

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**UNIDAD DE POSGRADO**



**TESIS**

**Evaluación de reportes de Aceite según Estandar ASTM  
para optimizar los criterios de Lubricación de equipos  
Trackless en Mina Subterránea**

**Para Obtener el Grado de Maestro en Ingeniería con Mención en  
Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento**

**Elaborada por:**

**NÉSTOR ALONSO ROJAS VARONA**

**Asesor:**

**Dr. Aurelio Marcelo Padilla Ríos**

**Lima – Perú**

**2025**

## DEDICATORIA

A mis amados padres, Néstor y Violeta, que además de ser mis primeros maestros, han dado y siguen dando lo mejor de sí por el bienestar de nosotros, sus hijos.

A mis hermanos Claudia y André por su motivación a la realización de mi tesis.

A mi amada Ale, quien es mi soporte en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Dr. Aurelio Padilla, mi asesor, quién fue guía para la revisión y dio recomendaciones para la elaboración de mi tesis. También agradecer a mis maestros de mi vida académica del Hnos Meléndez, Sta Bernardita, Nstra Sra del Carmen, Exitu's y de la UNP, UNI. Y a todas aquellos que de una u otra manera, me ayudaron a la realización de mi tesis.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación abarca el problema de: la evaluación de reportes de análisis de aceite para optimizar los criterios de lubricación de equipos trackless, con el objetivo de: proponer un modelo de evaluación de datos de aceite basado en Estandar ASTM para mejorar los criterios de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea, la unidad de análisis son los resultados de muestras de aceite usado de los equipos trackless de una mina subterránea, los datos se han recolectado base de datos Smart Lab durante el periodo diciembre de 2001 a noviembre 2002, la investigación es del tipo aplicada, enfoque cuantitativo, el nivel correlacional - explicativo, el diseño es cuasi experimental y transversal. Mediante esta investigación, el desgaste de piezas móviles lubricadas se reduce, las estrategias para una mejor evaluación de reportes de análisis de aceite, detecta aquellos reportes que superan los límites condenatorios, dando mayor énfasis de interpretación al personal analista de mantenimiento de lubricación. Los resultados de la investigación han permitido contrastar las hipótesis planteadas, logrando los límites condenatorios en parámetros de contaminación y desgaste de los modelos MT 2010, ST 1030, R1300G, R1600H, 853 s8, Boltec S, Boomer S1D, DD311, Simba s7. Las principales conclusiones son: los límites condenatorios obtenidos por estadística, siguiendo las pautas del estándar ASTM 7720-D, son posibles de hallar con data de reportes de aceite usado de al menos 1 año cumpliendo con los cambios de aceite en la frecuencia estandarizada por el manual del equipo y validada por el área de mantenimiento; de igual forma se corroboran los aceites que correspondan al indicado mediante línea base y se eliminan valores atípicos; Se ha logrado el buen funcionamiento de los equipos que se encuentren dentro de los límites condenatorios La correcta interpretación de los resultados de análisis de aceite usado, debe tener una base histórica del componente analizado basándose en tendencias.

**Palabras clave:** Tribología, límites condenatorios, equipos trackless, mina subterránea, estándar ASTM 7720-D.

## ABSTRACT

This research covers the problem of: evaluating oil analysis reports to optimize lubrication criteria for trackless equipment, with the objective of: proposing an oil data evaluation model based on ASTM Standard to improve lubrication criteria for trackless equipment in an underground mine, the analysis unit is the results of used oil samples from trackless equipment in an underground mine, the data have been collected from the Smart Lab database during the period from December 2001 to November 2002, the research is of the applied type, quantitative approach, correlational - explanatory level, the design is quasi-experimental and transversal. Through this research, the wear of lubricated moving parts is reduced, the strategies for a better evaluation of oil analysis reports, detects those reports that exceed the condemnatory limits, giving greater emphasis to the interpretation of the lubrication maintenance analyst staff. The results of the investigation have allowed to contrast the hypotheses raised, achieving the condemnatory limits in contamination and wear parameters of the models MT 2010, ST 1030, R1300G, R1600H, 853 s8, Boltec S, Boomer S1D, DD311, Simba s7. The main conclusions are: the condemnatory limits obtained by statistics, following the guidelines of the ASTM 7720-D standard, are possible to find with data from used oil reports of at least 1 year complying with the oil changes at the frequency standardized by the equipment manual and validated by the maintenance area; in the same way they corroborate the oils that correspond to the one indicated by the baseline and atypical values are eliminated; The proper functioning of the equipment that is within the condemnatory limits has been achieved. The correct interpretation of the results of the used oil analysis must have a historical basis of the analyzed component based on trends.

