo es secundario es decir que no afecta de forma directa a la producción.
- 2) El equipo cuenta con un equipo igual de respaldo, en caso falle el primero este segundo equipo entra instantemente para no afectar la producción.
- 3) El equipo es único y por factores varios no cuenta con un respaldo por lo que su falla afecta directamente a la producción.

6.- Producción, en el cual se analizará como afecta directamente a la producción cuantificada en tiempo la falla del equipo en análisis.

- Valores:

- 1) Su falla no produce ninguna interrupción.
- 2) Su falla detiene la producción por un tiempo menor a una semana.

3) Su falla detiene la producción por un tiempo mayor a una semana, pero menor a un mes.

4) Su falla detiene la producción por un tiempo mayor a un mes, pero menor a seis meses.

5) Su falla detiene la producción por un tiempo mayor a seis meses.

7.- Costo de reparación, se consideran todos los costos directos (repuestos, mano de obra propia o tercera, herramientas, maquinaria o vehículos, equipos especiales, etc.) e indirectos (multas, penalidades, personal administrativo, procesos administrativos, etc.) para que el equipo pueda volver a estar operativo.

- Valores:

1) Costos menores a \$ 10,000.00

2) Costos mayores a \$ 10,000.00 y menores a \$ 25,000.00

3) Costos mayores a \$ 25,000.00 y menores a \$ 100,000.00

4) Costos mayores a \$ 100,000.00 y menores a \$ 500,000.00

5) Costos mayores a \$ 500,000.00

8.- Seguridad y salud ocupacional, factor que mide el impacto de la falla del equipo en análisis en la seguridad y salud ocupacional.

- Valores:

1) Posibles lesiones y/o enfermedades menores que requieren primeros auxilios.

2) Posibles lesiones y/o enfermedades que requieren tratamiento médico.

3) Posibles lesiones y/o enfermedades graves que causan problemas de salud.

4) Posible fatalidad, enfermedad o lesión que incapacitarían de manera permanente.

5) Posibles múltiples fallecimientos.

9.- Medio ambiente o social, factor que mide el impacto de la falla del equipo en análisis en el medio ambiente o las relaciones con las poblaciones vecinas a la central.

- Valores según afectación medio ambiental.

- 1) Efectos de poca importancia en una pequeña área, con efectos no relevantes para el medio ambiente.
- 2) Efectos menores con una duración menor a un año en el medio ambiente.
- 3) Efectos moderados con una duración entre un año y cinco años en el medio ambiente y que no afectan los permisos o licencias de la central.
- 4) Efectos graves a largo plazo con duración mayor a cinco años en el medio ambiente, la cual requiere remediación a mediano plazo y teniendo un impacto potencial en los permisos y licencias de la planta.
- 5) Efectos irreversibles para especies, ecosistema o hábitats que requieren una remediación inmediata y con gran impacto en los permisos y licencias.

- Valores según afectación social.

- 1) Menor impacto en las relaciones con las comunidades, pudiendo solucionarse brevemente con queja administrativa formal.
- 2) Leve impacto en las relaciones con las comunidades, sin afectar a la operación, pero causando un descontento pudiendo solucionarse brevemente con queja administrativa formal.
- 3) Moderado impacto en las relaciones con las comunidades causadas por las operaciones de la planta, provocando algunas violaciones de los límites legales pudiendo provocar un limitado impacto en las operaciones como protestas, necesitando de un proceso de negociación a largo plazo adicional a las quejas formales.
- 4) Significativo impacto en las relaciones con las comunidades provocando daños en el área de influencia y pudiendo causar recuperación a largo plazo con un impacto potencial en las operaciones causando interrupción breve de las operaciones

necesitando de un proceso de negociación a mediano plazo adicional a las quejas formales.

5) Severo impacto en las relaciones con las comunidades provocando daños irreparables en el área de influencia causando impacto material y una interrupción a largo plazo de las operaciones requiriendo negociaciones a largo plazo involucrando a terceros.

10.- Probabilidad, es el mismo valor que la probabilidad de MTBF, pero en caso de no tener un histórico de fallas por lo que el MTBF tendría como valor 0 (es decir no aplica) y por defecto causando una probabilidad de MTBF igual a 0 (es decir no aplica), se consideran valores estimados según cinco escenarios:

- Valores:

- 1) Probabilidad de una falla en más de diez años de operación del equipo.
- 2) Probabilidad de una falla en más de cinco años de operación del equipo.
- 3) Probabilidad de una falla en más de tres años de operación del equipo.
- 4) Probabilidad de una falla en más de un año de operación del equipo
- 5) Probabilidad de tener más de una falla al año.

11.- Factor de la probabilidad, se considera el valor de la probabilidad de MTBF en caso de ser cero (es decir no aplica), se utiliza el valor de probabilidad.

12.- Riesgo total, valor final producto del cálculo de los valores previamente analizados teniendo en cuenta históricos, estadísticas, costos de proyecto, diseño de la central, etc.

Cálculo riesgo total =

$$\begin{aligned}
 & (Factor\ de\ la\ probabilidad \times Producción \times Flex.\ Operativa) \\
 & + 2 (Factor\ de\ la\ probabilidad \times Costo\ de\ reparación) \\
 & + 2 (Factor\ de\ la\ probabilidad \times Seguridad\ y\ salud\ ocupacional) \\
 & + (Factor\ de\ la\ probabilidad \times Seguridad\ y\ salud\ ocupacional) \\
 & + (Factor\ de\ la\ probabilidad \times Medio\ ambiente\ o\ Social)
 \end{aligned}$$

Definición de niveles de criticidad según riesgo total del equipo analizado:

- Nivel bajo “D”, considerando $6 \leq \text{Riesgo Total} < 26$.
- Nivel medio “C”, considerando $26 \leq \text{Riesgo Total} < 56$.
- Nivel alto “B”, considerando $56 \leq \text{Riesgo Total} < 84$.
- Nivel crítico “A”, considerando $84 \leq \text{Riesgo Total} < 200$.

Tabla 6. Tabla de análisis de criticidad a los principales equipos rotativos de los sistemas auxiliares utilizados en la operación de las turbinas (considerando sólo criticidad A y B).

Descripción	Codificación KKS (Kraftwerk- Kennzeichensyste- m)	# fallas	Años del activo (funciona- ndo)	MT BF	Prob x MTB F	FLEXIBILI- DAD OPERATIV A	SEVERIDAD				PROBABIL IDAD	Factor en función de la probabili- dad	RIESGO TOTAL	NIVEL DE CRITICI- DAD
							PRODUC- CIÓN	COSTO DE REPARA- CIÓN	SEGURIDA D Y SALUD OCUPACIO NAL	MEDIO AMBIEN TE O SOCIAL				
(88TG-1) TURNING GEAR MOTOR	310MBK01AE001-M01	3	5	2	4	3	4	3	1	1	3	4	84	A
(88TG-1) TURNING GEAR MOTOR	330MBK01AE001-M01	6	5	1	5	3	4	3	1	1	3	5	105	A
(88TG-1) TURNING GEAR MOTOR	340MBK01AE001-M01	4	5	1	4	3	4	3	1	1	3	4	84	A
(88FP-2) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #2	310MBN72AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-3) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #3	310MBN73AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-2) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #2	320MBN72AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-3) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #3	320MBN73AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-2) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #2	330MBN72AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-3) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #3	330MBN73AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-2) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #2	340MBN72AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88FP-3) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #3	340MBN73AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	2	4	4	64	B
(88QE-1) EMERGENCY LUBE OIL PUMP MOTOR	310MBV11AP001-M01	1	5	5	3	3	4	3	1	1	3	3	63	B
(88TG-1) TURNING GEAR MOTOR	320MBK01AE001-M01	1	5	5	3	3	4	3	1	1	3	3	63	B
(88QE-1) EMERGENCY LUBE OIL PUMP MOTOR	320MBV11AP001-M01	1	5	5	3	3	4	3	1	1	3	3	63	B
(88QE-1) EMERGENCY LUBE OIL PUMP MOTOR	330MBV11AP001-M01	1	5	5	3	3	4	3	1	1	3	3	63	B
(88QE-1) EMERGENCY LUBE OIL PUMP MOTOR	340MBV11AP001-M01	1	5	5	3	3	4	3	1	1	3	3	63	B
(88FP-1) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #1	310MBN71AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	1	4	4	60	B
(88FP-1) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #1	320MBN71AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	1	4	4	60	B
(88FP-1) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #1	330MBN71AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	1	4	4	60	B
(88FP-1) LIQUID FUEL PUMP DRIVE MOTOR #1	340MBN71AP001-M01	2	5	3	4	2	1	4	2	1	4	4	60	B

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la cantidad de fallas desde la instalación los reductores de velocidad, que estos equipos son únicos en cada turbina y que no cuentan con uno de respaldo en almacén, que la reparación integral en caso de falla debe ser atendida directamente por la empresa fabricante en Estados Unidos demorando aproximadamente tres semanas para reparación y casi una semana en traslados logístico para el caso de los reductores en las turbinas #1, #3 y #4 se encuentran en el nivel A como críticos y para el caso de la turbina #2 se cataloga en el nivel B como alto por lo que son considerados los equipos más críticos motivo por el cual fueron seleccionados para investigación; los otros equipos rotativos del cuadro adjunto con criticidad nivel A y B en su mayoría cuentan con un equipo de respaldo y en caso de falla pueden ser atendidos en un taller de mantenimiento en la ciudad de Arequipa debido a no ser tan complejos como los reductores de velocidad, tomando aproximadamente tres horas para el desmontaje del motor con apoyo de grúa, dos horas el traslado del motor por carretera y tres días de reparación previa coordinación con la empresa responsable.

4.1.2. Análisis causa raíz de la indisponibilidad de los reductores de velocidad.

Para identificar cuales son los puntos donde debemos aplicar mantenimiento proactivo debemos encontrar el modo de falla que no se encuentra controlada con planes de mantenimiento o procedimientos definidos.

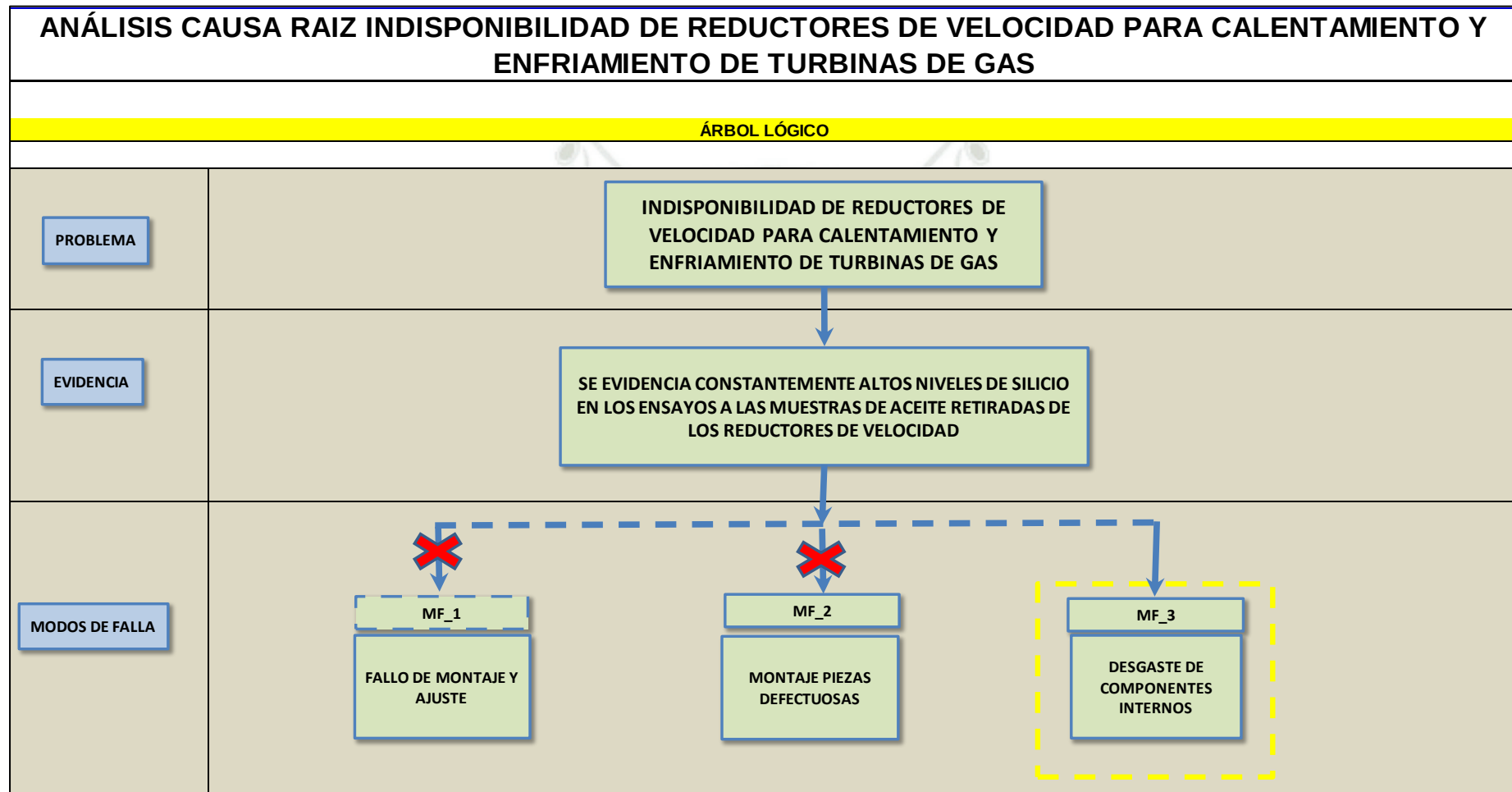


Figura 7. Árbol lógico del análisis causa raíz de indisponibilidad reductor de velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

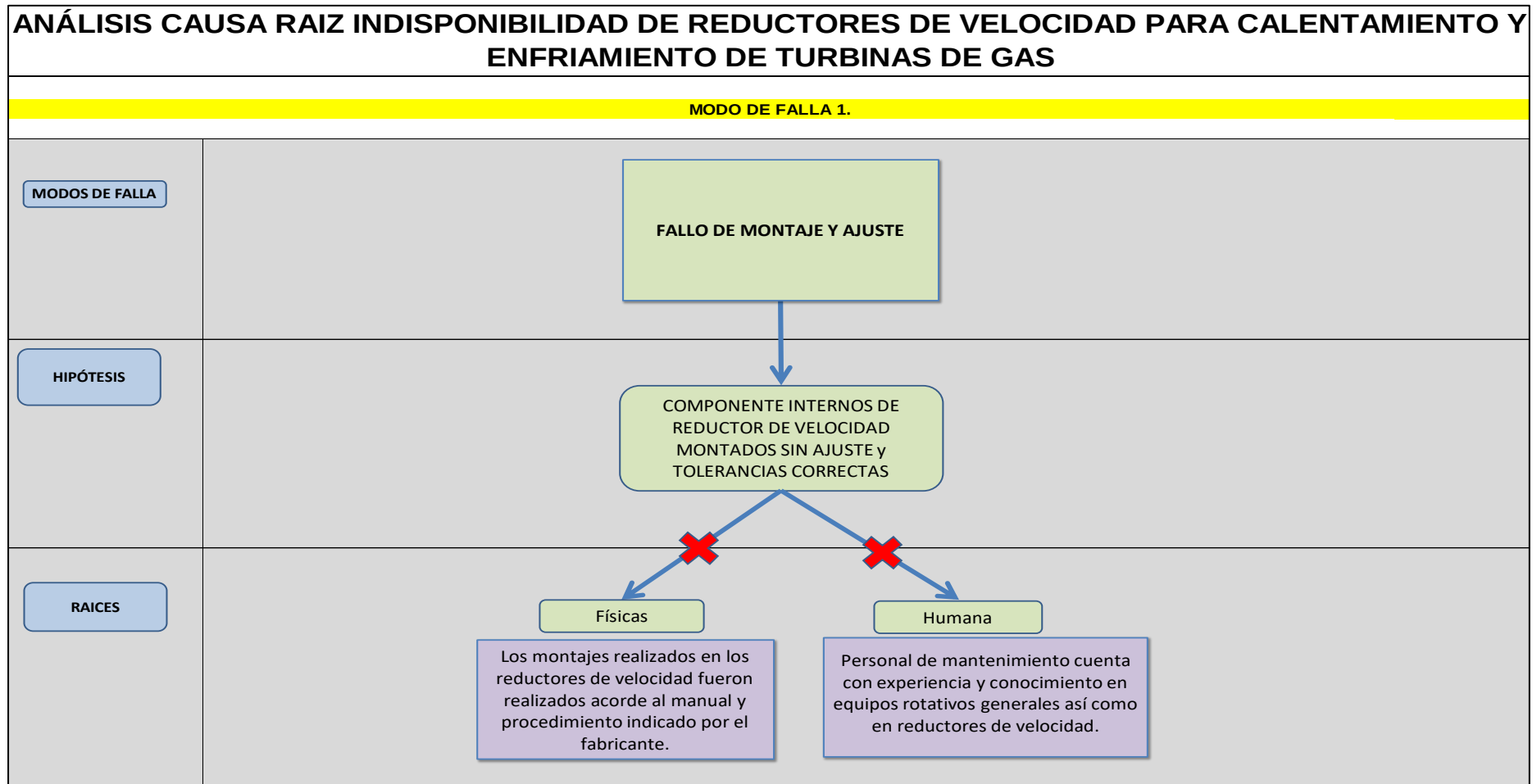


Figura 8. Análisis modo de falla N°1 del árbol lógico ACR indisponibilidad reductor de velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

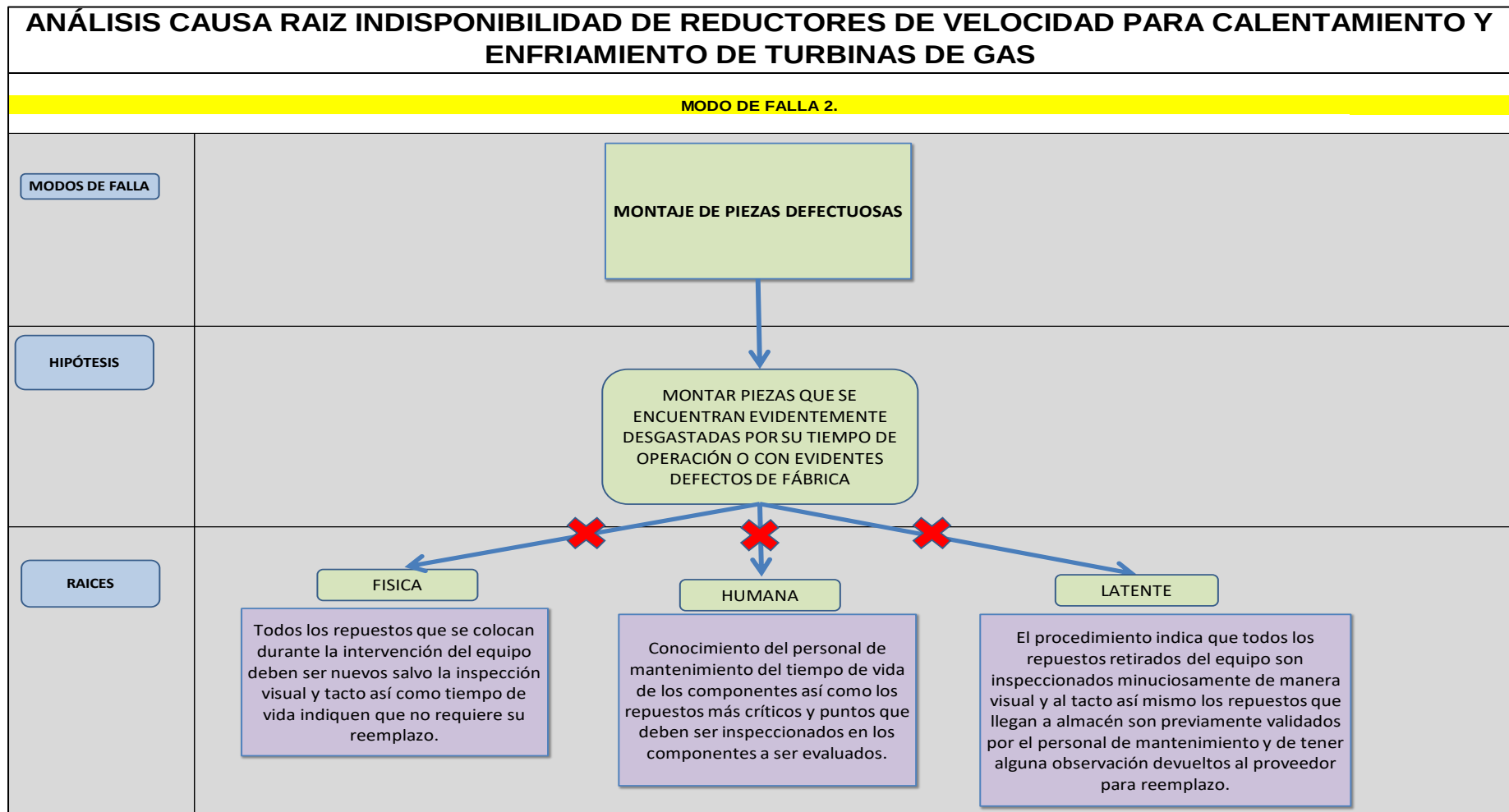


Figura 9. Análisis modo de falla N°2 del árbol lógico ACR indisponibilidad reductor de velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