**Keywords:** Tribology, condemnatory limits, trackless equipment, underground mine, ASTM 7720-D standard.

# INDICE

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN .....                                                   | iv |
| ABSTRACT .....                                                  | v  |
| CAPÍTULO I GENERALIDADES .....                                  | 1  |
| 1.1. Antecedentes de la Investigación .....                     | 1  |
| 1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio ..... | 3  |
| 1.3. Formulación del Problema .....                             | 5  |
| 1.3.1. Problema General .....                                   | 5  |
| 1.3.2. Problemas Específicos .....                              | 5  |
| 1.4. Justificación e Importancia .....                          | 5  |
| 1.5. Objetivos .....                                            | 6  |
| 1.5.1. Objetivo General .....                                   | 6  |
| 1.5.3. Objetivos Específicos .....                              | 6  |
| 1.6. Hipótesis .....                                            | 6  |
| 1.6.1. Hipótesis General .....                                  | 6  |
| 1.6.2. Hipótesis Específicas .....                              | 7  |
| 1.7. Variables y Operacionalización de Variables .....          | 8  |
| 1.7.1. Operacionalización de Variables .....                    | 8  |

|                                                     |                                                       |    |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----|
| 1.8.                                                | Metodología de la investigación.....                  | 8  |
| 1.8.1.                                              | Unidades de análisis .....                            | 8  |
| 1.8.2.                                              | Tipo, Enfoque y Nivel de investigación.....           | 8  |
| 1.8.3.                                              | Diseño de la investigación.....                       | 9  |
| 1.8.4.                                              | Fuentes de la Información.....                        | 9  |
| 1.8.5.                                              | Población y Muestra.....                              | 9  |
| 1.8.6.                                              | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos ..... | 9  |
| 1.8.7.                                              | Análisis y Procesamiento de Datos .....               | 9  |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL ..... |                                                       | 10 |
| 2.1.                                                | Bases Teóricas.....                                   | 10 |
| 2.1.1.                                              | Reportes de análisis de aceite .....                  | 10 |
| 2.1.2.                                              | Límites condenatorios .....                           | 10 |
| 2.1.3.                                              | Mantenimiento .....                                   | 10 |
| 2.1.4.                                              | Límites comúnmente aceptados.....                     | 11 |
| 2.1.5.                                              | Mantenibilidad .....                                  | 12 |
| 2.1.6.                                              | Confiabilidad .....                                   | 12 |
| 2.1.7.                                              | Disponibilidad.....                                   | 12 |
| 2.1.8.                                              | Tipos de desgaste.....                                | 13 |
| 2.1.9.                                              | Análisis de lubricantes usados .....                  | 13 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.10. Equipos trackless .....                                    | 14 |
| 2.1.11. Componentes de un equipo trackless .....                   | 16 |
| 2.2. Marco Conceptual .....                                        | 19 |
| 2.2.1. Estándar ASTM D7720 .....                                   | 19 |
| 2.2.2 Aceite usado .....                                           | 19 |
| 2.2.3 Interpretación de reportes de análisis de aceite .....       | 19 |
| 2.2.4 Línea base de aceite.....                                    | 19 |
| 2.2.5 Límites condenatorios .....                                  | 19 |
| CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....         | 20 |
| 3.1. Estandarización líneas base de aceite.....                    | 20 |
| 3.2. Metodología estadística de límites condenatorios .....        | 21 |
| 3.2.1. Límites condenatorios establecidos por los fabricantes..... | 22 |
| 3.2.2. Límites condenatorios por método estadístico.....           | 22 |
| 3.3. Automatización de reportes de análisis de aceites .....       | 25 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS, CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y              |    |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                                      | 30 |
| 4.1 Resultados de la investigación .....                           | 30 |
| 4.2 Discusión de resultados .....                                  | 60 |
| 4.3 Contrastación de hipótesis .....                               | 61 |
| 4.3.1 Contrastación de hipótesis general .....                     | 61 |



|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 4.3.2 Contrastación de hipótesis específicas ..... | 61 |
| CONCLUSIONES .....                                 | 64 |
| RECOMENDACIONES .....                              | 65 |
| REFERENCIAS .....                                  | 66 |
| ANEXOS .....                                       | 69 |

## Lista de tablas

|                 |                                                                                   |    |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b>  | <i>Operacionalización de variables</i> .....                                      | 8  |
| <b>Tabla 2</b>  | <i>Categoría de equipos trackless y sus componentes</i> .....                     | 20 |
| <b>Tabla 3</b>  | <i>Aceites utilizados por equipos trackless</i> .....                             | 21 |
| <b>Tabla 4</b>  | <i>Clasificación de elementos para interpretación de análisis de aceite</i> ..... | 25 |
| <b>Tabla 5</b>  | <i>Modelos de equipos trackless analizados</i> .....                              | 30 |
| <b>Tabla 6</b>  | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente motor.</i> .....                      | 31 |
| <b>Tabla 7</b>  | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente hidráulico.</i> .....                 | 31 |
| <b>Tabla 8</b>  | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente Transmisión</i> .....                 | 32 |
| <b>Tabla 9</b>  | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente mandos delanteros</i> .....           | 32 |
| <b>Tabla 10</b> | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente mandos traseros</i> .....             | 33 |
| <b>Tabla 11</b> | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente diferencial delantero</i> .....       | 33 |
| <b>Tabla 12</b> | <i>Límites del modelo MT 2010 de componente diferencial trasero.</i> .....        | 34 |
| <b>Tabla 13</b> | <i>Límites del modelo ST 1030 de componente motor.</i> .....                      | 34 |
| <b>Tabla 14</b> | <i>Límites del modelo ST 1030 de componente transmisión</i> .....                 | 35 |
| <b>Tabla 15</b> | <i>Límites del modelo ST 1030 de componente diferencial delantero</i> .....       | 35 |
| <b>Tabla 16</b> | <i>Límites del modelo ST 1030 de componente diferencial trasero</i> .....         | 36 |
| <b>Tabla 17</b> | <i>Límites del modelo ST 1030 de componente mandos delanteros</i> .....           | 36 |
| <b>Tabla 18</b> | <i>Límites del modelo ST 1030 de componente mandos traseros</i> .....             | 37 |

|                 |                                                                            |    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 19</b> | <i>Límites del modelo R1300G de componente motor .....</i>                 | 37 |
| <b>Tabla 20</b> | <i>Límites del modelo R1300G de componente transmisión .....</i>           | 38 |
| <b>Tabla 21</b> | <i>Límites del modelo R1300G de componente diferencial delantero .....</i> | 38 |
| <b>Tabla 22</b> | <i>Límites del modelo R1300G de componente diferencial trasero .....</i>   | 39 |
| <b>Tabla 23</b> | <i>Límites del modelo R1300G de componente mandos delanteros .....</i>     | 39 |
| <b>Tabla 24</b> | <i>Límites del modelo R1300G de componente mandos traseros .....</i>       | 40 |
| <b>Tabla 25</b> | <i>Límites del modelo R1600H de componente motor .....</i>                 | 40 |
| <b>Tabla 26</b> | <i>Límites del modelo R1600H de componente transmisión .....</i>           | 41 |
| <b>Tabla 27</b> | <i>Límites del modelo R1600H de componente diferencial delantero.....</i>  | 41 |
| <b>Tabla 28</b> | <i>Límites del modelo R1600H de componente diferencial trasero .....</i>   | 42 |
| <b>Tabla 29</b> | <i>Límites del modelo R1600H de componente mandos delanteros .....</i>     | 42 |
| <b>Tabla 30</b> | <i>Límites del modelo R1600H de componente mandos traseros .....</i>       | 43 |
| <b>Tabla 31</b> | <i>Límites del modelo 853 s8 de componente motor.....</i>                  | 43 |
| <b>Tabla 32</b> | <i>Límites del modelo 853 s8 de componente transmisión.....</i>            | 44 |
| <b>Tabla 33</b> | <i>Límites del modelo 853 s8 de componente diferencial delantero .....</i> | 44 |
| <b>Tabla 34</b> | <i>Límites del modelo 853 s8 de componente diferencial trasero.....</i>    | 45 |
| <b>Tabla 35</b> | <i>Límites del modelo 853 s8 de componente mandos delanteros.....</i>      | 45 |
| <b>Tabla 36</b> | <i>Límites del modelo 853 s8 de componente mandos traseros .....</i>       | 46 |
| <b>Tabla 37</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente motor .....</i>               | 46 |