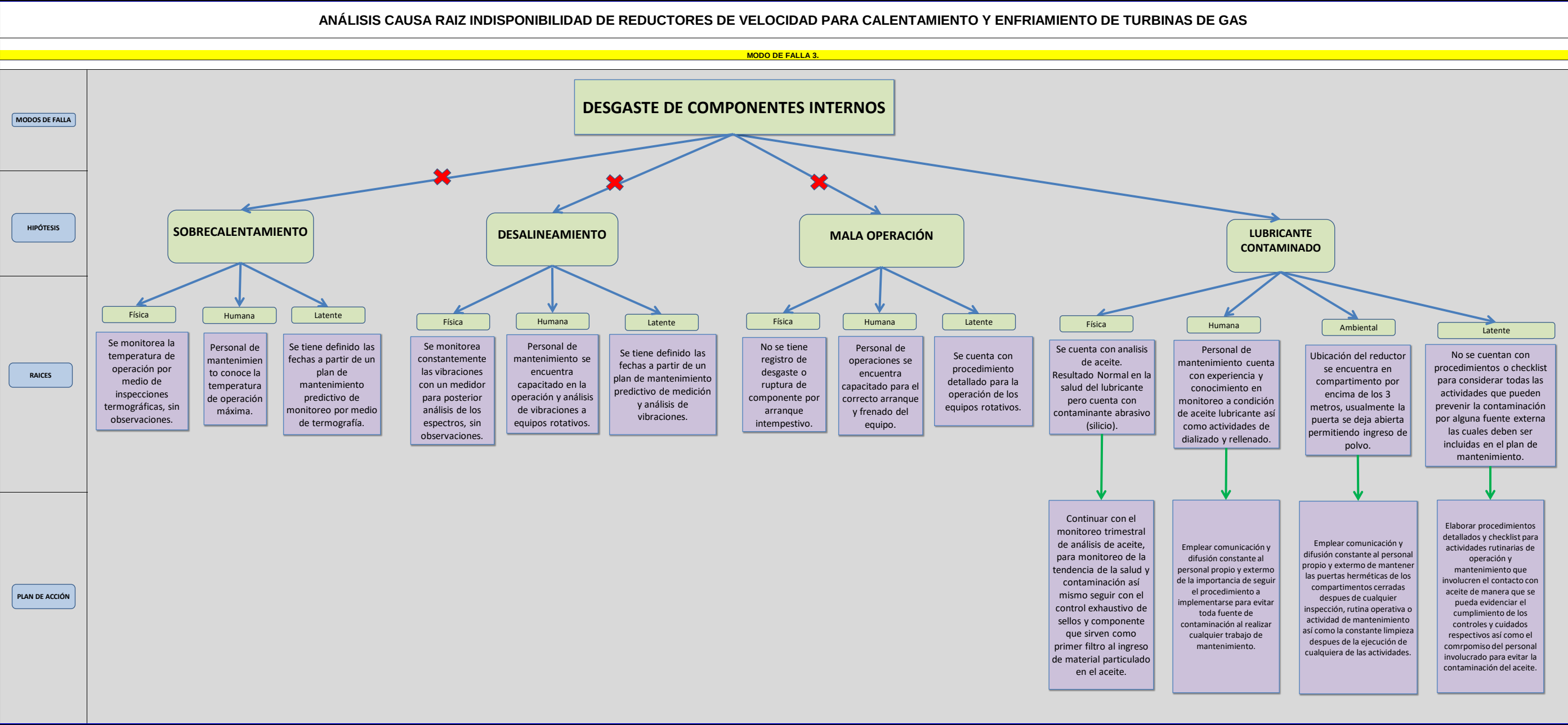


Figura 10. Análisis modo de falla N°3 del árbol lógico ACR indisponibilidad reductor de velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

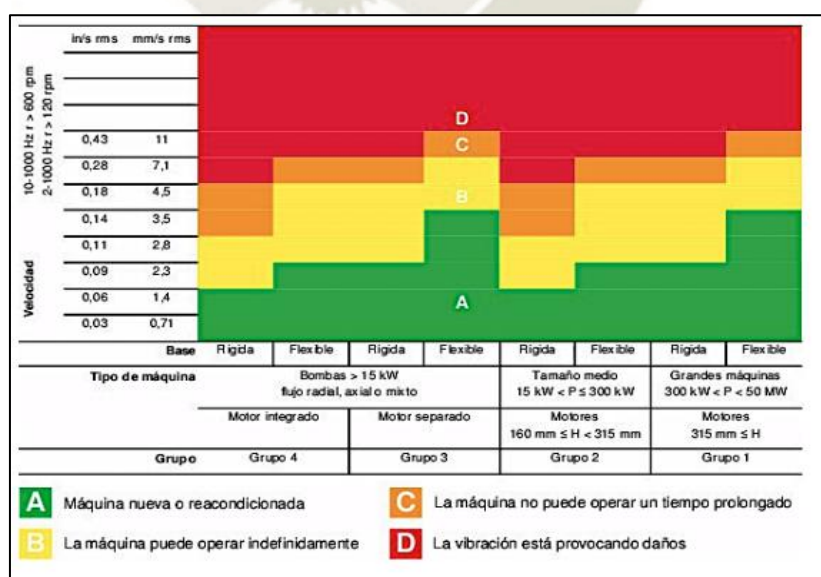
4.1.3. Plan de mantenimiento preventivo – predictivo actual.

Tabla 7. Tabla de resumen plan rutinario de mantenimiento a motor y reductor de velocidad utilizado en el virado de las 04 turbinas de gas.

Descripción MP	Código MP	Tipo de Mantenimiento	Área Responsable	KKS	MACHINE TRAIN	GE Tag	PERIODICIDAD (mes)	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Inspección y medición de vibraciones Turning Gear TG1	03-ME1-MBK-001	Predictivo	Mecánica	310MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección y lubricación del Turning Gear TG1	03-ME1-MBK-002	Preventivo	Mecánica	310MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	6	X						X					
Dializado y/o cambio de aceite del Turning Gear TG1	03-ME1-MBK-003	Preventivo	Mecánica	310MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3		X			X			X			X	
Servicio Muestreo Trimestral de aceite Turning Gear TG1	03-ME1-MBV-043	Predictivo	Mecánica	310MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3	X			X			X			X		
Inspección y medición de vibraciones Turning Gear TG2	03-ME2-MBK-001	Predictivo	Mecánica	320MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección y lubricación del Turning Gear TG2	03-ME2-MBK-002	Preventivo	Mecánica	320MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	6	X						X					
Dializado y/o cambio de aceite del Turning Gear TG2	03-ME2-MBK-003	Preventivo	Mecánica	320MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3		X			X			X			X	
Servicio Muestreo Trimestral de aceite Turning Gear TG2	03-ME2-MBV-043	Predictivo	Mecánica	320MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3	X			X			X			X		
Inspección y medición de vibraciones Turning Gear TG3	03-ME3-MBK-001	Predictivo	Mecánica	330MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección y lubricación del Turning Gear TG3	03-ME3-MBK-002	Preventivo	Mecánica	330MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	6	X						X					
Dializado y/o cambio de aceite del Turning Gear TG3	03-ME3-MBK-003	Preventivo	Mecánica	330MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3		X			X			X			X	
Servicio Muestreo Trimestral de aceite Turning Gear TG3	03-ME3-MBV-043	Predictivo	Mecánica	330MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3	X			X			X			X		
Inspección y medición de vibraciones Turning Gear TG4	03-ME4-MBK-001	Predictivo	Mecánica	340MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección y lubricación del Turning Gear TG4	03-ME4-MBK-002	Preventivo	Mecánica	340MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	6	X						X					
Dializado y/o cambio de aceite del Turning Gear TG4	03-ME4-MBK-003	Preventivo	Mecánica	340MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3		X			X			X			X	
Servicio Muestreo Trimestral de aceite Turning Gear TG4	03-ME4-MBV-043	Predictivo	Mecánica	340MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	3	X			X			X			X		
Medición de aislamiento motor de Turning Gear TG1	03-EL1-MBK-002	Predictivo	Electricidad	310MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	12		X										
Medición de aislamiento motor de Turning Gear TG2	03-EL2-MBK-002	Predictivo	Electricidad	320MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	12					X							
Medición de aislamiento motor de Turning Gear TG3	03-EL3-MBK-002	Predictivo	Electricidad	330MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	12								X				
Medición de aislamiento motor de Turning Gear TG4	03-EL4-MBK-002	Predictivo	Electricidad	340MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	12											X	
Inspección Termografica Motor y Turning Gear TG1	03-EL1-MBK-003	Predictivo	Electricidad	310MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección Termografica Motor y Turning Gear TG2	03-EL2-MBK-003	Predictivo	Electricidad	320MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección Termografica Motor y Turning Gear TG3	03-EL3-MBK-003	Predictivo	Electricidad	330MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	
Inspección Termografica Motor y Turning Gear TG4	03-EL4-MBK-003	Predictivo	Electricidad	340MBK01AU001	TURNING GEAR	88TG-1	2	X		X		X		X		X		X	

Fuente: Elaboración propia.

- Inspección y medición de vibraciones Turning Gear: Empleando un medidor de vibraciones de la marca PRUFTECHNIK modelo VIBXPERT II el mantenedor – operador mecánico que se encuentre previamente capacitado para la medición y posterior análisis procede a las tomas en campo (en ocasiones se realizan medición de vibraciones adicionales a las del plan de mantenimiento por confiabilidad e indicación de la supervisión) mientras el equipos se encuentra en servicio tanto al motor como al reductor en los puntos verticales, axiales y horizontales así mismo se tiene en cuenta la temperatura del equipo la cual es medida con un pirómetro, posteriormente la data del equipo medidor es descargada en la PC y utilizando el programa OMNITREND se procede al análisis del espectro de no encontrarse tendencias agresivas se procede a alimentar el Excel ejecutivo de vibraciones para un correcto monitoreo con los valores obtenidos en mm/seg y teniendo en cuenta el código de severidad de las vibraciones según la norma ISO 10816 – 3:2009.



Fuente: Extracto norma ISO 10816:2009 por la empresa RODESPREX.

Tabla 8. Tabla de resumen ejecutivo de vibraciones tomando en cuenta únicamente reductores de velocidad.

RUN HOURS	GE TAG	KKS	DESCRIPCION	REFERENCIA 2018	2019											
					ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
15850	88TG-1	310MBK01AE001	TURNING GEAR MOTOR TG1	0.53		0.5	0.5	0.5	0.43	0.36	0.6	0.6	0.71	0.58	0.52	0.51
11453	88TG-1	320MBK01AE001	TURNING GEAR MOTOR TG2	0.45		0.46	0.46	0.46	0.49	0.48	0.46	0.44	0.47	0.47	0.47	0.51
12543	88TG-1	330MBK01AE001	TURNING GEAR MOTOR TG3	0.45		0.35	0.35	0.35	0.49	0.36	0.34	0.35	0.34	0.31	0.31	0.39
12563	88TG-1	340MBK01AE001	TURNING GEAR MOTOR TG4	0.45		0.47	0.47	0.47	0.47	0.51	0.41	0.47	0.46	0.49	0.41	

Fuente: Elaboración por personal de mantenimiento CT Puerto Bravo.

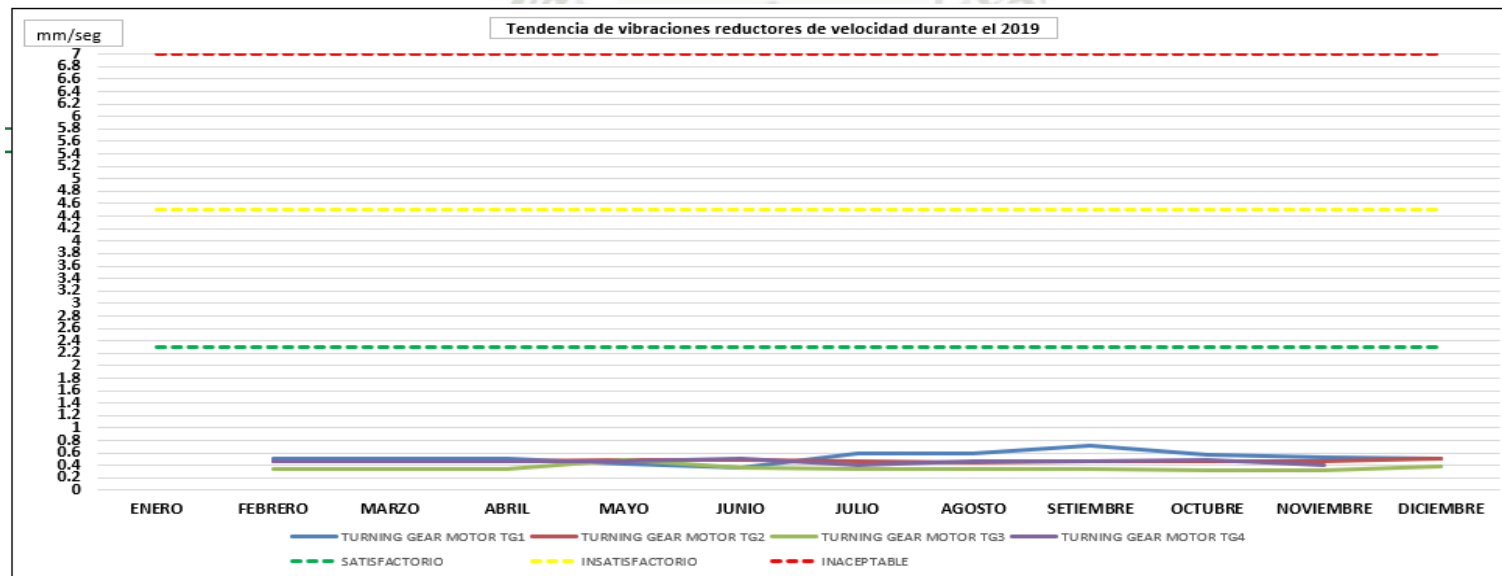


Figura 12. Tendencia de vibraciones realizada al reductor de velocidad durante el 2019.

Fuente: Elaboración propia.

Inspección y lubricación del Turning Gear: De manera semestral por parte de los mantenedores - operadores se realiza la inspección general del equipo donde se revisa el nivel de aceite y en caso de este encontrarse por debajo del nivel se procede a realizar el llenado por la cantidad faltante, revisión visual de sellos, juntas, ejes, engranajes, toma de temperatura, engrase al motor eléctrico con grasa Polirex EM (recomendada por el fabricante) aproximadamente 20 gr (04 bombeadas) al lado de acople y lado libre.

- Dializado y/o cambio de aceite del Turning Gear: El dializado se realiza en función de los resultados del aceite muestreado el mes previo como se puede observar en el punto 4.3 los resultados indican que el nivel de limpieza NAS elevado mientras que los demás parámetros se encuentran dentro de los rangos permisibles por lo que no es necesario el cambio; inicialmente el mantenedor – operador mecánico procede con la instalación de mangueras y acoples del equipo dializador portátil de aceite al reductor de velocidad.



Figura 13. Conexionado reductor de velocidad a equipo de dializado de aceite.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se toma la medición inicial de NAS siendo este valor de 8, mostrando valores por encima del NAS 7 que es lo recomendado por el fabricante, así como el proveedor que realiza los ensayos de aceite.



Figura 14. Pantalla de equipo dializador indicando rango de NAS inicial.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se inicia el dializado del aceite del reductor por 45 minutos debiendo llegar hasta el valor de NAS 7 o menor.



Figura 85. Pantalla de equipo dializador indicando rango de NAS final.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Valores de limpieza aceite según norma NAS – ISO.

NAS 1638	ISO 4406
00	10/8/6
0	11/9/7
1	12/10/8
2	13/11/9
3	14/12/10
4	15/13/11
5	16/14/12
6	17/15/13
7	18/16/14
8	19/17/15
9	20/18/16
10	21/19/17
11	22/20/18
12	23/21/19

Fuente: Elaboración propia.

- Servicio Muestreo Trimestral de aceite Turning Gear: La actividad de muestreo y ensayo es tercerizada a una empresa especialista en tribología adicional a los muestreos y ensayo en los reductores de velocidad se realiza también al sistema de lubricación de turbina y motores de combustión interna de los grupos electrógenos de respaldo para alimentación de auxiliares y esenciales.

La periodicidad fue propuesta por personal de mantenimiento y supervisión ya que según manual se recomienda el cambio de aceite trimestral pero el correcto cambio de aceite

basado en la condición hace posible realizar seguimiento a los parámetros y según la tendencia ampliar la fecha de cambio de aceite, así como poder monitorear parámetros de contaminación externos que pueden hacer notar alguna mala práctica o ambiente de trabajo que deben ser mejorados.

UNIDAD	VISITA 01	VISITA 02	VISITA 03	VISITA 04	TOTAL
LUBE OIL SYSTEM	04 MUESTRAS		04 MUESTRAS		08 MUESTRAS
TURNING GEAR	04 MUESTRAS	04 MUESTRAS	04 MUESTRAS	04 MUESTRAS	16 MUESTRAS
MOTORES DIESEL	04 MUESTRAS		04 MUESTRAS		08 MUESTRAS
TOTAL	12 MUESTRAS	04 MUESTRAS	12 MUESTRAS	04 MUESTRAS	32 MUESTRAS

Figura 96. Programación anual de muestreo y ensayos de aceite.

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos a ser realizados fueron parte de investigación realizada por personal de mantenimiento, así como información brindada por otra sede de la corporación con gestión de mantenimiento de mayor antigüedad y que mostró resultados favorables.

Turning Gear	Viscosidad a 40°C / 100°C	ASTM D 7279	Und.	16
	FT-IR	ASTM E 2412	Und.	16
	Número total de ácido (TAN), mg KOH / g	ASTM D 664	Und.	16
	Humedad (Valores mayores a 100 ppm)		Und.	16
	Oxidación		Und.	16
	Código de Limpieza	ISO 4406	Und.	16
	Color	ASTM D 1500	Und.	16
	Espectrometría de metales (21 metales)	ASTM D 6595	Und.	16

Figura 17. Detalle de ensayos a realizarse a las muestras aceite en reductores de velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

ENSAYO:	SALUD DEL LUBRICANTE									CONTAMINACION DEL LUBRICANTE											
	Viscosidad a 40°C (cSt)			Viscosidad a 100°C (cSt)			Oxidación (A/cm)		Color		TAN (mgKOH/g)		NIVEL DE LIMPIEZA (ISO / NAS)					Humedad (ppm)		Flash Point (°C)	
NORMA:	ASTM D-7279			ASTM D-7279			ASTM E-2412		ASTM D-150		ASTM D-664		ISO 4406:	>4 um	>6 um	>14 um	N.A.S 1638	ASTM E-2412		ASTM D-92	
LÍMITES / RANGO	437.0	< cSt <	483.0	48.17	< cSt <	53.24	Alerta: > 8 Peligro: > 12	Alerta: > 3 Peligro: > 5	Alerta: > 0.84 Peligro: > 1.14	Alerta: > 18 Peligro: > 20	16	13	Alerta: > 7 Peligro: > 9	Alerta: > 100 Peligro: > 1000	Alerta: > 1000 Peligro: > 2000	Alerta: > 1000 Peligro: > 2000	Alerta: > 1000 Peligro: > 2000	Alerta: > 1000 Peligro: > 2000	Alerta: > 1000 Peligro: > 2000	Alerta: > 1000 Peligro: > 2000	
11-sep.-18	458.58			52.87			0.64		5.25		0.57			24	22	13	12		0		
20-oct.-18	457.01			52.65			0.39		4.75		0.58			25	22	14	12		0		
8-dic.-18	456.66			52.84			0.55		4.75		0.55			19	17	13	8		0		
10-jul.-19	467.43			52.70			0.61		4.75		0.52			23	21	14	11		0		
28-oct.-19	457.81			52.61			0.67		4.75		0.49			24	23	15	12		0		
15-ene.-20	458.62			52.89			0.71		4.75		0.63			23	21	14	12		0		
ACEITE NUEVO	460			50.7					3.25		0.64								0		228

ENSAYO:	ANÁLISIS ESPECTOMÉTRICO DE METALES (ASTM D-6595)																				
	DESGASTE MECÁNICO									CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE				SALUD DEL LUBRICANTE							
METAL (PPM)	METALES DE DESGASTE									METALES CONTAMINANTES				METALES DE ADITIVOS							
	Plomo	Cobre	Hierro	Estaño	Plata	Cromo	Aluminio	Níquel	Titanio	Sodio	Cadmio	Silicio	Vanadio	Boro	Fósforo	Zinc	Molibdeno	Magnesio	Manganeso	Bario	Calcio
ALERTA: >	10	10	10	10	5	5	10	5	10	10	10	10	10	...	...	...	...	...	...	...	...
PELIGRO: >	20	20	20	20	10	10	20	10	20	20	20	20	20	...	...	...	...	...	...	...	...
11-sep.-18	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	1.0	0.0	254.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0
20-oct.-18	0.0	1.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	32.0	1.0	0.0	294.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
8-dic.-18	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	0.0	0.0	300.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
10-jul.-19	0.0	1.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	0.0	0.0	297.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28-oct.-19	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	0.0	0.0	267.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
15-ene.-20	0.0	0.4	2.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	44.3	0.9	0.1	336.5	1.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.1
ACEITE NUEVO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	319.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 108. Resumen de reporte final por servicio de muestreo y ensayo aceite reductor de velocidad TG1.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

- Medición de aislamiento motor de Turning Gear: La actividad en mención se encuentra regida por la norma IEC 60085-01:1984; posterior al bloqueo, etiquetado y prueba para comprobación que el motor se encuentra fuera de servicio se procede a la medición de resistencia en bornes entre fases utilizando como instrumentos megóhmetro digital y microhmimetro siempre teniendo en cuenta el esquema de conexionado, como se puede observar la resistencia de aislamiento medida cada 10 minutos con un voltaje de 500V demuestra que la misma no se reduce drásticamente.

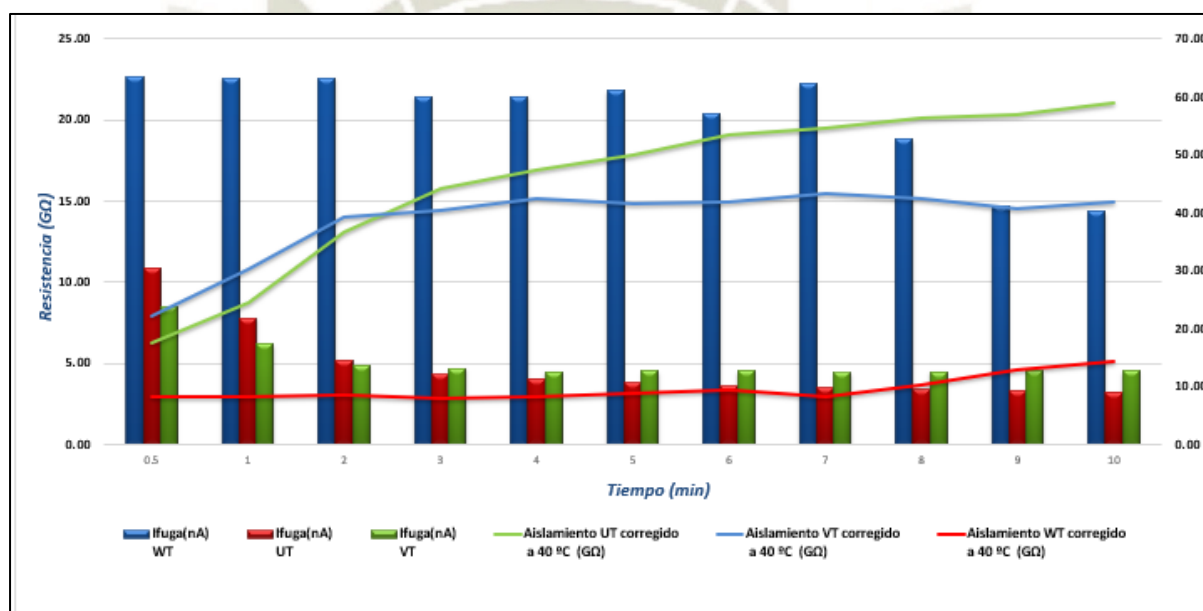


Figura 19. Gráfico comparativo de aislamiento de fases.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

- Inspección Termográfica Motor y Turning Gear: La actividad se rige en función de la norma ISO 18434-1: 2008; la temperatura de operación a plena carga del reductor de velocidad no debe superar los 98.88 °C + 15% de tolerancia según indicación del fabricante.

Para la inspección termográfica se utiliza la cámara termográfica de la marca Fluke modelo TiX560-15010034.

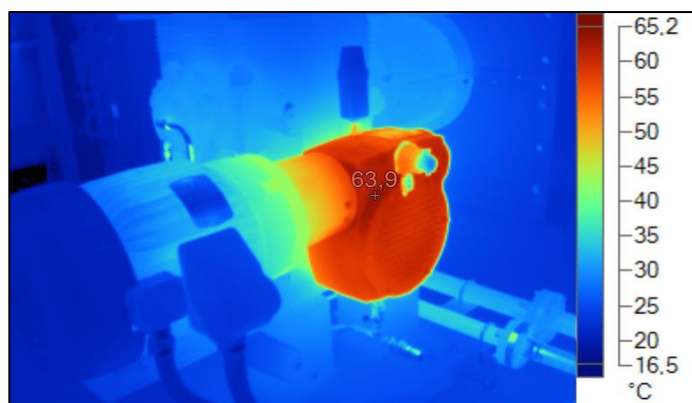


Figura 20. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG1 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

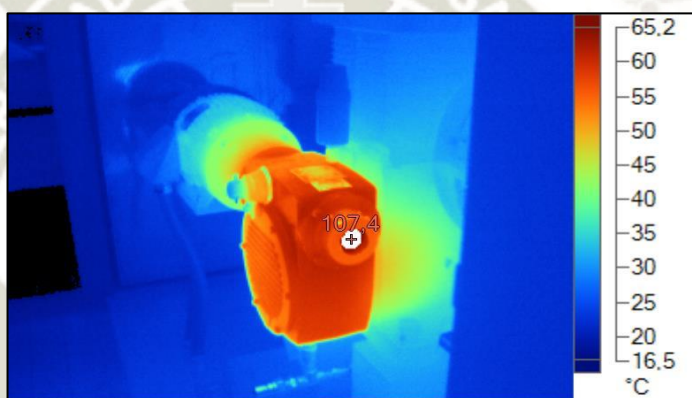


Figura 21. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG1 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

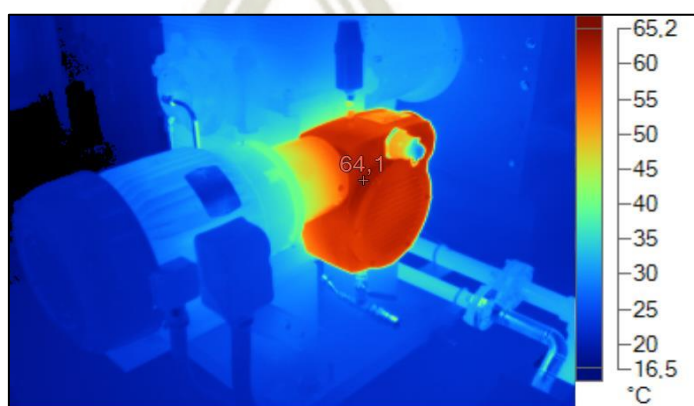


Figura 22. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG2 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

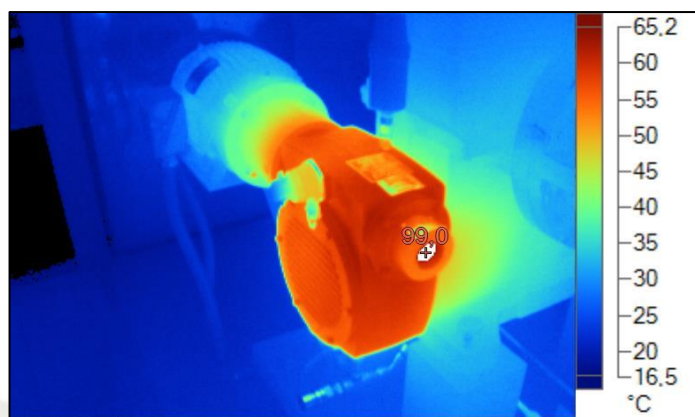


Figura 23. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG2 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

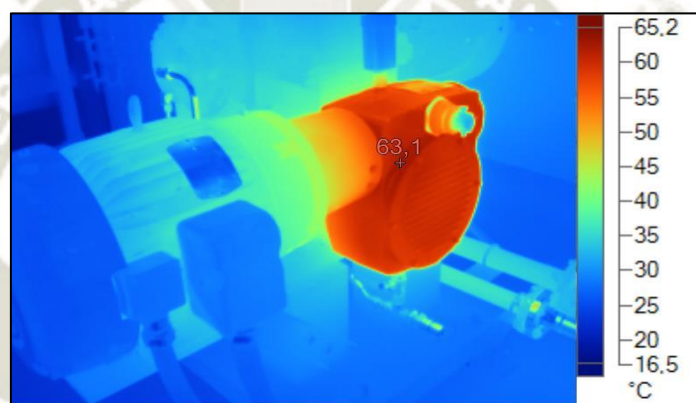


Figura 24. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG3 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

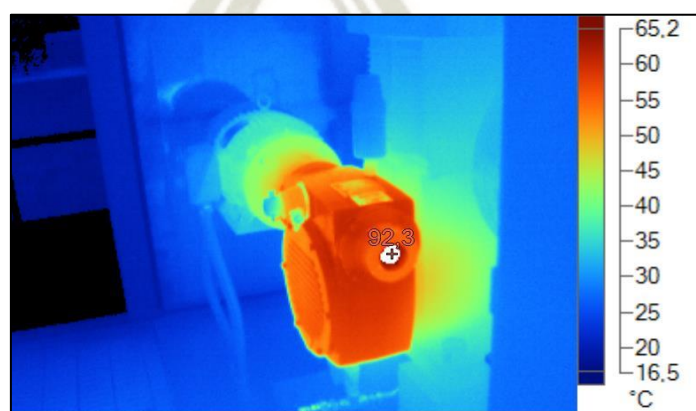


Figura 25. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG3 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

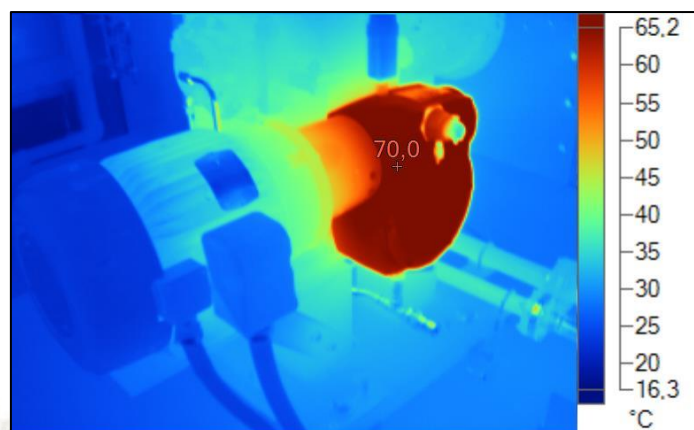


Figura 26. Captura termográfica frontal reductor de velocidad TG4 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

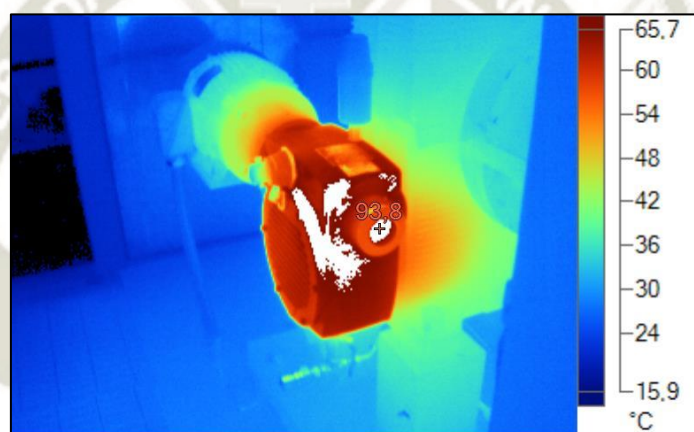


Figura 27. Captura termográfica posterior reductor de velocidad TG4 en servicio.

Fuente: Reporte elaborado por área de mantenimiento eléctrico.

4.1.4. Revisión estado general del equipo actualmente.

Como se pudo revisar las actividades de mantenimiento actualmente aplicadas a los reductores de velocidad en el punto 4.1.2. y centrándonos principalmente en los métodos predictivos se concluyó que el equipo reductor así como el motor que se encarga de su movimiento no cuentan con parámetros de vibraciones altos, puntos calientes en las capturas termográficas fuera de los límites de temperatura de operación o niveles de aislamiento bajos en el motor pero si se puede observar una tendencia constante de suciedad general en el aceite

de lubricación así como contaminación por partículas de silicio muy por encima del rango permisible por lo que en base a un mantenimiento proactivo se buscará la causa raíz para posteriormente mejorar las prácticas de mantenimiento.

4.2. Aceites recomendados y utilizados por fabricante

Basándonos en el manual del fabricante KOENING ENGINEERING INC. los aceites lubricantes recomendados son de la marca MOBIL: SHC 634, SHC 626, 600W SUPER CYLINDER, la capacidad utilizada en el reductor es de 9.8 galones (37.1 litros), así mismo se recomienda medición periódica del nivel de aceite cuando este no se encuentra en servicio y agregar según nivel.

Tabla 10. Características típicas aceites serie SHC 600 marca Mobil.

Características típicas										
La serie Mobil SHC 600	624	625	626	627	629	630	632	634	636	639
Grado de viscosidad ISO	32	46	68	100	150	220	320	460	680	1000
Viscosidad, ASTM D 445										
cSt @ 40° C	32	46	68	100	150	220	320	460	680	1000
cSt @ 100° C	6,3	8,5	11,6	15,3	21,1	28,5	38,5	50,7	69,0	98,8
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	148	161	165	162	166	169	172	174	181	184
Punto de fluidez, °C, ASTM D5950	-57	-54	-51	-45	-39	-36	-33	-30	-30	-27
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	236	225	225	235	220	220	225	228	225	222
Densidad @ 15°C (60°F) (g/cc) ASTM D4052	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Apariencia visual	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja
TOST, ASTM D 943 mod, horas	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +	10,000 +
RPVOT, ASTM D 2272, minutos	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Protección contra la herrumbre, ASTM D665B, agua de mar sintética	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
Facilidad de separación del agua, ASTM D1401, Min. a 37 ml agua @ 54° C	10	15	15	-	-	-	-	-	-	-
Facilidad de separación del agua, ASTM D1401, Min. a 37 ml agua @ 82° C	-	-	-	15	20	20	20	20	20	25
Corrosión de cobre ASTM D130, 24 hrs @ 121° C	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B
Ensayo de espuma, ASTM D892, Sec II, II ten dencia / estabilidad, ml/ml	15/0, 2 0/0, 25/0	10/0, 30/0, 10/0	10/0, 2 0/0, 10/0	0/0, 10/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0	0/0, 10/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0
Ensayo de abrasión de engranajes FZG, A/8.3/ 90, ISO 14635-1 (mod),	11	12	12	12	13	13+	13+	13+	13+	13+

Fuente: Hoja de datos aceite MOBIL SHC 600 SERIES

4.3. Estado de análisis de aceite

Como se puede observar en función del histórico de ensayos al aceite utilizado en los reductores de velocidad en todos los casos los parámetros observados son el nivel de limpieza y la contaminación por silicio.

Posterior a la alerta relacionada al nivel de limpieza como se observó en el plan de mantenimiento se procede a programar el dializado de aceite en todos los reductores notando que el valor de NAS vuelve al valor mínimo de 6, en caso que de realizarse el dializado y el valor NAS se encuentre por encima de 6 es clara la alerta de que el aceite ya debe ser reemplazado generalmente esto ocurre pasado el año del cambio de aceite.

Para el caso de los metales en base a investigaciones se tiene un resumen de las posibles fuentes por las cuales el aceite es contaminado, para el caso en estudio el silicio es el único contaminante observado debido a los altos niveles, ya que la presencia de hierro reportada se encuentra dentro de los rangos permisibles, por lo que puede acelerar el desgaste abrasivo de componentes.

Tabla 11. Posibles fuentes de contaminación del aceite en equipos rotativos.

Elemento	Posible fuente
Aluminio	Pistones, cojinetes, bombas, arandelas de presión
Antimonio	Cojinetes, grasas
Bario	Aditivo inhibidor de herrumbre y oxidación, grasas
Boro	Aditivo anticorrosivo en refrigerantes, aditivo antidesgaste y EP, polvo/tierra
Calcio	Aditivos detergentes/dispersantes, grasas, cemento
Cromo	Anillos de pistones, rodamientos
Cobre	Cojinetes, aleaciones de bronce/latón, bujes, arandelas de presión, tubos enfriadores de aceite
Hierro	Ejes, rodamientos, cilindros, engranajes, pistones y anillos
Plomo	Cojinetes
Litio	Grasas
Magnesio	Aditivos detergentes/dispersantes, engranajes automotrices, agua salada
Molibdeno	Anillos del pistón, aditivos EP
Níquel	Cojinetes, tren de válvulas, alabes de turbinas
Fósforo	Aditivos antioxidante/antidesgaste, EP
Potasio	Aditivo del refrigerante
Plata	Cojinetes, pasador del pistón
Silicio	Polvo/tierra, aditivo antiespumante
Sodio	Aditivos del refrigerante, agua salada
Estaño	Cojinetes, jaula de rodamientos, soldaduras
Titanio	Aditivo antidesgaste, alabes de turbinas
Cinc	Aditivo antidesgaste/antioxidante, sellos de neopreno

Fuente: A-MAQ S.A. – Ing. Marcel Rueda.