|                 |                                                                                |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 38</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente transmisión .....</i>             | 47 |
| <b>Tabla 39</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente diferencial delantero .....</i>   | 47 |
| <b>Tabla 40</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente diferencial trasero .....</i>     | 48 |
| <b>Tabla 41</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente mandos delanteros .....</i>       | 48 |
| <b>Tabla 42</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente mandos traseros .....</i>         | 49 |
| <b>Tabla 43</b> | <i>Límites del modelo Boltec S de componente compresor.....</i>                | 49 |
| <b>Tabla 44</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente motor .....</i>                 | 50 |
| <b>Tabla 45</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente diferencial delantero .....</i> | 50 |
| <b>Tabla 46</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente diferencial trasero .....</i>   | 51 |
| <b>Tabla 47</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente transmisión .....</i>           | 51 |
| <b>Tabla 48</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente compresor.....</i>              | 52 |
| <b>Tabla 49</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente mandos delanteros .....</i>     | 52 |
| <b>Tabla 50</b> | <i>Límites del modelo Boomer S1D de componente mandos traseros .....</i>       | 53 |
| <b>Tabla 51</b> | <i>Límites del modelo DD 311 de componente motor .....</i>                     | 53 |
| <b>Tabla 52</b> | <i>Límites del modelo DD 311 de componente diferencial delantero.....</i>      | 54 |
| <b>Tabla 53</b> | <i>Límites del modelo DD 311 de componente diferencial trasero .....</i>       | 54 |
| <b>Tabla 54</b> | <i>Límites del modelo DD 311 de componente transmisión .....</i>               | 55 |
| <b>Tabla 55</b> | <i>Límites del modelo DD 311 de componente mandos delanteros .....</i>         | 55 |
| <b>Tabla 56</b> | <i>Límites del modelo DD 311 de componente mandos traseros .....</i>           | 56 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 57</b> <i>Límites del modelo DD 311 de componente compresor</i> .....               | 56 |
| <b>Tabla 58</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente motor</i> .....                 | 57 |
| <b>Tabla 59</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente transmisión</i> .....           | 57 |
| <b>Tabla 60</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente diferencial delantero</i> ..... | 58 |
| <b>Tabla 61</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente diferencial trasero</i> .....   | 58 |
| <b>Tabla 62</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente mandos delanteros</i> .....     | 59 |
| <b>Tabla 63</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente mandos traseros</i> .....       | 59 |
| <b>Tabla 64</b> <i>Límites del modelo Simba S7 de componente compresor</i> .....             | 60 |

## Lista de figuras

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura. 1</b> <i>Equipo taladro largo</i> .....                             | 14 |
| <b>Figura. 2</b> <i>Equipo dumper</i> .....                                    | 15 |
| <b>Figura. 3</b> <i>Equipos scoop</i> .....                                    | 15 |
| <b>Figura. 4</b> <i>Equipos scaler</i> .....                                   | 16 |
| <b>Figura. 5</b> <i>Transmisión</i> .....                                      | 17 |
| <b>Figura. 6</b> <i>Diferencial</i> .....                                      | 18 |
| <b>Figura. 7</b> <i>Mandos finales</i> .....                                   | 18 |
| <b>Figura. 8</b> <i>Límites condenatorios del fabricante Caterpillar</i> ..... | 22 |
| <b>Figura 9</b> <i>Análisis de aceite muestra presencia de agua.</i> .....     | 23 |
| <b>Figura. 10</b> <i>Valor atípico detectado</i> .....                         | 24 |
| <b>Figura. 11</b> <i>Pantalla Hot Sheet</i> .....                              | 26 |
| <b>Figura. 12</b> <i>Pantalla de criticidad</i> .....                          | 27 |
| <b>Figura. 13</b> <i>Tendencia general con técnica SA-CO-DE</i> .....          | 27 |
| <b>Figura 14</b> <i>Tendencias con límites condenatorios</i> .....             | 28 |
| <b>Figura. 15</b> <i>Reporte final al área de confiabilidad</i> .....          | 29 |

## Introducción

La minería es una de las actividades extractivas más fluidas del mundo habiéndose desarrollado una importante industria basada en esta actividad; esta actividad requiere una alta responsabilidad en temas de seguridad, social, salud, ambiental además el correcto funcionamiento de los equipos que se están involucrados en la actividad, el control y mantenimiento de los equipos es vital para la toma de decisiones en la planificación y programación de actividades.