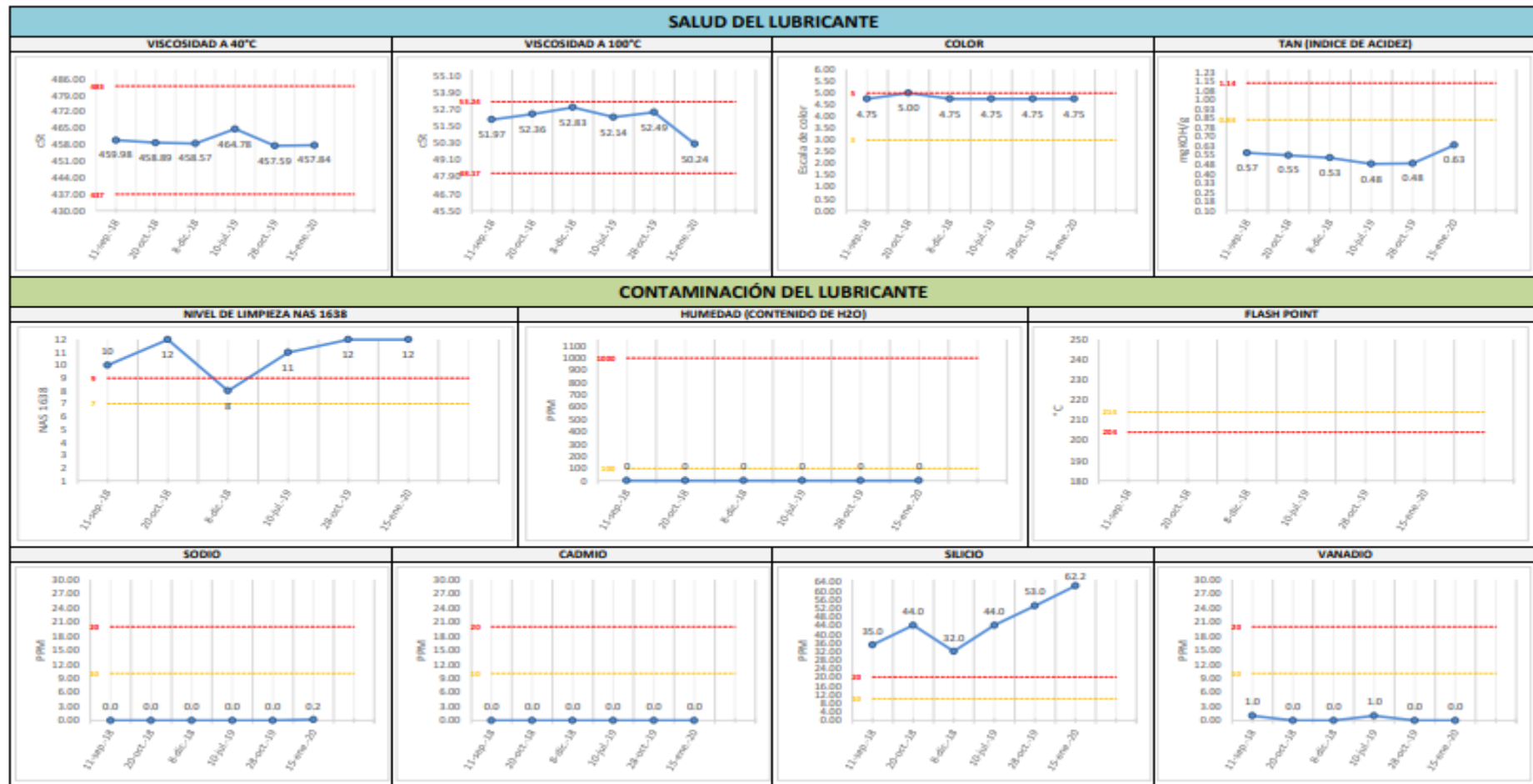


Figura 28. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG1.

Fuente: Contratista especializada en tribología.



Figura 29. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG1.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

COMENTARIOS DEL ANÁLISIS
1.- Los resultados evaluados se encuentran en valores permisibles para el lubricante en servicio, a excepción del nivel de limpieza. 2.- Los valores del aceite nuevo corresponden a los valores presentes en la ficha técnica. 3.- El nivel de T.A.N. se encuentra dentro de los parámetros permisibles. 4.- El nivel de limpieza del aceite se encuentra fuera de los parámetros permisibles (NAS 12). 5.- La concentración de sílice se encuentra fuera de los parámetros permisibles, lo cual acelera el desgaste abrasivo. 6.- Todos los demás parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles. 7.- Los valores de alerta y peligro son tomados del documento GEK 46505-E de la OEM General Electric, así como la normas ASTM correspondientes.
RECOMENDACIONES
1.- Continuar monitoreando el lubricante para evaluar cambios en las tendencias. 2.- Se requiere realizar acción correctiva (dializado para mejorar los niveles de limpieza). 3.- Sugerimos identifique y corrija las condiciones que pueden haber contribuido al estado de lubricante.

Figura 30. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG1.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

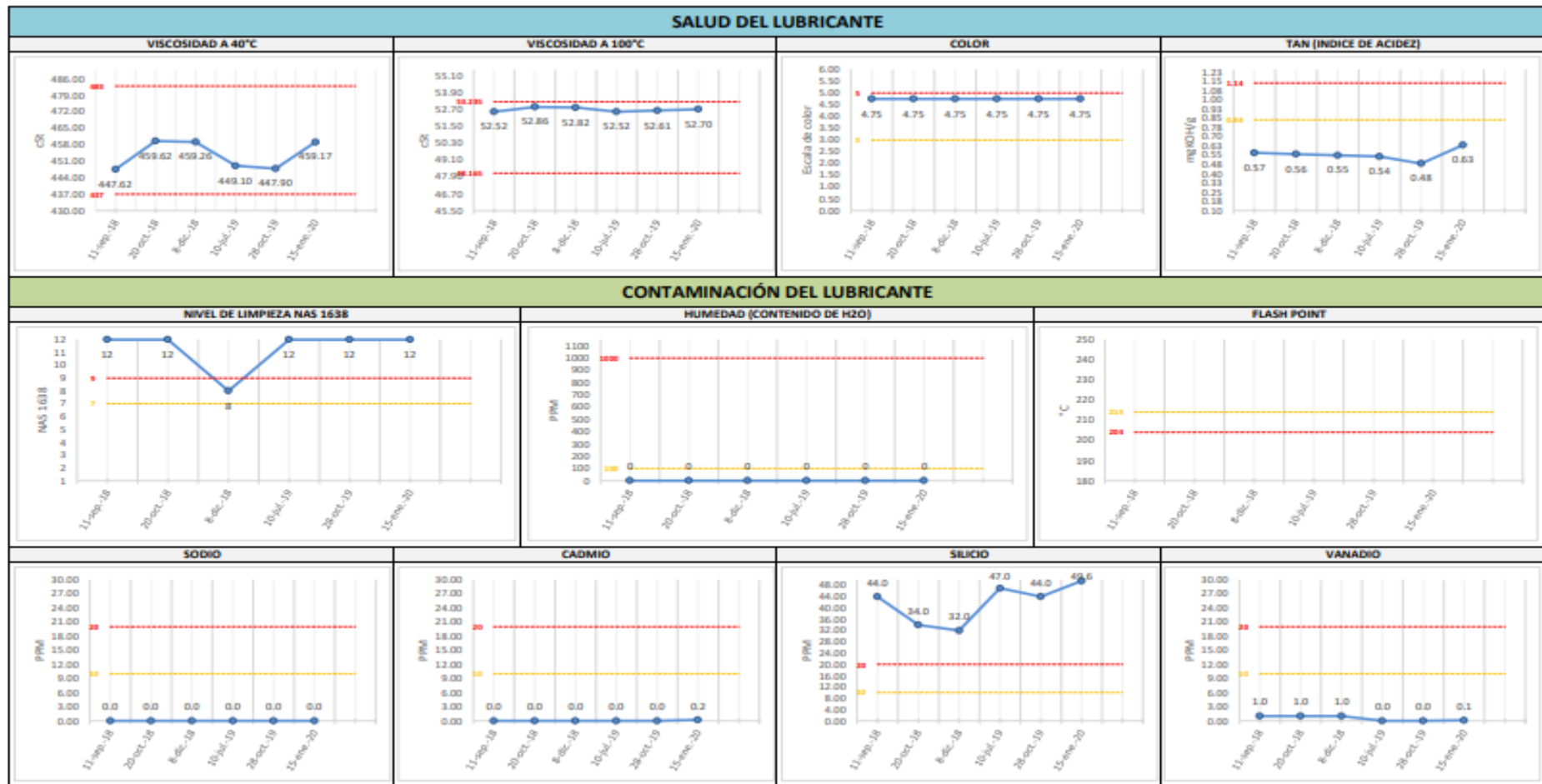


Figura 31. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG2.

Fuente: Contratista especializada en tribología.



Figura 32. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG2.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

COMENTARIOS DEL ANÁLISIS
1.- Los resultados evaluados se encuentran en valores permisibles para el lubricante en servicio, a excepción del nivel de limpieza. 2.- Los valores del aceite nuevo corresponden a los valores presentes en la ficha técnica. 3.- El nivel de T.A.N. se encuentra dentro de los parámetros permisibles. 4.- El nivel de limpieza del aceite se encuentra fuera de los parámetros permisibles (NAS 12). 5.- La concentración de silicio se encuentra fuera de los parámetros permisibles, lo cual acelera el desgaste abrasivo. 6.- Todos los demás parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles. 7.- Los valores de alerta y peligro son tomados del documento GEK 46506-E de la OEM General Electric, así como la normas ASTM correspondientes.
RECOMENDACIONES
1.- Continuar monitoreando el lubricante para evaluar cambios en las tendencias. 2.- Se requiere realizar acción correctiva (dializado para mejorar los niveles de limpieza). 3.- Sugerimos identifique y corrija las condiciones que pueden haber contribuido al estado de lubricante.

Figura 33. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG2.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

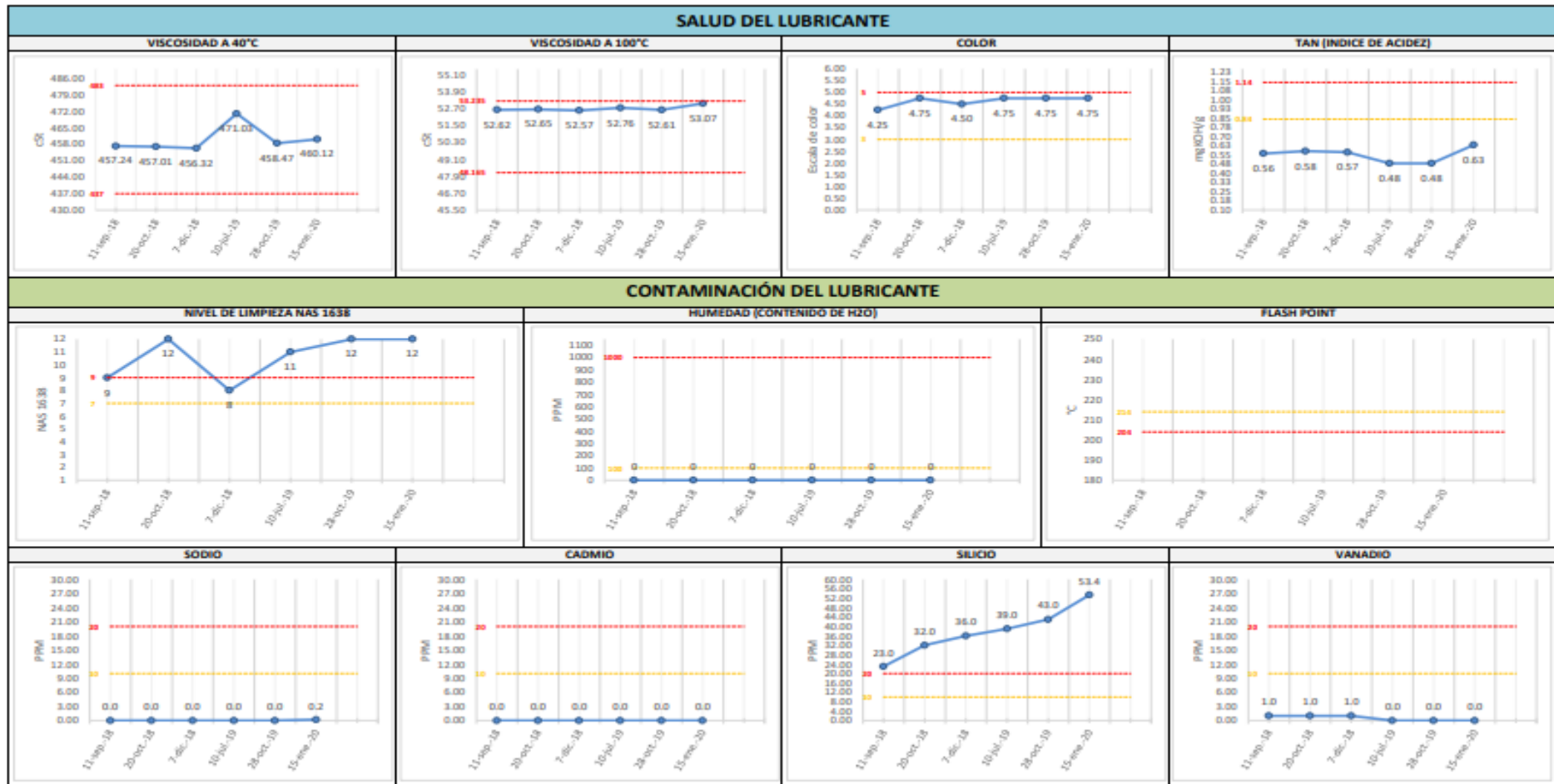


Figura 34. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG3.

Fuente: Contratista especializada en tribología.



Figura 35. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG3.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

COMENTARIOS DEL ANÁLISIS
1.- Los resultados evaluados se encuentran en valores permisibles para el lubricante en servicio, a excepción del nivel de limpieza. 2.- Los valores del aceite nuevo corresponden a los valores presentes en la ficha técnica. 3.- El nivel de T.A.N. se encuentra dentro de los parámetros permisibles. 4.- El nivel de limpieza del aceite se encuentra fuera de los parámetros permisibles (NAS 12). 5.- La concentración de sílice se encuentra fuera de los parámetros permisibles, lo cual acelera el desgaste abrasivo. 6.- Todos los demás parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles. 7.- Los valores de alerta y peligro son tomados del documento GEK 46506-E de la OEM General Electric, así como la normas ASTM correspondientes.
RECOMENDACIONES
1.- Continuar monitoreando el lubricante para evaluar cambios en las tendencias. 2.- Se requiere realizar acción correctiva (dializado para mejorar los niveles de limpieza). 3.- Sugerimos identificar y corregir las condiciones que pueden haber contribuido al estado de lubricante.

Figura 36. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG3.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

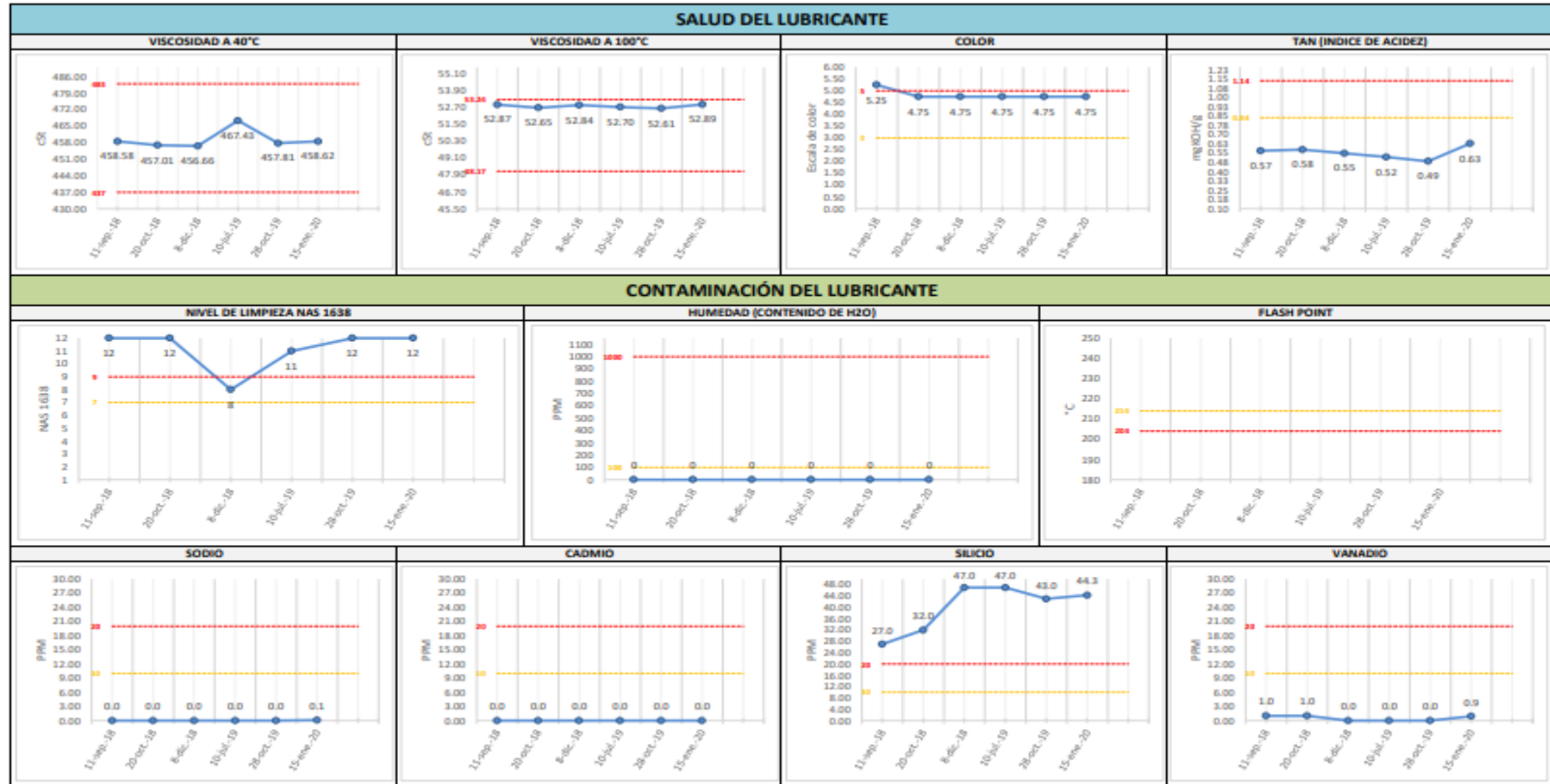


Figura 37. Tendencia de salud y contaminación lubricante utilizado en reductor de velocidad TG4.

Fuente: Contratista especializada en tribología.



Figura 38. Tendencia de cantidad partículas por desgaste metálico lubricante utilizado en reductor de velocidad TG4.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

COMENTARIOS DEL ANÁLISIS
1.- Los resultados evaluados se encuentran en valores permisibles para el lubricante en servicio, a excepción del nivel de limpieza. 2.- Los valores del aceite nuevo corresponden a los valores presentes en la ficha técnica. 3.- El nivel de T.A.N. se encuentra dentro de los parámetros permisibles. 4.- El nivel de limpieza del aceite se encuentra fuera de los parámetros permisibles (NAS 12). 5.- La concentración de silicio se encuentra fuera de los parámetros permisibles, lo cual acelera el desgaste abrasivo. 6.- Todos los demás parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles. 7.- Los valores de alerta y peligro son tomados del documento GEK 46506-E de la OEM General Electric, así como la normas ASTM correspondientes.
RECOMENDACIONES
1.- Continuar monitoreando el lubricante para evaluar cambios en las tendencias. 2.- Se requiere realizar acción correctiva (dializado para mejorar los niveles de limpieza). 3.- Sugerimos identifique y corrija las condiciones que pueden haber contribuido al estado de lubricante.

Figura 39. Comentarios y recomendaciones finales referentes al último muestreo y ensayo realizado al lubricante utilizado en reductor de velocidad TG4.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

4.4. Plan de mantenimiento.

4.4.1. Estrategia actualmente aplicada de mantenimiento.

Actualmente la gestión de mantenimiento que se tiene como planta se encuentra en constante mejora teniendo como base el ciclo PDCA o también llamado ciclo Deming.

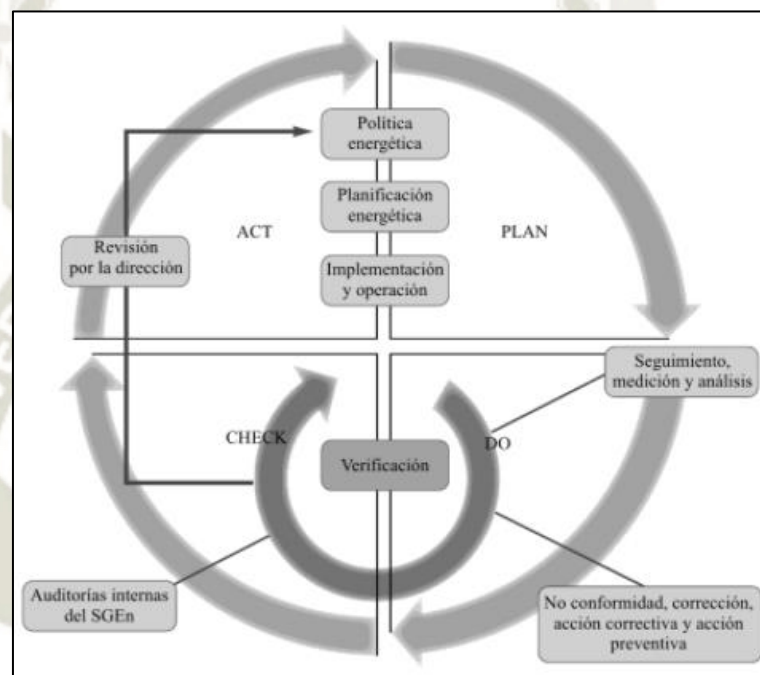


Figura 40. Ciclo PDCA.

Fuente: Sistemas de gestión de la energía ISO 50001.

Hoy en día la clave de muchos negocios es llegar a la excelencia operacional para ellos se debe buscar a nivel de todas las áreas la sinergia, mejora de procesos, estandarización de procedimientos, optimización de recursos, etc. Bajo este concepto es que desde el inicio comercial de la central el área de mantenimiento ha venido mejorando los junto con los planes de mantenimiento de todas las áreas, optimizando el uso de recursos tanto humanos, logísticos y presupuestales con proyección buscar la máxima disponibilidad y confiabilidad teniendo en cuenta el tipo de operación de planta; para mejorar se debe tener en cuenta los históricos,

oportunidades de mejora, comunicación continua con el personal propio de planta así como gerencia para buscar mejor procesos de manera que se genere valor agregado a la empresa y seguir mejorando como áreas.

Durante los últimos años se vino trabajando con la metodología TPM (mantenimiento productivo total) ya que la prioridad es el cumplimiento de indicadores de disponibilidad y confiabilidad propuestos enfocándonos en la correcta operación de equipos, evitar cualquier tipo de accidentes, defectos, consecuencias negativas de tipo social y medioambiental para lo cual se tiene el total compromiso y participación integral de todas las áreas de soporte a operaciones y mantenimiento (seguridad, salud y medio ambiente, relaciones comunitarias, administración, servicios generales, logística y contabilidad); adicional que las actividades de mantenimiento y conocimientos son compartidos y también ejecutadas por el personal de operaciones.

Con enfoque a los equipos en estudio se puede observar que las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y autónomo funcionaron bastante bien, pero es momento de dar un paso más respecto a las actividades de mantenimiento e implementar el mantenimiento proactivo con el objetivo de que las actividades de mantenimiento realizadas actualmente sean revisadas, actualizadas y monitoreadas constantemente aplicando para esto el ciclo Deming.

4.4.2. Indicadores actuales de mantenimiento

Los indicadores utilizados para medir la gestión deben ser enfocados en el rubro, tipo de operación y alineados a los objetivos estratégicos de la corporación.

Para el caso de estudio el enfoque fue realizado en mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los 04 reductores de velocidad por lo que la base de comparación será en función de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad del 2019.

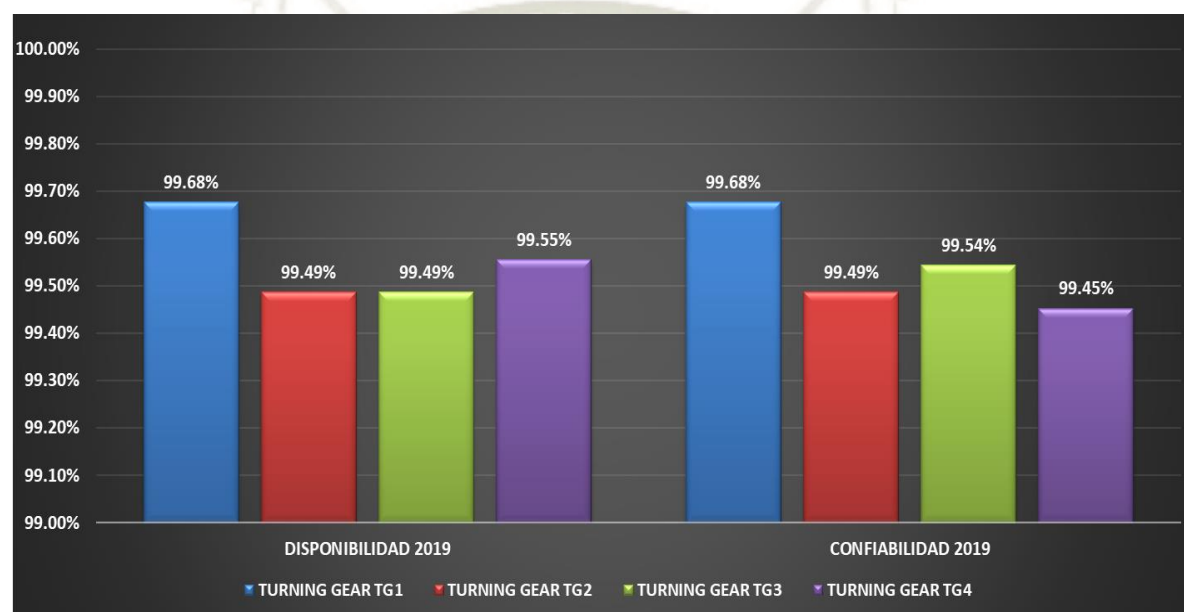


Figura 41. Gráfico indicadores de disponibilidad y confiabilidad 2019.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Mantenimiento recomendado por el fabricante.

La recomendación según fabricante para la lubricación indica que el aceite debe ser drenado y rellenado por aceite nuevo cada 06 meses en caso de servicio normal (08 horas de servicio por día) o cada 03 meses en caso de servicio severo (más de 16 horas de servicio por día), siendo este último el caso de la C. T. Puerto Bravo debido a modo de operación y condiciones propias de planta.

Como inspección simple se recomienda realizar cada 06 meses y considera que se deben realizar las siguientes actividades:

- 1.- Limpieza de superficie general para la eliminación de polvo que pueda estar depositado en la carcasa.
- 2.- En el motor de corriente alterna se debe comprobar que los valores nominales de tensión y corriente.
- 3.- Inspección visual al equipo reductor en general, así como las zonas cercanas para confirmar que no haya derrames de aceite por los tapones, juntas ni del mismo reductor.
- 4.- Inspección visual a uniones atornilladas para confirmar que no hay desgaste, oxidación o deformaciones posteriormente realizar apriete.
- 5.- Verificar estado de las juntas.
- 6.- Revisar que el nivel de aceite sea correcto.
- 7.- Verificar que la fijación del reductor de velocidad se mantenga estable.

Actividades a ser realizadas durante mantenimiento intermedio cada 16,000.00 horas o 30 meses de operación:

- 1.- Sustitución aceite antiguo.
- 2.- Apertura acople para limpieza y revisión de componentes internos.
- 3.- Rotación manual del árbol para comprobación de libre giro y correcto funcionamiento de cojinetes.
- 4.- Retiro tapa superior del reductor.
- 5.- Revisión estado del eje de alta y baja.
- 6.- Revisión dientes de engranajes.
- 7.- Cambio de rodamientos rodillos cónicos en caso de ser necesario.

- 8.- Sustitución de sellos y retenes en caso de ser necesario.
- 9.- Armado y alineamiento reductor.
- 10.- Revisión tuercas y tornillos.
- 11.- Revisión soporte base de reductor.
- 12.- Armado de reductor y acoplamiento de motor AC.

Actividades a ser realizadas durante mantenimiento mayor cada 32,000 horas o 05 años de operación:

- 1.- Sustitución aceite antiguo.
- 2.- Retiro acoplamiento y sustitución piezas que se encuentran desgastadas.
- 3.- Desacople motor AC del reductor.
- 4.- Retiro tapa superior del reductor.
- 5.- Cambio retenes de tapa.
- 6.- Sustitución engranajes de alta y baja en caso de ser necesario.
- 7.- Reacondicionamiento de ejes de alta y baja en caso de tener alguna desviación o deformación.
- 8.- Comprobación de ajuste engranaje acoplado al eje de baja.
- 9.- Revisión sellos de aceite y cambio de ser requerido.
- 10.- Revisión y cambio de rodamientos en caso de ser necesario.
- 11.- Cambio de juntas y sellos de ser necesarios.
- 12.- Revisión tuercas y tornillos.
- 13.- Revisión soporte base de reductor.
- 14.- Armado de reductor y acoplamiento de motor AC.

Posterior al mantenimiento se procede a realizar la limpieza externa y realizar pruebas de corriente y voltaje nominal al motor AC, medición de vibraciones, termografía y toma de temperatura.

4.4.4. Elaboración de mantenimiento proactivo centrado principalmente en análisis de aceite.

El plan de mantenimiento proactivo tiene como función mantener el equipo funcionando de la manera que fue inicialmente proyectada, buscando corregir las incidencias ya observadas y que se mantienen de manera constante y un funcionamiento óptimo del equipo de manera constante con el tiempo enfocándonos en las actividades actualmente realizadas para la lubricación.

Planteando a detalle las actividades de mantenimiento centradas principalmente en los análisis de aceite, así como para la inspección, lubricación y dializado, después de haber sido revisado paso por paso como se ejecutaba anteriormente la actividad para encontrar cual podría ser la causa raíz en función de los factores anteriormente mencionado para tener como base y evitar continuar con la contaminación del lubricante.

Plan de mantenimiento proactivo recomendado:

1.- Inspección y lubricación:

1.1.- Se debe realizar la actividad con el equipo fuera de servicio por lo que debe realizarse el respectivo permiso de trabajo (el cual debe incluir la orden de trabajo por parte de planeamiento y aprobada por el supervisor de operaciones y mantenimiento a través del software utilizado para gestión de mantenimiento), así como el formato de análisis de trabajo seguro para identificar todos los riesgos asociados, el equipo debe estar correctamente bloqueado, con tarjeta de

identificación del personal propio y contratista debidamente firmado y candado de bloqueo colocado por el operador – mantenedor de campo y previamente aprobador por el operador – mantenedor de sala de control.

1.2.- El personal propio de planta (01 mantenedor – operador mecánico) y personal contratistas (02 técnicos especializados de apoyo) deben contar con todos los EPP (casco, orejeras, lentes de seguridad, barbiquejo, guantes de cuero y zapatos dieléctricos) así como no utilizar prendas superiores de manga corta ni pulseras, collares o elementos que pudieran atraparse en el equipo; los guantes deben encontrarse limpios sin presencia de químicos o polvo que puedan contaminar al equipo y/o aceite.

1.3.- Personal involucrado se acerca al compartimento donde se encuentra ubicado el reductor de velocidad, se debe tener en cuenta las 06 vistas de verificación de seguridad en la zona de trabajo (arriba, abajo, a la derecha, a la izquierda, adelante y atrás) para tener en cuenta cualquier riesgo adicional que no se haya considerado anteriormente y verificar que no haya presencia de fugas de aceite, suciedad u otros.

1.4.- Se realiza limpieza con trapo de algodón de todo el equipo reductor y se coloca bandejas en caso de derrame.

1.5.- Se verifica nivel de aceite, de encontrarse por debajo del nivel debe realizarse el rellenado.

1.5.1.- Se debe utilizar balde de 05 galones y abrir venteo teniendo cuidado de cualquier tipo de contaminación.

1.5.2.- Se debe verificar la fecha de instalación y estado de los filtros de 6 y 12 micras del equipo dializado para evitar que estos tengan una antigüedad mayor a 01 año o que se encuentren saturados causando contaminación en la bomba de aceite y que pueda provocar desgaste en componentes internos.

1.5.3.- Se procede al llenado por medio del equipo de dializado teniendo en cuenta que el nivel de limpieza del aceite no siempre es el más óptimo y se recomienda un filtrado previo de manera preventiva, las mangueras que entran en contacto con el equipo y aceite deben limpiarse previamente.

1.5.4.- Una vez el nivel de aceite se encuentra en el nivel correcto se procede al correcto des conexionado de mangueras.

1.6.- Se realiza apertura de tapa superior para inspección visual de todas las juntas, sellos, engranajes y ejes, así como se debe realizar el giro manual para descartar que se encuentren trabados o con problemas de giro por parte de los rodamientos.

1.7.- Realizar inspección y ajuste de todas las uniones empernadas del motor, reductor y estructura.

1.8.- Se revisa el área que no haya quedado ningún goteo o derrame de aceite, así como herramientas u otros dejándola totalmente limpia para finalmente disponer correctamente los trapos utilizados y cualquier otro material peligroso.

1.9.- Se avisa al operador – mantenedor de campo, así como operador – mantenedor de sala de control para realizar retiro de candados, tarjetas de bloqueo y el respectivo cierre de permiso de trabajo con las firmas de los involucrados.

1.10.- Se cierra la puerta hermética del compartimento para evitar cualquier contaminación ambiental externa.

2.- Dializado de aceite:

2.1.- Se debe realizar la actividad con el equipo fuera de servicio por lo que debe realizarse el respectivo permiso de trabajo (el cual debe incluir la orden de trabajo por parte de planeamiento y aprobada por el supervisor de operaciones y mantenimiento a través del software utilizado para gestión de mantenimiento), así

como el formato de análisis de trabajo seguro para identificar todos los riesgos asociados, el equipo debe estar correctamente bloqueado, con tarjeta de identificación del personal propio y contratista debidamente firmado y candado de bloqueo colocado por el operador – mantenedor de campo y previamente aprobador por el operador – mantenedor de sala de control.

2.2.- El personal propio de planta (01 mantenedor – operador mecánico) y personal contratistas (02 técnicos especializados de apoyo) deben contar con todos los EPP (casco, orejeras, lentes de seguridad, barbiquejo, guantes de cuero y zapatos dieléctricos) así como no utilizar prendas superiores de manga corta ni pulseras, collares o elementos que pudieran atraparse en el equipo; los guantes deben encontrarse limpios sin presencia de químicos o polvo que puedan contaminar al equipo y/o aceite.

2.3.- Personal involucrado se acerca al compartimento donde se encuentra ubicado el reductor de velocidad, se debe tener en cuenta las 06 vistas de verificación de seguridad en la zona de trabajo (arriba, abajo, a la derecha, a la izquierda, adelante y atrás) para tener en cuenta cualquier riesgo adicional que no se haya considerado anteriormente y verificar que no haya presencia de fugas de aceite, suciedad u otros.

2.4.- Se realiza limpieza con trapo de algodón de todo el equipo reductor y se coloca bandejas en caso de derrame.

2.5.- Se realiza la limpieza de los conectores y accesorios (mangueras y acoples hidráulicos) para evitar cualquier contaminación externa y se procede a su instalación en el reductor por el punto de purga.

2.6.- Se debe verificar la fecha de instalación y estado de los filtros de 6 y 12 micras del equipo dializado para evitar que estos tengan una antigüedad mayor a 01 año o

que se encuentren saturados causando contaminación en la bomba de aceite y que pueda provocar desgaste en componentes internos.

2.7.- Se toma una medida inicial del nivel de contaminación con el contador de partículas propio del equipo de dializado el cual es indicado según la norma ISO 4406, de encontrarse por el límite permisible de NAS 7 se procede a realizar el dializado para filtración de partículas de suciedad.

2.8.- Se inicia el dializado por un tiempo no menor de 45 minutos hasta que el contador de partículas indique un nivel NAS 7 o menos tomando aproximadamente 90 minutos.

2.9.- Se procede a realizar el correcto des conexionado de acoples y mangueras hidráulicas cuidando provocar algún derrame de aceite.

2.10.- Se revisa el área que no haya quedado ningún goteo o derrame de aceite, así como herramientas u otros dejándola totalmente limpia para finalmente disponer correctamente la manguera y los trapos utilizados.

2.11.- Se avisa al operador – mantenedor de campo, así como operador – mantenedor de sala de control para realizar retiro de candados, tarjetas de bloqueo y el respectivo cierre de permiso de trabajo con las firmas de los involucrados.

2.12.- Se cierra la puerta hermética del compartimento para evitar cualquier contaminación ambiental externa.

3.- Muestreo de aceite:

3.1.- Se debe realizar la actividad con el equipo fuera de servicio por lo que debe realizarse el respectivo permiso de trabajo (el cual debe incluir la orden de trabajo por parte de planeamiento y aprobada por el supervisor de operaciones y mantenimiento a través del software utilizado para gestión de mantenimiento), así

como el formato de análisis de trabajo seguro para identificar todos los riesgos asociados, el equipo debe estar correctamente bloqueado, con tarjeta de identificación del personal propio y contratista debidamente firmado y candado de bloqueo colocado por el operador – mantenedor de campo y previamente aprobador por el operador – mantenedor de sala de control.

3.2.- El personal propio de planta (01 mantenedor – operador mecánico) y personal contratistas (01 técnico encargado del retiro de muestra) deben contar con todos los EPP (casco, orejeras, lentes de seguridad, barbiquejo, guantes quirúrgicos, guantes de nitrilo y zapatos dieléctricos) así como no utilizar prendas superiores de manga corta ni pulseras, collares o elementos que pudieran atraparse en el equipo; los guantes deben encontrarse limpios sin presencia de químicos o polvo que puedan contaminar al equipo y/o aceite.

3.3.- Personal involucrado se acerca al compartimento donde se encuentra ubicado el reductor de velocidad se debe tener en cuenta las 06 vistas de verificación de seguridad en la zona de trabajo (arriba, abajo, a la derecha, a la izquierda, adelante y atrás) para tener en cuenta cualquier riesgo adicional que no se haya considerado anteriormente y verificar que no haya presencia de fugas de aceite, suciedad u otros.

3.4.- Se realiza limpieza con trapo de algodón en las zonas aledañas del al punto del equipo donde se realizará la extracción, mangueras, bomba de extracción y se coloca bandejas en caso de derrame.

3.5.- Se abre el respiradero superior del reductor de velocidad se introduce manguera al punto medio del almacenamiento de aceite ya que el muestreo no debe realizarse por la zona de purga porque el material particulado se acentúa en la base del contenedor ni por la capa superior ya que en este punto el lubricante se encuentra

más limpio, por medio de un equipo de bombeo por aspiración comúnmente llamado “vampiro”.

3.6.- Se procede a realizar la extracción y la primera muestra será purgada por unos cuantos segundos, posteriormente una ligera cantidad se utilizará para enjuagar el envase (debe estar correctamente etiquetado) para limitar la distorsión de resultados debido a la contaminación ambiental y finalmente se llena totalmente el envase.

3.7.- Se retira cuidadosamente la manguera y se cierra el respirador.

3.8.- Se revisa el área que no haya quedado ningún goteo o derrame de aceite, así como herramientas u otros dejándola totalmente limpia para finalmente disponer correctamente la manguera y los trapos utilizados.

3.9.- Se avisa al operador – mantenedor de campo, así como operador – mantenedor de sala de control para realizar retiro de candados, tarjetas de bloqueo y el respectivo cierre de permiso de trabajo con las firmas de los involucrados.