Actualmente, las condiciones de operación minera subterránea suelen ser agrestes, entre las condiciones que destacan son: en humedad, polución, frío y calor extremo, entre otros, estas condiciones generan un desgaste por fricción considerable propio del contacto de piezas móviles y equipos que se tienen en mina, es fundamental controlar el desgaste por fricción, mediante el análisis de aceites en laboratorio, pero no basta con solo tener el análisis de aceites, se requiere la interpretación de los mismos, el cual, en este caso, se hace basado en la experiencia del intérprete sin seguir un estándar y de manera individual, es importante lograr la uniformidad en la interpretación de los análisis de datos de los resultados de laboratorio de aceites para mejorar los criterios de lubricación de equipos trackless .

En el capítulo I, se presenta las generalidades, antecedentes investigativos, identificación y descripción del problema de estudio, formulación del problema, justificación e importancia, objetivos; el cual es: proponer un modelo de evaluación de datos de aceite para optimizar los criterios de lubricación de equipos trackless. También incluye hipótesis, variables y operacionalización de variables, así como metodología de investigación.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico y el marco conceptual, bases teóricas sobre el fenómeno de estudio y las herramientas de solución.

En el capítulo III el desarrollo empezando con la estandarización de líneas base de aceite, metodología estadística de límites condenatorios, automatización de reportes de análisis de aceites.

En el capítulo IV comprende el análisis de los resultados de investigación, contrastación de hipótesis, discusión de resultados.

Finalmente, se mencionan las conclusiones y recomendaciones, las referencias y anexos.



# CAPÍTULO I GENERALIDADES

## 1.1. Antecedentes de la Investigación

Erribari T. y Salazar M. (2019)<sup>1</sup>, estudian el tema de *business Intelligence* para mantenimiento correctivo en una empresa de telecomunicaciones, llegan a la conclusión de que la propuesta de implementación del *business Intelligence* infiere un desarrollo de capacidad de respuesta especializada al mantenimiento de los equipos del cliente. También comentan que el desarrollo tecnológico busca expandir el porcentaje de participación de una empresa en el rubro de mantenimiento, teniendo valor agregado con el servicio de monitoreo y control en tiempo real.

Bozzo M. (2023)<sup>2</sup> Indica que la implementación de una gestión de mantenimiento que se basa en los análisis de aceites mejoró en un 5.1% la disponibilidad en los camiones volquetes de 14m<sup>3</sup>, en una mina subterránea ubicada en Ayacucho con respecto a la gestión anterior, para llegar a esta mejora concluye que su MTTR mejora un 18.1% y su MTBF mejora un 45.5%, en ambos casos para su estudio identifica un comportamiento de distribución normal por lo que aplicó pruebas paramétricas T – student.

Tapia E. (2023)<sup>3</sup> Comenta que el factor de contaminación (se analizó el silicio como tierra) se controló mediante el uso de dializado con lo que le permitió extender la vida útil del aceite lubricante. También indica que la introducción herramientas, insumos y equipos para el monitoreo de aceites tales como bombas de muestreo, recipientes y dializadores, así como capacitar al personal para estas actividades aumenta la disponibilidad del tren posterior en camiones mineros CAT 797F, donde demuestra por la disponibilidad de un

---

<sup>1</sup> Erribari, D., Salazar, C. (2019). Business intelligence para mantenimiento correctivo de Avitel Servicios Generales para una empresa de rubro telecomunicaciones

<sup>2</sup> Bozzo, M. (2023). Gestión del Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceites para mejorar la disponibilidad de la flota de camiones volquetes de 17m<sup>3</sup> en una mina subterránea, Ayacucho 2023

<sup>3</sup> Tapia, E. (2023). Análisis de la migración y extensión del periodo de cambio del lubricante en el tren posterior de camiones minero CAT 797F

camión minero de 86.72% (con un incremento del 5.76%) y de otro camión minero de 86.85% (con un incremento de 8.5%) que si se contasen la totalidad de la flota de 25 camiones, generarían un ahorro de \$3.556.700.00 en el transcurso de 9 años o es decir \$395.188.89 anuales.