3.10.- Se cierra la puerta hermética del compartimento para evitar cualquier contaminación ambiental externa.

Como observación general del plan de mantenimiento proactivo propuesto frente al plan mantenimiento preventivo – predictivo anterior, anteriormente no se consideraba algunos detalles que son muy importantes, que pueden representar un gran cambio y ser la causa raíz del problema de contaminación del lubricante, así como generar buenas prácticas a mantenerse como el dejar la puerta abierta del compartimento por largo tiempo afecto la limpieza del lubricante por contaminación medio ambiental siendo ahora una buena práctica que esta permanezca cerrada en todo momento salvo el lapso en que haya personal realizando alguna actividad dentro del compartimento, en caso de la puerta estar dañada y no poderse cerrar repórtalo inmediatamente para que sea reparada por personal de servicios generales e

implementar una solución temporal para evitar que la puerta se mantenga abierta y no haya ingreso de polvo y tierra al compartimento; se realiza un control más exhaustivo de la limpieza de EPP, herramientas, equipos y los formatos de inspección permitirán que todas las actividades a detalle se cumplan para poder conservar la vida útil del lubricante y la del activo en mención, de igual forma al conservar más limpio el lubricante el dializado ya no deberá realizarse cada 04 meses como inicialmente se realizaba sino será a condición únicamente cuando la limpieza del lubricante salga observada por medio de los ensayos.



[illegible]

Figura 42. Resumen plan de mantenimiento proactivo propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Formato de revisión para actividades de mantenimiento.

Los formatos elaborados tienen como objetivo una correcta ejecución de las actividades teniendo en cuenta que de no realizarse correctamente se podría continuar con la contaminación del lubricante y no se estaría afrontando la causa raíz detectada.

4.5.1. Formato de revisión durante mantenimiento autónomo

Detalle de equipo a ser intervenido					
ACTIVIDAD:	Mantenimiento autónomo				
EQUIPO:	Turning Gear				
KKS:	MBK01AU001				
UNIDAD o Área:					
Acéite utilizado:	Mobil SHC 634				

Datos de la actividad	1era Inspección	2da Inspección	3ra Inspección	4ta Inspección	5ta Inspección
Fecha y hora de inicio:					
Fecha y hora de finalización:					
Responsable de inspección:					

Checklist de actividades:	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Personal cuenta con todos lo EPP:					
Observación:					
EPP se encuentran libres de tierra o polvo:					
Observación:					
Verificación inicial de las 6 A's:					
Observación:					
Se colocaron bandejas de derrame:					
Observación:					
Se realizó inspección general del motor:					
Observación:					
Se realizó inspección general del reductor:					
Observación:					
Se realizó limpieza general de motor:					
Observación:					
Se realizó limpieza general de reductor:					
Observación:					
Se realizó medición de temperatura del motor:					
Observación:					
Se realizó medición de temperatura del reductor:					
Observación:					
Se verificó nivel de aceite					
Observación:					
Se realizó engrase del motor:					
Observación:					
Se realizó ajuste partes empuñadas reductor, motor y estructura:					
Observación:					
Verificación final de las 6 A's:					
Observación:					
Retiro de herramientas, equipos y consumibles:					
Observación:					
Se dejó cerrada puerta hermética de compartimento:					
Observación:					
Se realizó disposición de trapos y material peligroso:					
Observación:					
Equipo queda operativo:					
Observación:					

CIERRE DE ACTIVIDAD					
Observaciones					
Recomendaciones					
Conclusiones					

Nombre:	RESPONSABLE DEL TRABAJO:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Puesto de trabajo:			
Firma:			

Figura 43. Formato propuesto de revisión de actividades durante mantenimiento autónomo.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Formato de revisión durante muestreo de aceite para ensayos.

Detalle de equipo a ser intervenido					
ACTIVIDAD:	Muestreo de aceite				
EQUIPO:	Turning Gear				
KKS:	MBK01AU001				
UNIDAD o Área:					
Aceite utilizado:	Mobil SHC 634				

Datos de la actividad	1era Intervención	2da Intervención	3ra Intervención	4ta Intervención	5ta Intervención
Fecha y hora de inicio:					
Fecha y hora de finalización:					
N° Orden de Trabajo:					
N° Permiso de Trabajo:					
N° Tarjetas y candados de bloqueo:					
Responsable de trabajo:					
Personal de apoyo involucrado:					

Checklist de actividades:	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Personal cuenta con todos lo EPP:					
Observación:					
EPP se encuentran libres de tierra o polvo:					
Observación:					
Verificación inicial de las 6 A's:					
Observación:					
Se realizó limpieza de reductor y punto de extracción (respirador):					
Observación:					
Se colocaron bandejas de derrame:					
Observación:					
Se realizó limpieza de manguera y bomba de extracción:					
Observación:					
Se purgó primera muestra:					
Observación:					
Se realiza enjuague del envase con aceite del reductor:					
Observación:					
Se realizó extracción hasta llenar envase:					
Observación:					
Se retiró correctamente manguera de extracción:					
Observación:					
Se colocó el respirador del reductor:					
Observación:					
Verificación final de las 6 A's:					
Observación:					
Retiro de herramientas, equipos y consumibles:					
Observación:					
Se dejó cerrada puerta hermética de compartimento:					
Observación:					
Se realizó disposición de trapos y material peligroso:					
Observación:					
Equipo queda operativo:					
Observación:					

CIERRE DE ACTIVIDAD					
Observaciones					
Recomendaciones					
Conclusiones					

	RESPONSABLE DEL TRABAJO:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombre:			
Puesto de trabajo:			
Firma:			

Figura 44. Formato propuesto de revisión de actividades durante muestreo de aceite.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3. Formato de revisión durante dializado de aceite.

Detalle de equipo a ser intervenido					
ACTIVIDAD:	Dializado de aceite				
EQUIPO:	Turning Gear				
KKS:	MBK01AU001				
UNIDAD o Área:					
Aceite utilizado:	Mobil SHC 634				

Datos de la actividad	1era Intervención	2da Intervención	3ra Intervención	4ta Intervención	5ta Intervención
Fecha y hora de inicio:					
Fecha y hora de finalización:					
N° Orden de Trabajo:					
N° Permiso de Trabajo:					
N° Tarjetas y candados de bloqueo:					
Responsable de trabajo:					
Personal de apoyo involucrado:					

Checklist de actividades:	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Personal cuenta con todos lo EPP:					
Observación:					
EPP se encuentran libres de tierra o polvo:					
Observación:					
Verificación inicial de las 6 A's:					
Observación:					
Se realizó limpieza de reductor:					
Observación:					
Se colocaron bandejas anti derrame:					
Observación:					
Se realizó limpieza de mangueras y conectores:					
Observación:					
Se realizó limpieza de puntos de conexión:					
Observación:					
Estado filtros equipo de dializado:					
Observación:					
Ultima fecha de cambio de filtro equipo dializado:					
Observación:					
Nivel inicial de NAS:					
Observación:					
Hora de inicio dializado:					
Observación:					
Nivel final de NAS:					
Observación:					
Hora final de dializado:					
Observación:					
Se realizó correcto desconexión de mangueras y acoples:					
Observación:					
Verificación final de las 6 A's:					
Observación:					
Retiro de herramientas, equipos y consumibles:					
Observación:					
Se dejó cerrada puerta hermética de compartimento:					
Observación:					
Se realizó disposición de trapos y material peligroso:					
Observación:					
Equipo queda operativo:					
Observación:					

CIERRE DE ACTIVIDAD					
Observaciones					
Recomendaciones					
Conclusiones					

	RESPONSABLE DEL TRABAJO:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombre:			
Puesto de trabajo:			
Firma:			

Figura 45. Formato propuesto de revisión de actividades durante dializado de aceite.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4. Formato de revisión durante inspección general del reductor.

Detalle de equipo a ser intervenido					
ACTIVIDAD:	Inspección y/o lubricación				
EQUIPO:	Turning Gear				
KKS:	MBK01AU001				
UNIDAD o Área:					
Aceite utilizado:	Mobil SHC 634				

Datos de la actividad	1era Intervención	2da Intervención	3ra Intervención	4ta Intervención	5ta Intervención
Fecha y hora de Inicio:					
Fecha y hora de finalización:					
N° Orden de Trabajo:					
N° Permiso de Trabajo:					
N° Tarjetas y candados de bloqueo:					
Responsable de trabajo:					
Personal de apoyo involucrado:					

Checklist de actividades:	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Personal cuenta con todos lo EPP:					
Observación:					
EPP se encuentran libres de tierra o polvo:					
Observación:					
Verificación inicial de las 6 A's:					
Observación:					
Se realizó limpieza de reductor:					
Observación:					
Se colocaron bandejas anti derrame:					
Observación:					
Se verificó nivel de aceite:					
Observación:					
De requerir rellenado de aceite:					
El balde o cilindro son nuevos:					
Observación:					
Se limpió externamente el balde o cilindro:					
Observación:					
Se realizó limpieza de mangueras y conectores:					
Observación:					
Se realizó limpieza de puntos de conexión:					
Observación:					
Estado filtros equipo de dializado:					
Observación:					
Ultima fecha de cambio de filtro equipo dializado:					
Observación:					
Hora de inicio rellenado de aceite:					
Observación:					
Hora final de rellenado de aceite:					
Observación:					
El nivel de aceite está en el valor máximo permisible:					
Observación:					
Se realizó correcto desconexión de mangueras y acoples:					
Observación:					
Se abrió correctamente la tapa superior del reductor:					
Observación:					
Juntas, sellos, engranajes y ejes se encuentran en buen estado:					
Observación:					
Giro manual de ejes de alta y baja se realizó sin problemas:					
Observación:					
Se cerró y ajustó correctamente la tapa superior:					
Observación:					
Uniones empennadas se encuentran en buen estado:					
Observación:					
Se realizó correcto ajuste de uniones empennadas:					
Observación:					
Verificación final de las 6 A's:					
Observación:					
Retiro de herramientas, equipos y consumibles:					
Observación:					
Se dejó cerrada puerta hermética de compartimento:					
Observación:					
Se realizó disposición de trapos y material peligroso:					
Observación:					
Equipo queda operativo:					
Observación:					

CIERRE DE ACTIVIDAD					
Observaciones					
Recomendaciones					
Conclusiones					

Nombre:	RESPONSABLE DEL TRABAJO:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Puesto de trabajo:			
Firma:			

Figura 46. Formato propuesto de revisión de actividades durante inspección y lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Revisión de costos asociados al equipo en investigación.

Se realizó la comparación entre los costos para el cambio de aceite de los reductores de velocidad de manera trimestral para las 04 unidades de generación y el costo del muestreo basado en la condición para monitorear el estado del aceite.

Para los cálculos mencionados anteriormente todos los costos se consideraron sin IGV (impuesto general a la venta) y el tipo de cambio considerado es de S/. 3.388 por US\$ al 31 de enero 2020.

POS	DESCRIPCION	PRESUPUESTO			
		UM	CANT	P.U	TOTAL US \$
1.0	LUBE OIL SYSTEM	GLB	8.00	1,250.00	10,000.00
1.1	Fluico - Químico (ASTM D 4378-3)	GLB	8.00		
1.2	AIR RELEASE (ASTM D3427)	GLB	8.00		
1.3	Foaming Characteristics (ASTM D892)	GLB	8.00		
1.4	KVI (ASTM 7843)	GLB	8.00		
1.5	Pour point (ASTM D97)	GLB	8.00		
1.6	RPVOT (ASTM D 2272)	GLB	8.00		
2.0	TURNING GEAR	GLB	16.00	44.00	704.00
2.1	Viscosidad a 40°C/100°C (ASTM D 7279)	GLB	16.00		
2.2	FT-IR (ASTM E 2412)	GLB	16.00		
2.3	Número Total de ácido (TAN), mg KOH/g (ASTM D664)	GLB	16.00		
2.4	Humedad (Valores mayores a 100ppm) (ASTM E 2412)	GLB	16.00		
2.5	Oxidación (ASTM " 2412)	GLB	16.00		
2.6	Códigos de Limpieza (ISO 4406)	GLB	16.00		
2.7	Color (ASTM D1500)	GLB	16.00		
2.8	Espectrometría de metales (21 metales) (ASTM D 6595)	GLB	16.00		
3.0	MOTOR DIESEL BSDG - MOTOR DIESEL EDG	GLB	8.00	48.00	384.00
3.1	Número base total (TBN), mg KOH/g (ASTM D 4739)	GLB	8.00		
3.2	Oxidación, abs/cm (ASTM D 2412)	GLB	8.00		
3.3	Nitración, abs/cm (ASTM D 2412)	GLB	8.00		
3.4	Viscosidad a 100°C (ASTM D 445)	GLB	8.00		
3.5	Dilución de combustible, porcentaje en masa de combustible en aceite (ASTM D 7599)	GLB	8.00		
3.6	Porcentaje de hollín, porcentaje de masa de hollín en aceite. (ASTM E 1131)	GLB	8.00		
3.7	Espectrometría de metales (Na, K, Si, Al, Fe, Pb, Cu, Sn, Cr), (ASTM D 5185)	GLB	8.00		
	TOTAL PRESUPUESTO				11,088.00

Figura 117. Resumen valorización anual por servicio de muestreo y ensayo de aceite.

Fuente: Contratista especializada en tribología.

GASTOS PROPUESTOS SIGUIENDO MANUAL DEL FABRICANTE				
DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad.	Costo (sin IGV.)	Total (sin IGV.)
Galon aceite MOBIL SHC 634	1	gal	\$ 57.27	\$ 57.27
Costo de aceite MOBIL SHC 634 utilizado por reductor de velocidad para cambio trimestral	9.8	gal	\$ 57.27	\$ 561.25
Costo de aceite MOBIL SHC 634 utilizado por reductor de velocidad para cambio anual.	4	un	\$ 561.25	\$ 2,244.98
Costo total cambio anual de aceite en reductores de velocidad para todas las unidades de generación.	4	un	\$ 2,244.98	\$ 8,979.94

Figura 128. Cuadro resumen de gastos en cambio de aceite según manual de fabricante.

Fuente: Elaboración propia.

GASTOS REALES MONITOREO DE ACEITE REDUCTORES DE VELOCIDAD				
DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad.	Costo (sin IGV.)	Total (sin IGV.)
Costo retiro de muestra, ensayo y análisis de aceite de manera trimestral	1	un	\$ 44.00	\$ 44.00
Costo retiro de muestra, ensayo y análisis de aceite de manera anual	4	un	\$ 44.00	\$ 176.00
Costo total retiro de muestra, ensayo y análisis de aceite de manera anual para todas las unidades de generación.	4	un	\$ 176.00	\$ 704.00

Figura 139. Cuadro resumen de gastos en monitoreo de aceite.

Fuente: Elaboración propia.

COMPARACIÓN DE GASTOS PROPUESTOS VS. GASTOS REALES	
DESCRIPCIÓN	Total (sin IGV.)
GASTO SEGÚN MANUAL DEL FABRICANTE: Cambio anual de aceite para todas las unidades de generación.	\$ 8,979.94
GASTO ACTUAL APLICANDO MONITOREO POR CONDICIÓN: Retiro de muestra, ensayo y análisis de aceite de manera anual para todas las unidades de generación.	\$ 704.00
AHORRO ANUAL POR CAMBIO DE ACEITE A CONDICIÓN	\$ 8,275.94

Figura 50. Comparación de gastos propuestos y gastos reales en lubricante.

Fuente: Elaboración propia.

Realizando la comparación de realizar el cambio de aceite de manera trimestral según recomendación del proveedor por un total de \$ **8,979.94** frente al cambio del mismo a condición teniendo como base el ensayo del mismo por un monto de \$ **704.00**, representa un ahorro anual de \$ **8,275.94** para los cálculos no se está considerando la actividad de dializado en los reductores debido a que el único costo cuantificable son las 03 horas hombres ejecutadas por personal contratista de apoyo y cada 03 meses siendo un total de 12 horas hombre al año lo cual no representa costo relevante al área de mantenimiento.

4.7. Comparación indicadores de mantenimiento 2019 y 2020.

Para la comparación de indicadores de confiabilidad y disponibilidad se realizó a partir de las horas promedio de operación anual de los equipos reductores de velocidad durante los años de operación de los equipos reductores de velocidad que no son constantes ya que depende que otros equipos auxiliares como bombas de lubricación de aceite de sello, bombas de lubricación de aceite de lubricación e hidráulicos funcionen correctamente de lo contrario los reductores de velocidad tienen que operar por tiempo constante para evitar cualquier daño al eje de la turbina.

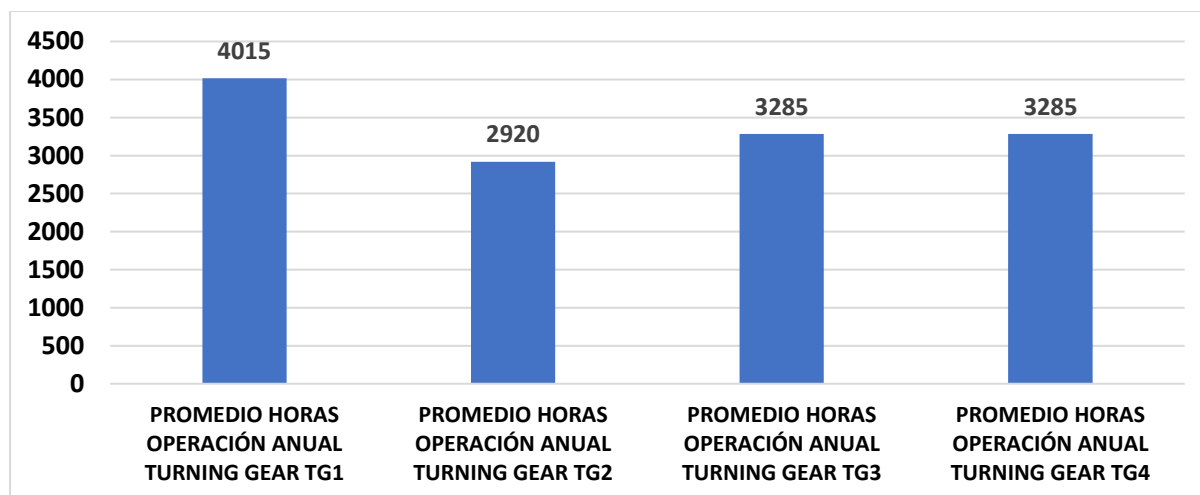


Figura 51. Promedio anual horas de operación reductores de velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

En función del registro histórico de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo se elaboraron los indicadores de disponibilidad (el cual depende únicamente de las actividades programadas) y confiabilidad (el cual depende tanto de las actividades programadas como las actividades no programadas que indisponen al equipo).

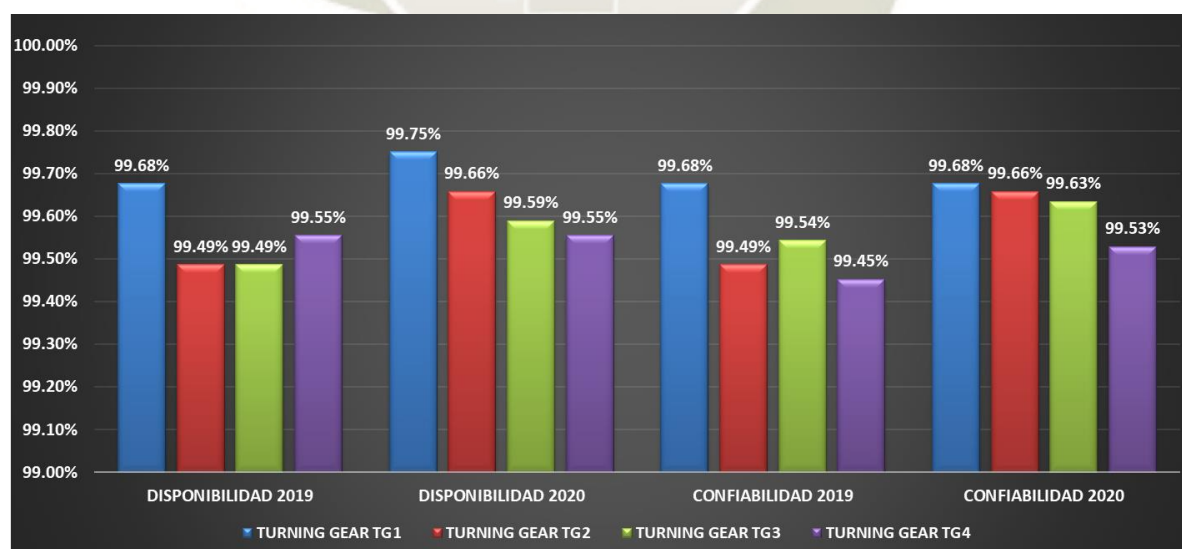


Figura 52. Comparación indicadores de disponibilidad y confiabilidad años 2019 y 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Para tener un indicador global se realizó un promedio de la disponibilidad y confiabilidad del 2019 y 2020 de los 04 reductores de velocidad para evidenciar como es que mejoró el indicador a partir de la implementación del mantenimiento proactivo en el cual se tiene claro las actividades de mantenimiento a ser realizadas así como la seguridad, orden y limpieza; adicional para mejorar los tiempos en ejecución de actividades de mantenimiento se utiliza un sistema computarizado de gestión de mantenimiento el cual permite controlar de manera más detallada y llevar controles para la confirmación de la finalización de cada actividad así como una comunicación efectiva con el área de operaciones.

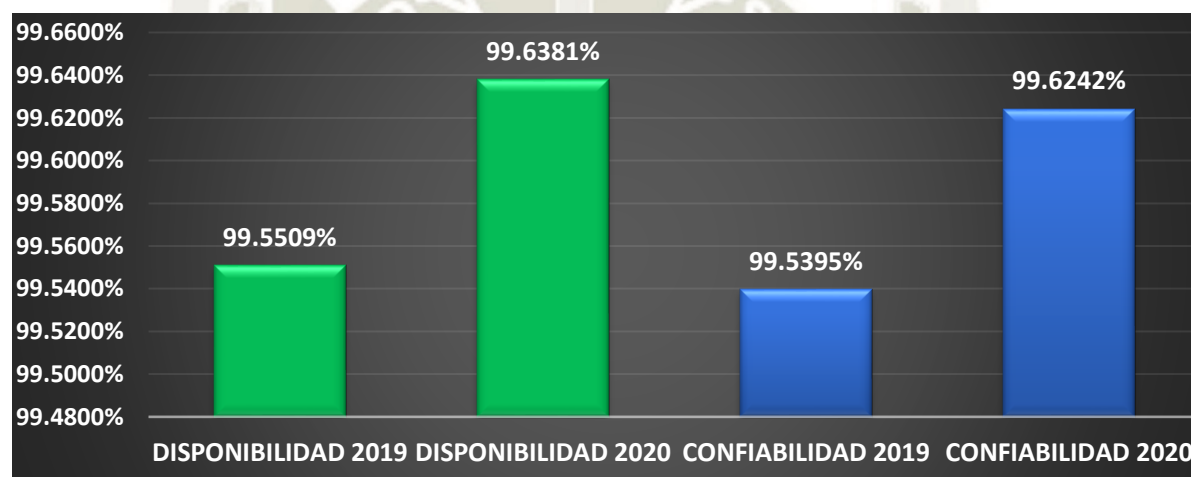


Figura 53. Resumen indicadores de disponibilidad y confiabilidad años 2019 y 2020.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Presentación de resultados.

- Se mejoró la disponibilidad de 99.5509% a 99.6381% y confiabilidad de 99.5395% a 99.6242% de los 04 reductores de velocidad del 2020 respecto al 2019, al revisar y reformular actividades preventivas y predictivas que se realizaban de manera rutinaria logrando que estos trabajos sean optimizados en base al mantenimiento proactivo.
- Se logró detectar que la causa raíz de la contaminación se debía al factor de contaminación medioambiental provocado por algunas actividades mínimas que no se tomaban en cuenta como mantener puertas herméticas después de la ejecución de trabajos y de igual forma para evitar una posible contaminación por factor humano se reforzó el cuidado en cualquier actividad relacionada a lubricación en base a formatos de verificación durante dichas actividades, así como el caso de rutinas operativas.
- El ahorro anual de \$ 8,275.94 sin IGV. puede ser aún mayor ya que la vida del lubricante puede ampliarse aún más según recomendaciones de la contratista especializada indicando que mientras la salud del lubricante se encuentre dentro de los parámetros permisibles y la contaminación del lubricante no sea debido a metales por daño de algún componente el cambio puede ser a condición.
- La elaboración de una matriz de criticidad enfocándose a equipos rotativos que participan en el arranque y operación de turbina permitirán una mejor toma de decisiones para actividades como mantenimiento programados, compra de repuestos o componentes, así como el reemplazo del activo, etc.

5.2. Discusión e interpretación de resultados.

- El mejorar la disponibilidad y confiabilidad de un equipo o sistema aumenta la disponibilidad y confiabilidad como unidad de generación, ya que cualquier falla en un equipo principal de la operación y que no cuenta con respaldo puede provocar no iniciar con el arranque cuando sea necesario.
- La matriz de criticidad de equipos es una parte muy importante de la gestión de mantenimiento ya que permite tener una visión global de que equipos deben tener mayor prioridad y su confiabilidad debe ser mayor frente a equipos operación puede ser hasta fallar, así mismo es una herramienta que soporta la gestión de activos.
- Se debe realizar cambio de aceite total cuando la salud del lubricante se encuentra en rangos de alerta en los parámetros de viscosidad, oxidación, color o TAN, en el caso de estudio se observó que a lo largo de los años la salud se mantuvo constantes pero la observación se encontraba en la contaminación por lo que el cambio de aceite puede ser ampliado a condición hasta que la salud del mismo sea observada por lo que se tendrán ahorros aún mayores.
- La utilización de formatos de verificación para las diferentes actividades de mantenimiento mejorará la gestión, seguimiento y control de los principales activos principales donde se implementen posteriormente.

5.3. Aportes y aplicaciones.

- El haber realizado el dializado durante los 04 años del equipo en funcionamiento ampliará la vida útil hasta 03 veces.
- El mantenimiento proactivo planteado ayudó a identificar tareas que se realizaban de manera rutinaria y que al revisar a detalle cada una se identificó muchos factores que podían dar lugar a la contaminación del lubricante, creando una línea base a ser

implementada en todas las actividades de mantenimiento relacionadas a la lubricación en los equipos principales y auxiliares de planta mejorando la gestión integral de lubricación.

- El monitoreo de condición demostró ser una importante herramienta en la gestión de mantenimiento por lo que será aplicada a otros activos importantes de la operación con el objetivo de que las periodicidades de mantenimiento sean ampliadas y las horas hombre sean aprovechadas en otras actividades de mayor complejidad.

Tabla 12. Tabla de extensión de vida en la maquinaria.

Nivel de Limpieza Nuevo - Proactivo (Código ISO)																								
		*/20/17		*/19/16		*/18/15		*/17/14		*/16/13		*/15/12		*/14/11		*/13/10		*/12/9		*/11/8		*/10/7		
Nivel de Limpieza Actual (Código ISO)	*/26/23	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	6	>10	7.5	>10	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	
		4	2.5	4.5	3	6	3.5	6.5	4	7.5	5	8.5	6.5	10	7	>10	9	>10	10	>10	>10	>10	>10	
	*/25/22	4	2.5	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	6	>10	7	>10	9	>10	>10	>10	>10	>10	>10	
		3	2	3.5	2.5	4.5	3	5	3.5	6.5	4	8	5	9	6	10	7.5	>10	9	>10	>10	>10	>10	
	*/24/21	3	2	4	2.5	6	3	7	4	9	5	>10	6	>10	7	>10	8	>10	10	>10	>10	>10	>10	
		2.5	1.5	3	2	4	2.5	5	3	6.5	4	7.5	5	8.5	6	9.5	7	>10	8	>10	10	>10	>10	
	*/23/20	2	1.5	3	2	4	2.5	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	6	>10	8	>10	9	>10	>10	
		1.7	1.3	2.3	1.5	3	2	3.7	2.5	5	3	6	3.5	7	4	8	5	10	6.5	>10	8.5	>10	10	
	*/22/19	1.6	1.3	2	1.6	3	2	4	2.5	5	3	7	3.5	8	4	>10	5	>10	6	>10	7	>10	>10	
		1.4	1.1	1.8	1.3	2.3	1.7	3	2	3.5	2.5	4.5	3	5.5	3.5	7	4	8	5	10	5.5	>10	8.5	
	*/21/18	1.3	1.2	1.5	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	3.5	9	4	>10	5	>10	7	>10	10	
		1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.4	2.2	1.6	3	2	3.5	2.5	4.5	3	5	3.5	7	4	9	5.5	10	8	
	*/20/17			1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	4	9	5	>10	7	>10	9	
				1.2	1.05	1.5	1.3	1.8	1.4	2.3	1.7	3	2	3.5	2.5	5	3	6	4	8	5.5	10	7	
	*/19/16					1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	4	9	6	>10	8	
						1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.2	1.7	3	2	3.5	2.5	5	3.5	7	4.5	9	6	
	*/18/15							1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	5	3	7	4.5	>10	6	
								1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.3	1.7	3	2	3.5	2.5	5.5	3.7	8	5	
	*/17/14									1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	2.5	6	3	8	5	
										1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.3	1.7	3	2	4	2.5	6	3.5	
*/16/13											1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2	4	3.5	6	4		
											1.2	1.1	1.5	1.3	1.8	1.5	2.3	1.8	3.7	3	4.5	3.5		
*/15/12															1.3	1.2	1.6	1.5	2	1.7	3	2		
															1.2	1.1	1.5	1.4	1.8	1.5	2.3	1.8		
*/14/11																	1.3	1.3	1.6	1.6	2	1.8		
																	1.3	1.2	1.6	1.4	1.9	1.5		
*/13/10																			1.4	1.2	1.8	1.5		
																			1.2	1.1	1.6	1.3		

Fuente: NORIA LATÍN AMÉRICA.

CONCLUSIONES

- Tras la aplicación del mantenimiento proactivo se mejoraron los indicadores de disponibilidad de 99.5509% a 99.6381% y confiabilidad de 99.5395% a 99.6242% comparando los indicadores del 2020 respecto al 2019 teniendo en cuenta que se reevaluaron todas las actividades realizadas como mantenimiento preventivo y predictivo por el mantenimiento proactivo para detectar la causa raíz de los parámetros elevados lo cual nos llevó a mejorar todos los procedimientos que tienen de por medio actividades de lubricación reduciendo actividades de mantenimiento programado y las actividades correctivas reportadas por operaciones.
- Posterior al análisis de criticidad de los principales equipos rotativos que participan en el arranque de las unidades de generación, se detectó que los reductores de velocidad son los equipos más críticos.
- Luego de aplicar un correcto análisis causa raíz se pudo determinar que el modo de falla que puede causar la indisponibilidad de los reductores de velocidad, al no encontrarse correctamente controlado, es la contaminación de lubricante y siendo las causas físicas, humanas, ambientales y latentes.
- Tras haber detectado el modo de falla no controlado que puede causar la indisponibilidad de los reductores de velocidad se logró elaborar un plan de mantenimiento proactivo que permitió revisar a detalle las diferentes tareas dentro del plan de mantenimiento preventivo - predictivo centrándonos principalmente en el análisis de aceite y programar sus respectivas actividades en las fechas con mayor personal para evitar algún incidente o accidente.
- Luego de haber aplicado la técnica predictiva de análisis de aceite y un seguimiento constante se pudo demostrar un ahorro anual total de \$ 8,275.94, el cual podría ser aún

mayor debido a los resultados del análisis de aceite que indican que la periodicidad de cambio puede ampliarse aún más hasta que la salud del lubricante empiece a ser observada.

RECOMENDACIONES

- Debido a que la causa raíz de la contaminación fue medio ambiental y las partículas de silicio aún se encuentran asentadas en el reductor se recomienda realizar un drenaje total del aceite, limpieza integral del contenedor de aceite y rellenado con aceite nuevo, así como mantener las buenas prácticas de mantener el compartimento cerrado herméticamente y las actividades de mantenimiento ser realizadas según los nuevos procedimientos detallados.
- Evaluar en conjunto con las áreas de supervisión y mantenimiento la aplicación del plan de mantenimiento proactivo y de continuar brindando resultados favorables proponer la aplicación en los siguientes equipos y/o sistemas más críticos.
- Se recomienda realizar cada 12 o 18 meses un nuevo análisis de criticidad de equipos que permita tener una base de datos clara y útil para la toma de decisiones respecto a mantenimiento propio, externo, así como sus repuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- General Electric Company. (2015) Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations report GER-3620M. Atlanta, Georgia.
- Mario León. (1997). DPT Diccionario Poliglota del Tren, Primera Edición. España: Ediciones Luna.
- José Luis Villabrille – Santiago Sabugal. (2017). Montaje y puesta en marcha de centrales térmicas y ciclos combinados, Primera Edición. España: Editorial Diaz de Santos.
- Ramón Mujal Rosas. (2003). Tecnología eléctrica, Primera Edición. España: Editorial Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- Francisco Javier Gonzáles Fernández. (2010). Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión, Segunda Edición. España: Editorial FC. Fundación Confemetal.
- Francisco Javier Gonzáles Fernández. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, Segunda Edición. España: Editorial FC. Fundación Confemetal.
- Santiago Garcia Garrido. (2013). Organización y gestión integral de mantenimiento: manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial, Primera Edición. España: Editorial Diaz de Santos.
- Felix Cesareo Gomez de Leon. (1998). Tecnología del mantenimiento industrial, Primera Edición. España: Editorial Universidad de Murcia.
- Alberto Mora Gutierrez. (2009). Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control, Primera Edición. México: Editorial Alfaomega Grupo Editor.
- Curso Virtual: Planificación y Programación del Mantenimiento, TECSUP – PERÚ.

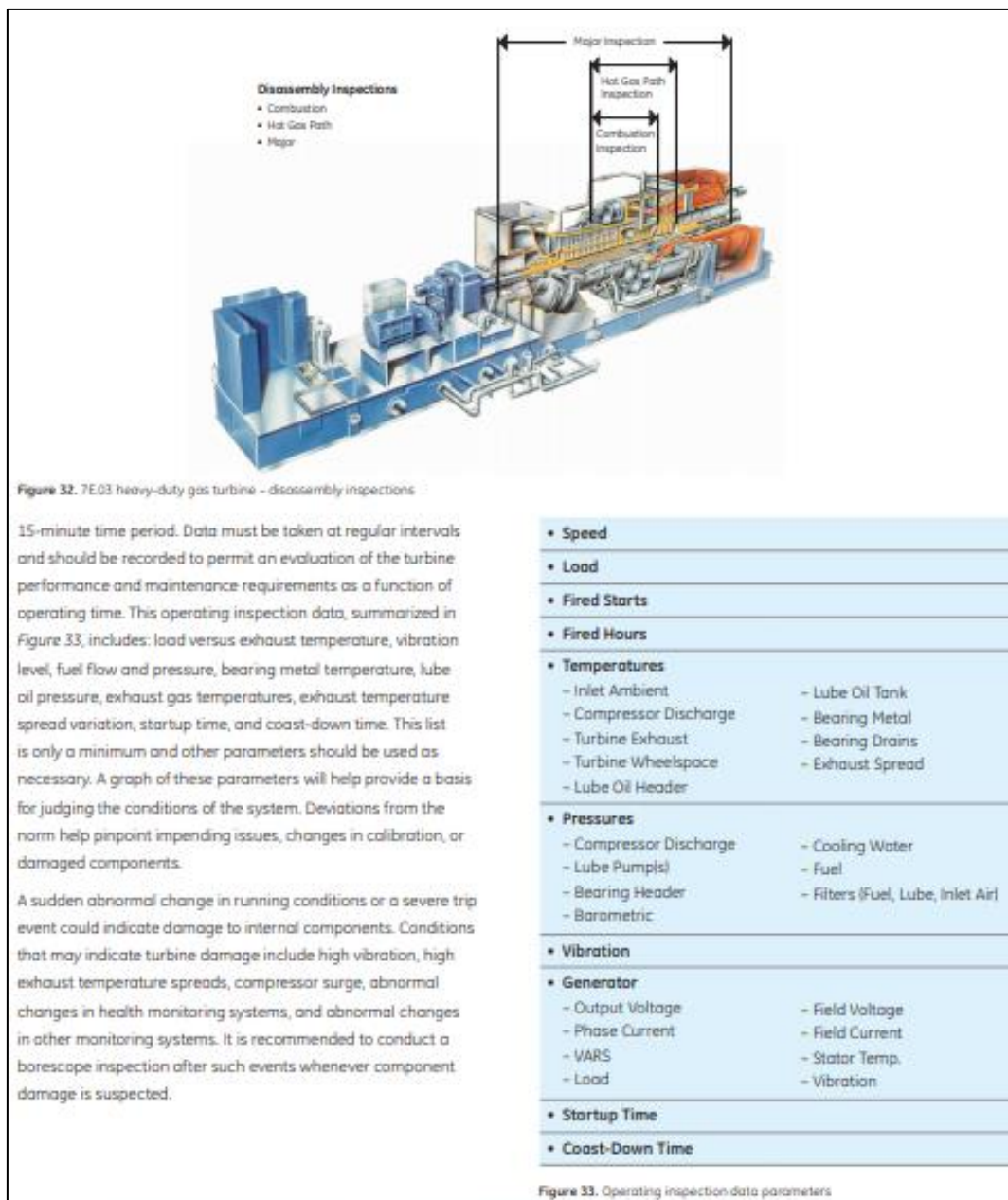
- Alton Edward, Bailey. (2019). Aceites y Grasas Industriales, Primera Edición. España: Editorial Reverte.
- Santiago Sanz. (2011). El sistema de lubricación (Motores), Primera Edición. España: Editorial Editex.
- Rodríguez Moguel, Ernesto. (2005). Metodología de la Investigación, Primera Edición. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Mohammad Naghi, Namakforoosh. (2000). Metodología de la Investigación, Segunda Edición. México: Editorial Limusa.
- Tena Suck, Edgar Antonio y Bernardo Turnbull Plaza. (1997). Manual de investigación experimental: Elaboración de tesis, Primera Edición. México: Editorial: Plaza y Valdés.
- Alfonso Aranda Usón, Francisco Barrio Moreno, María Pilar García León y Eduardo Alcalde Germán. (2014). Sistemas de gestión de la energía ISO 50001 (Serie Energías renovables), Primera Edición. España: Pressas de la Universidad de Zaragoza.



ANEXOS

ANEXO N° 01

Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations GER-3620M.



ANEXO N° 02

Creating an Effective Generator Maintenance Program - GEK 103566.