García, A. et al (2023)<sup>4</sup>. Propone un modelo que responde a las necesidades de las organizaciones de producción y servicios, este modelo fue concebido en correspondencia con la tendencia de los modelos desarrollados en los últimos años como un sistema de ciclo cerrado enfocado en los procesos de calidad. Su modelo de lubricación se estableció a partir de ciclo PHVA de Deming, establecido en la ISO. 9001:2015. Al modelo en cada fase, se definió etapas y de ellas se explicó de forma detalladas cinco aspectos, información de entrada, actividades, revisión, información de salida y métrica. Se diseñó un modelo que debido a su sencillez es capaz de ajustarse a la organización a la cual va dirigida, el diagnóstico inicial y las acciones de control facilitan esa adaptación.

Guerrero, T. (2016)<sup>5</sup>. Concluye que es necesario destacar la importancia de realizar un plan de mantenimiento predictivo (MPd) mediante la técnica de: análisis de aceite para anticipar el comportamiento de mecanismos y descubrir potenciales averías (detección temprana de fallas) de esta forma anticipar el comportamiento de mecanismos y descubrir potenciales averías con el fin de reducir gastos de mantenimiento elevados o paralizaciones de los vehículos que generan impacto en las operaciones cuando de planea su disposición. También resalta que las adecuadas interpretaciones de los informes del laboratorio deben tener un procedimiento acorde a las normas ASTM, además es necesario que el profesional a cargo del mantenimiento conozca la metalurgia de los componentes lubricados, con esta experiencia le permite anticipar los componentes que presentan desgaste de acuerdo a los resultados de aceites. En su tesis también observa

---

<sup>4</sup> García, A., et al (2023). Modelo para la gestión de la lubricación y los lubricantes en la industria.

<sup>5</sup> Guerrero, T. (2016). Determinación de la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido.

que los vehículos con aceites SAE 20W50 y 10W40 con recorridos de 6000Km presentan hasta el 95% de certeza que la viscosidad tendrá valores admisibles, por lo que no requiere el cambio de aceite por degradación antes del recorrido antes mencionado.

Wolak, A., Zajac, G. (2018)<sup>6</sup>, Realizaron una comparativa de los resultados de los análisis obtenidos en equipos distintos que permiten una evaluación rápida de la calidad de los lubricantes en condiciones de funcionamiento mediante el uso de espectroscopia, ellos llegan a la conclusión de que ambos dispositivos demuestran una buena compatibilidad solo en cuanto al grado de sulfatación.

Wakiru, J., et al (2018)<sup>7</sup>. El monitoreo de la condición de lubricación (LCM) no solo se utiliza como un sistema de alerta temprana en maquinaria, sino también para el diagnóstico y pronóstico de fallas en el mantenimiento basado en la condición (CBM).

## **1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio**

Cada vez la actividad minera se exigen mayores estándares de productividad, en ocasiones las mineras se colocan metas de en plazos establecidos logrando incentivos en caso alcanzarlos, parte importante del proceso es la obtención de tierras ricas en minerales, que por lo general se logra mediante equipos móviles pesados, llámese equipos trackless para el caso de minería subterránea entre los que destacan: Taladro largos, dumpers, cargador frontal, plataformas, orugas, etc.

En la ciudad de Yauli - Junín se encuentra un de las plantas de la empresa Volcán Compañía Minera, la cual se dedica a la exploración y explotación de yacimientos mineros de San Cristóbal, Carahuacra, Andaychagua. Esta mina cuenta con distintos equipos móviles pesados para su actividad de explotación, los cuales tiene un plan de cambio de aceites los cuales van desde 125h, 250h a 500h de operación dependiendo de la parte que

---

<sup>6</sup> Wolak, A., Zajac, G. (2018). *Changes in the operantig chracteristics of engine oils: A comparison of the results obhtained with the use of two automatic devices*

<sup>7</sup> Wakiru, J., Pintelon, L., Muchiri, P., Chemweno, P., (2018). *A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decisi3n support*

se cambie de aceite pudiendo ser Motor, transmisión mando delantero derecho, mando delantero izquierdo, mando trasero derecho, mando trasero izquierdo, hidráulico (si aplica) diferencial delantero, diferencial trasero. En cada cambio de aceite, al aceite saliente se le saca una muestra, la cual es enviada a laboratorio en Lima.