GEK 103566 – Creating an Effective Generator Maintenance Program

Revision L Updates – Inspection & Maintenance Intervals

Rev K

Model	3 rd Year Inspection (Major Scope)	Maintenance Intervals	
		Minor	Major
Type of Hours/Starts	Actual	Factored	Actual
H55 (17142), H55 (17143), H62, H63, A35 (H64), A35 (H65), H63, A35 (H66), H63, A35 (H67), A35 (H68)	8,000 Turbine Hours; 250 Starts; 4,000 Turning Gear Hours	24,000 to 32,000 Turbine Hours; 900 to 1,250 Starts; 30,000 to 32,000 Turning Gear Hours	48,000 to 64,000 Turbine Hours; 1,800 to 2,400 Starts; 60,000 to 64,000 Turning Gear Hours
Liquid Cooled	Does not apply	24,000 to 32,000 Turbine Hours; 900 to 1,250 Starts; 30,000 to 32,000 Turning Gear Hours	48,000 to 64,000 Turbine Hours; 1,800 to 2,400 Starts; 60,000 to 64,000 Turning Gear Hours
All Other Models	8,000 Turbine Hours; 250 Starts; 4,000 Turning Gear Hours	20,000 to 24,000 Turbine Hours; 750 to 900 Starts; 22,000 to 24,000 Turning Gear Hours	40,000 to 48,000 Turbine Hours; 1,800 to 2,400 Starts; 44,000 to 48,000 Turning Gear Hours
Asphalt Stator Bar Windings for Core Lengths over 250 inches	Does not apply	12,000 to 15,000 Turbine Hours; 400 to 600 Starts; 13,000 to 15,000 Turning Gear Hours	24,000 to 30,000 Turbine Hours; 800 to 1,200 Starts; 26,000 to 30,000 Turning Gear Hours

Note:

Rev L

	First Inspection	Inspection and Maintenance Intervals
All Units not listed below	8,000 Turbine Hours; 250 Starts; 4,000 Turning Gear Hours	24,000 to 32,000 Turbine Hours; 900 to 1,250 Starts; 30,000 to 32,000 Turning Gear Hours
H55 (3304) Generators H73 (3904) Generators H75 (4504) Generators LC generators w/phosphorous braided stator bars. Generators older than 25 years that have not been rewound with updated materials.	8,000 Turbine Hours; 250 Starts; 4,000 Turning Gear Hours	20,000 to 24,000 Turbine Hours; 750 to 900 Starts; 22,000 to 24,000 Turning Gear Hours
In the absence of operating experience and resulting condition assessments, Table 2 lists the recommended inspection intervals for turbo-generators. Generators can be inspected commensurate with the associated turbine inspection outage. These initial intervals should be reviewed and adjusted as operating and inspection experiences are accumulated.		
LC – Liquid Cooled		

Alternate borescope and robotic inspections
Follow figures 1 and 2 as examples



ANEXO N° 03

Informe de mantenimiento mensual equipos reductores de velocidad.

<u>ANEXO</u>	
<u>Dializado de aceite del Turning Gear TG2</u>	
	
<u>Presión de trabajo del dializador</u>	<u>Resultado final ISO 4406-9</u>
	

ANEXO N° 04

Detalle proyecto central termoeléctrica Puerto Bravo – Nodo Energético del Sur en Mollendo por OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería).

CENTRAL TERMOELÉCTRICA PUERTO BRAVO-NODO ENERGÉTICO DEL SUR MOLLEND (788,8 MW)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA PUERTO BRAVO		
EMPRESA CONCESIONARIA	SAMAY I S.A.		
TECNOLOGÍA	Generación Termoeléctrica Dual a Gas Natural y Diésel B5		
UBICACIÓN	Departamento: Arequipa Provincia: Islay Distrito: Mollendo Altitud: 56.5 msnm		
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia Instalada: 788,8 MW (Gas Natural) / 616 MW (Diésel B5) Número de Unidades de Generación: 4 Turbinas a Gas (154 MW c/u-Diésel B5) / (180 MW c/u-Gas) Fuente de Energía: Diésel B5 (proyectado para Gas Natural)		
DATOS DE LA TURBINA A GAS	Potencia: 4 turbinas de (154 MW c/u-Diésel B5) / (180 MW c/u-Gas) Marca: General Electric		
DATOS DEL GENERADOR	Potencia: 4x232 MVA Tensión de Generación: 18 KV Marca: General Electric		
DATOS TRANSFORMADOR	Potencia: (130/160/200 MVA)/(ONAN/ONAF1/ONAF2) a 40°C Nivel de Tensión: 500 KV/18 KV		
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato: Compromiso de Inversión Firma de Contrato: 20.01.2014 Puesta en Operación Comercial (POC): 26.05.2016 Precio por Potencia: 6 899 US\$/MW-mes	HITOS EIA: 17.11.2014 Cierre Financiero: 04.12.2014 Llegada de equipos: 15.06.2015 POC: 26.05.2016	

INFORMACIÓN RELEVANTE

- El proyecto se ubica en el distrito de Mollendo (Arequipa) a una altura de 56,5 msnm.
- La capacidad de la central por contrato es de hasta 600 MW sin embargo, SAMAY I instaló 788,8 MW (4 generadores de marca G.E. de 232 MVA c/u).
- En la Etapa 1, operará con Diésel B5, hasta que se disponga de gas natural.
- En la Etapa 2, utilizará gas natural.
- La central tiene conexión al Terminal de combustible de Mollendo, mediante un poliducto y en el futuro (cuando se disponga de gas natural) al Gasoducto Sur Peruano.
- Se construyó con la modalidad de Contrato EPC: Posco (Central), Siemens (S.E. GIS) y Abengoa (Línea de Transmisión 500 KV y Ampliación de S.E. San José).
- Las obras de la central y la LT. 500 KV Puerto Bravo-San José se encuentran concluidos.
- El proyecto presenta un avance global de 100%.
- Con carta COES/D/DP-370-2016, el COES aprobó la Puesta en Operación Comercial de la Central Termoeléctrica Puerto Bravo desde las 00:00 horas del 26.05.2016 con las siguientes potencias efectivas: TG1 (153,98 MW), TG2 (153,97 MW), TG3 (153,96 MW) y TG4 (153,86 MW).
- El monto de inversión aproximado fue de US\$ 390 millones.

Zona de Ubicación

Tanque de Almacenamiento Combustible Diésel B5

Grupos Black Start (Arranque Autónomo)

Turbinas y Generadores 1, 2, 3 y 4

Transformadores de la C.T. Puerto Bravo

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL

División de Supervisión de Electricidad
Unidad de Supervisión de Inversión en Electricidad - Marzo 2018

97

ANEXO N° 05

Equipo para medición de color de aceite de la marca KEMTRAK.

DCP007 Process Photometer

Benefits:

- Maintenance free
- High performance LED light source
- Real time in-line measurement
- Dual wavelength drift free operation
- Light source & wavelength easy to change
- Modbus TCP Ethernet data communication

The Kemtrak DCP007 process analyzer is a high performance fiber optic coupled photometer for high resolution, real time, in-line concentration and color measurement. Modern LED light source technology ensures maintenance and drift free operation with exceptionally high precision.

Industrial grade measurement cells with scratch resistant sapphire windows, contain no electronics or moving parts making them ideal for both ordinary and hazardous area use. A validation & calibration accessory traceable to NIST standards is available to assure measurement confidence while saving valuable time and resources.



Integrated NIST validation accessory

Standard features include 16 linearization tables for multiple product switching, remote zeroing, automatic cell cleaning cycle and signal filtering. A built-in graphical internet based interface allows remote operation, calibration, validation and data trending using a standard web browser.





Typical Applications:

- Color Scales
 - Platinum Cobalt / APHA / Hazen
 - ASTM D-1500
 - Saybolt / ASTM D-156
 - ICUMSA
- Chemical concentration
 - Chlorine Dioxide, Hypochlorite, Chlorine
 - Metal ions e.g. iron, copper, chromium, cobalt
 - Aromatics & Hydrocarbons
- Leak, carryover & interface detection

Dual wavelength operation automatically compensates for sample turbidity and/or fouling of the optical windows. Four channel measurement technology ensures drift and trouble free operation.

All Kemtrak products are designed to meet the most demanding application specifications and are made from the highest quality materials to ensure exceptionally long life and the highest reliability possible.

KEMTRAK
www.kemtrak.com

ANEXO N° 06

Tabla de códigos de limpieza según la norma ISO 4406:1999.

Código de Limpieza ISO 4406:1999		
Código de Rango	Partículas por 100 ml de fluido	
	Más de	Hasta y incluyendo
24	8,000,000	16,000,000
23	4,000,000	8,000,000
22	2,000,000	4,000,000
21	1,000,000	2,000,000
20	500,000	1,000,000
19	250,000	500,000
18	130,000	250,000
17	64,000	130,000
16	32,000	64,000
15	16,000	32,000
14	8,000	16,000
13	4,000	8,000
12	2,000	4,000
11	1,000	2,000
10	500	1,000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
Nota: Un líquido con un código 22/21/18 tiene:		
Entre 2.000.000 y 4.000.000 partículas sobre 4 µm (por el 22 en primera posición)		
Entre 1.000.000 y 2.000.000 partículas sobre 6 µm (por el 21 en segunda posición)		
Entre 130.000 y 250.000 partículas sobre 14 µm (por el 18 en tercera posición)		

ANEXO N° 07

Sistema de clasificación de contaminantes según norma NAS 1638 (Estándares Nacionales Aeroespaciales).

NAS 1638 Table

The NAS 1638 cleanliness standard was developed for aerospace components in the US and is still widely used for industrial and aerospace fluid power applications.

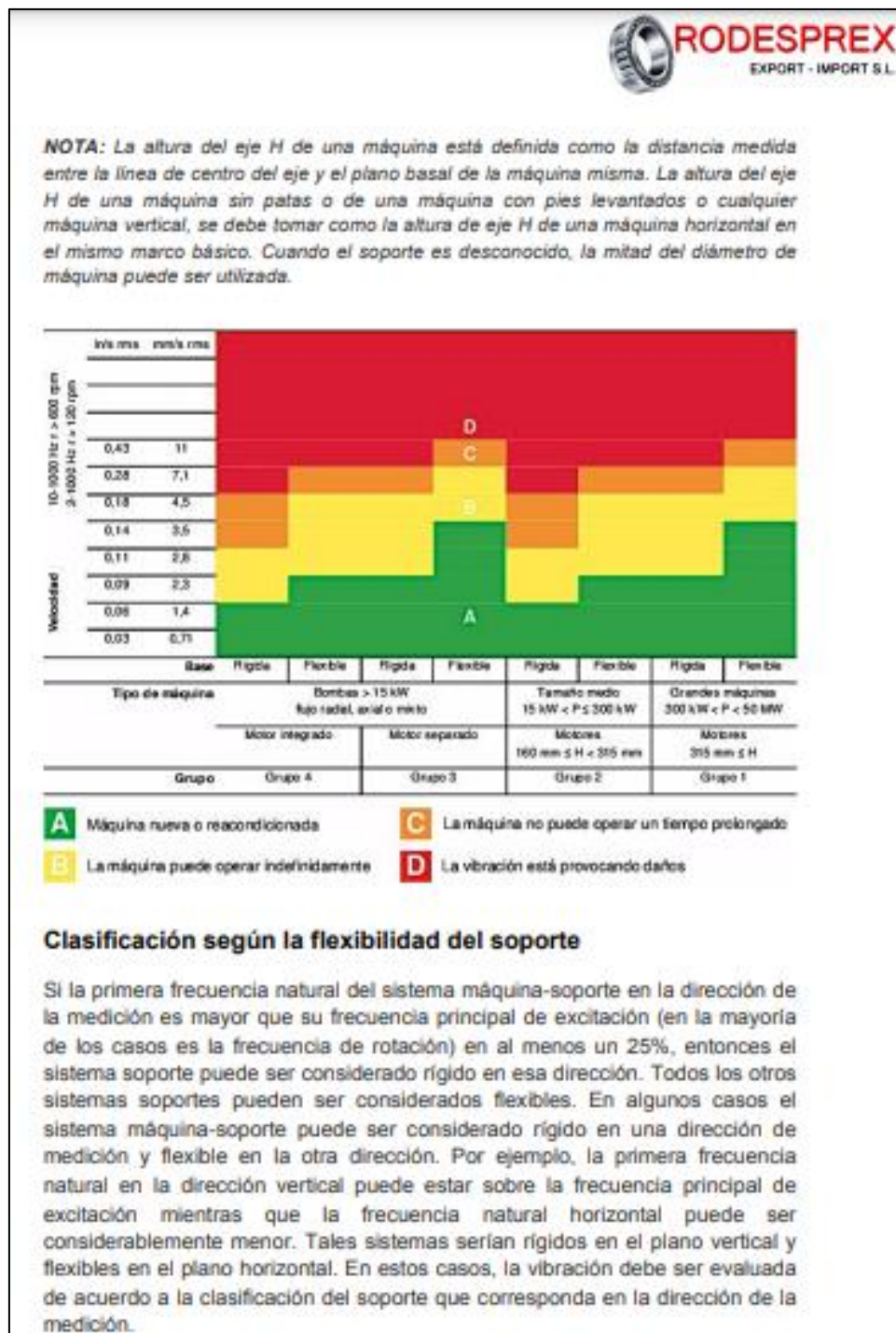
The figures are differential counts, and the NAS class is usually reported as a single figure representing the maximum allowed particle counts (i.e. worst case) for designated particle size ranges.

Size range		5–15 μm	15–25 μm	25–50 μm	50–100 μm	>100 μm
NAS classes (based on maximum contamination limits, particles per 100ml)	00	125	22	4	1	0
	0	250	44	8	2	0
	1	500	89	16	3	1
	2	1,000	178	32	6	1
	3	2,000	356	63	11	2
	4	4,000	712	126	22	4
	5	8,000	1,425	253	45	8
	6	16,000	2,850	506	90	16
	7	32,000	5,700	1,012	180	32
	8	64,000	11,400	2,025	360	64
	9	128,000	22,800	4,050	720	128
	10	256,000	45,600	8,100	1,440	256
	11	512,000	91,000	16,200	2,880	512
	12	1,024,000	182,400	32,400	5,760	1,024

}

ANEXO N° 08

Extracto de la norma ISO 10816:2009 elaborado por la empresa RODESPREX.



ANEXO N° 09

Hoja de datos técnicos aceite MOBIL SHC 600 SERIES.



Mobil SHC 600 Series
Mobil Industrial, Peru

Aceites de rendimiento excepcional para engranajes y cojinetes

Descripción del producto

Los Mobil SHC™ 600 Series son aceites de rendimiento excepcional para engranajes y cojinetes diseñados con el fin de brindar un excepcional servicio en términos de protección de equipos, vida útil del aceite y operación sin problemas y contribuyen a aumentar la productividad del cliente. Estos aceites diseñados científicamente están formulados utilizando la más reciente tecnología Mobil SHC de dominio exclusivo y con patente en trámite que proporcionan un rendimiento excepcional y balanceado en aplicaciones exigentes a altas y bajas temperaturas. Los productos Mobil SHC 600 cuentan con excelentes propiedades a bajas temperaturas, además de una mejor capacidad para liberar aire en los grados menores de viscosidad. Estos productos son resistentes al cisallamiento mecánico, incluso en engranajes altamente cargados y en aplicaciones de cojinetes de alto cisallamiento, por lo que prácticamente no hay pérdida de viscosidad.

Los Mobil SHC 600 Series tienen coeficientes de tracción bajos en comparación con los aceites minerales, lo cual es resultado de la estructura molecular de los aceites base utilizados. Esto resulta en una baja fricción del fluido en la zona de carga de las superficies que no se ajustan entre sí en engranajes y cojinetes de contacto rodante. La baja fricción del fluido produce temperaturas menores de operación y una mejor eficiencia de los engranajes, lo cual se traduce en un menor consumo de energía. Los Mobil SHC 600 Series han demostrado una mayor eficiencia energética de hasta un 3,6% en pruebas controladas de laboratorio (*). La formulación de los Mobil SHC 600 Series también proporciona una excelente resistencia a la oxidación y a la formación de depósitos a temperaturas elevadas, además de excepcionales propiedades de resistencia a la herrumbre, corrosión, antidesgaste, demulsibilidad, control de espuma y liberación de aire, así como compatibilidad multi-metal. Los Mobil SHC 600 Series son compatibles con los sellos y demás materiales utilizados en los equipos que normalmente son lubricados con aceites minerales.

Los lubricantes de la serie Mobil SHC 600 son apropiados para utilizarse en una amplia gama de equipos, y no sólo porque representan una solución para el problema de altas temperaturas, sino además debido a los otros beneficios que ofrecen.



(*) La eficiencia energética corresponde exclusivamente al rendimiento de los aceites Mobil SHC 600 comparados con aceites de referencia convencionales (minerales) del mismo grado de viscosidad en aplicaciones circulatorias y de engranajes. La tecnología utilizada brinda un incremento en eficiencia de hasta 3,6% al compararse con el material de referencia al probarlos en cajas de engranajes de tornillo sin fin bajo condiciones controladas. Las mejoras en eficiencia variarán según las condiciones operacionales y la aplicación.

Propiedades y Beneficios

La marca Mobil SHC de lubricantes es reconocida y apreciada alrededor del mundo por su innovación y por su excepcional rendimiento. Estos productos sintéticos de diseño molecular diseñados y aplicados por primera vez por nuestros científicos de investigación, simbolizan el continuo compromiso de utilizar la tecnología avanzada para proporcionar productos lubricantes excepcionales. El desarrollo de la serie de aceites Mobil SHC 600 fue precedido de contactos cercanos entre nuestros científicos y especialistas de aplicaciones con importantes Fabricantes de Equipos Originales (OEMs siglas en inglés) para asegurar que los productos brinden un rendimiento excepcional en los diseños de los equipos industriales que se mantienen en continua evolución.

Nuestro trabajo con importantes fabricantes de equipos ha ayudado a confirmar los resultados de nuestros propios laboratorios y de pruebas de banco que muestran el excepcional rendimiento de los lubricantes Mobil SHC 600 Series. No menos importante, entre los beneficios mostrados al trabajar con los fabricantes de equipos, se encuentra el potencial para mejorar la eficiencia energética en hasta 3,6% en comparación con los aceites minerales (*). Estos beneficios son particularmente evidentes en equipos con un alto nivel de pérdidas mecánicas, tales como los engranajes de tornillo sin fin de alta relación.

Para desarrollar la más reciente tecnología Mobil SHC para los aceites Mobil SHC 600 Series, nuestros científicos de formulación de productos escogieron aceites base seleccionados a raíz de su excepcional capacidad de resistencia térmica y a la oxidación y los combinaron con un sistema equilibrado de aditivos, el cual complementa los beneficios inherentes de los aceites base, a fin de proporcionar una excelente vida útil del aceite, un control de los depósitos y una resistencia a la degradación térmica, oxidativa y química. Este enfoque en la formulación proporciona características de fluidos a bajas temperaturas que exceden las de muchos productos minerales y es un beneficio clave para aplicaciones a bajas temperaturas ambientales en sitios.

Características típicas

La serie Mobil SHC 600	624	625	626	627	629	630	632	634	636	639
Grado de viscosidad ISO	32	46	68	100	150	220	320	460	680	1000
Viscosidad, ASTM D 445										
cSt @ 40° C	32	46	68	100	150	220	320	460	680	1000
cSt @ 100° C	6,3	8,5	11,6	15,3	21,1	28,5	38,5	50,7	69,0	98,8
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	148	161	165	162	166	169	172	174	181	184
Punto de fluidez, °C, ASTM D5950	-57	-54	-51	-45	-39	-36	-33	-30	-30	-27
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	236	225	225	235	220	220	225	228	225	222
Densidad @ 15°C (60°F) (g/cc) ASTM D4052	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Apariencia visual	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja	Naranja
TOST, ASTM D 943 mod, horas	10,000 +	10,00 0+	10,000 +	10,00 0+	10,000+	10,00 0+	10,000+	10,000+	10,000+	10,000+
RPVOT, ASTM D 2272, minutos	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Protección contra la herrumbre, ASTM D665B, agua de mar sintética	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
Facilidad de separación del agua, ASTM D1401, Min. a 37 ml agua @ 54° C	10	15	15	-	-	-	-	-	-	-
Facilidad de separación del agua, ASTM D1401, Min. a 37 ml agua @ 82° C	-	-	-	15	20	20	20	20	20	25
Corrosión de cobre ASTM D130, 24 hrs @ 121° C	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B
Ensayo de espuma, ASTM D892, Sec I,II,III ten- dencia / estabilidad, ml/ml	15/0, 2 0/0, 25/0	10/0, 2 30/0, 10/0	10/0, 2 0/0, 10/0	0/0, 10/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0	0/0, 10/0, 0/0	0/0,0/0, 0/0	0/0,0/0, 0/0	0/0,0/0, 0/0	0/0, 0/0, 0/0
Ensayo de abrasión de engranajes FZG, A/8.3/ 90, ISO 14635-1 (mod),	11	12	12	12	13	13+	13+	13+	13+	13+