Los análisis de aceite de Volcán Compañía Minera, normalmente se realizan mediante la marca "Mobil", a través de su laboratorio Smart-Lab bajo su plataforma online, que es donde se descargan los resultados del aceite analizado.

Una de las causas que motivan a la realización de la investigación, es que cuando se obtiene los resultados del aceite este se obtiene en un formato excel descargable de la web de poco amigable, el cual debe adecuarse a un formato más visualmente agradable y de manera manual se revisa cada análisis siendo interpretados a criterio de experiencia por el personal analista predictivo.

La falta de un estándar debidamente bibliografiado o que siga una norma o estándar hace que la interpretación de los resultados esté sujeto al error humano o a criterios individuales, para los parámetros de salud, contaminación, desgaste del aceite (metodología SA-CO-DE), lo cual es crucial para la toma de decisiones. Pues el análisis de aceites es una técnica predictiva para la detección temprana de fallas (DTFs) siempre y cuando se sepa interpretar resultados y tomar decisiones.

Así mismo la correcta interpretación de resultados permite realizar estudios de reemplazar el aceite a otra presentación el cual puede extenderse los intervalos de drenaje de aceite y puede traducirse en beneficios en la operación mejorando el centro de costo asociado.

Por último y no menos importante de las razones que plantea la investigación es el: factor humano, el recurso más importante de toda actividad, la capacitación del factor humano es clave en mucho de los procesos de la industria, por tal motivo se debe

considerar que toda decisión debe estar avalada por un procesamiento de datos que se recopilan de la actividad que se ejecuta, por lo que el correcto procesamiento de datos debe realizarse por personal capacitado en el área.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1. Problema General**

¿De qué manera se optimiza los criterios de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

- a. ¿De qué manera se puede identificar la contaminación de aceites con otros fluidos en equipos trackless en una mina subterránea en Junín?
- b. ¿De qué manera se establecen límites condenatorios para lograr el buen funcionamiento en cuanto a lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín?
- c. ¿De qué manera se mejora los tiempos de interpretación de análisis de aceite usado en equipos trackless en una mina subterránea en Junín?

### **1.4. Justificación e Importancia**

**La importancia social**, es que permite mejorar la seguridad ambiental evitando la contaminación y reducir el riesgo a la salud, esto debido a que se logra llevar mayor control de los equipos mediante el análisis de aceite pudiendo predecir fallas tempranas en los mismos.

El tiempo que toma interpretar los análisis de aceites de manera individual para cada equipo y componentes es considerable tomando como partida las horas-hombre calificada realizando esta labor.

**La importancia tecnológica** es determinar la línea base y aplicar las normas ASTM

La importancia de asegurar una toma de decisiones que se base datos interpretados siguiendo estándares internacionales, hace que ante algún eventual fallo se sustente en dichos estándares y no bajo el criterio y experiencia personal del analizador predictivo responsable de la interpretación.

En resumen, esta investigación permite controlar el desgaste de los equipos sujetos a lubricación y optimizando los costos

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Proponer un modelo de evaluación de datos de aceite basado en el Estándar ASTM para optimizar los criterios de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea.

### **1.5.3. Objetivos Específicos**

- a. Establecer líneas base de aceite utilizado para el modelo de análisis de datos en equipos trackless en una mina subterránea en Junín.
- b. Establecer la metodología estadística de límites condenatorios basados en el estándar ASTM D-7720 para lograr el buen funcionamiento en cuanto a lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.
- c. Automatizar reportes de análisis de aceite para mejorar los tiempos de interpretación de resultados de aceite de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis General**

El modelo de evaluación de datos de aceite basado en Estándar ASTM, mejora los criterios de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

## 1.6.2. Hipótesis Específicas

- La estandarización de líneas base de aceite utilizados influye en el modelo de análisis de datos en equipos trackless en una mina subterránea en Junín.
- La metodología estadística de límites condenatorios basados en el estándar ASTM D-7720 mejora el sistema de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.
- La automatización de reportes mejora los tiempos de interpretación de análisis de aceite de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

## 1.7. Variables y Operacionalización de Variables

### 1.7.1. Operacionalización de Variables

Las variables se presentan a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| Variable                                                        | Definición conceptual                                                                                                                                   | Definición operacional                                                                                                                       | Dimensiones                                                                                                                                                                                                                                                         | Indicadores                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V.I.: Evaluación de datos basado en el estándar ASTM.           | Es la evaluación estadística de límites de advertencia y de alarma para análisis de aceite usado, para equipos móviles en elementos de salud y desgaste | Agrupamiento de componentes según marca y modelo a estandarizar para el sistema de lubricación de equipos trackless                          | Eliminación de muestras con valores atípicos.<br>Eliminación de muestras de equipos nuevos.<br>Aplicación de estándar ASTM.                                                                                                                                         | Índice de reportes de alarma / advertencia.<br>Estandarización de límites condenatorios                                                                     |
| V.D.: Mejora de criterios de lubricación de equipos track:less. | Conjuntos de componentes que permiten suministrar lubricantes a las partes móviles de una máquina para reducir el desgaste entre ellas.                 | Implementación de la automatización de reportes de análisis de lubricantes. Para visualizar los reportes se hace mediante el uso de Power Bi | Aplicación de método SA-CO-DE en la presentación visual del reporte.<br>Aplicación de métodos estadísticos de campana de Gauss-Jordan para establecer límites condenatorios.<br>Velocidad de respuesta de interpretación de resultados de análisis de aceite usado. | Tiempo de interpretación de resultados de aceite.<br>Tiempo de interpretación de resultados de aceite.<br>Tiempo de interpretación de resultados de aceite. |

## **1.8. Metodología de la investigación**

### **1.8.1. Unidades de análisis**

La unidad de análisis son los resultados de muestras de aceite usado de los equipos trackless de una mina subterránea en Junín.

### **1.8.2. Tipo, Enfoque y Nivel de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, porque se va a resolver un problema real mediante estándar internacionales, de enfoque cuantitativo porque se va a manejar información numérica, el nivel correlacional-explicativo, porque las variables están correlacionadas y va a explicar la causa efecto, ya que los criterios de lubricación se basan en una evaluación siguiendo el estándar ASTM.

### **1.8.3. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es cuasi experimental y transversal, dado que las muestras de análisis de aceites usados se analizarán en laboratorio externo.

### **1.8.4. Fuentes de la Información**

La información necesaria será tomada de:

Tesis de maestrías y de doctorados; artículos científicos relacionados; estándares internacionales ASTM D-7720, norma ISO 14830; data histórica de resultados de aceite; opinión de expertos.



#### **1.8.5. Población y Muestra**

Análisis de datos será de un año y se tomará en cuenta el periodo diciembre 2021- noviembre 2022, (2200 muestras censales aproximadamente).

#### **1.8.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Técnicas de recolección de información a tomar en cuenta será, descarga de resultados de análisis de datos Smart Lab, revisión documentaria.

#### **1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos**

La información que se recopile se procesará mediante softwares informáticos, tales como Word, Excel, PowerPoint, Power Bi, MiniTab, Power Query.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1. Bases Teóricas**

##### **2.1.1. Reportes de análisis de aceite**

Son los resultados cuantitativos y cualitativos de elementos minerales, degradación y contaminación que presenta una muestra de aceite. Dichos reportes se logran con equipos sofisticados logrando mucha exactitud en los resultados.

##### **2.1.2. Límites condenatorios**

Según Caterpillar (2013), los límites condenatorios son los límites publicados por los fabricantes que indican una situación crítica que requieren un cambio de aceite con las revisiones recomendadas en sus catálogos.

Sin embargo, en algunas ocasiones no se cuenta con límites publicados por los fabricantes, para ello se cuentan con herramientas estadísticas que permiten tener un aproximado para estos límites mediante historial de resultados, siguiendo el estándar ASTM D-7720 puede servir como una guía para establecer dichos límites.

##### **2.1.3. Mantenimiento**

Según la RAE es el conjunto y cuidados necesarios para que las instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

El mantenimiento, de acuerdo a las necesidades, se puede aplicar mediante distintas estrategias siguiendo sus objetivos y técnicas a disposición, por ejemplo: Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Basado en Condición (CBM), Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM). Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO) (Noria, 2023). Así mismo los tipos de mantenimiento son:

- a) Mantenimiento correctivo.** Es el mantenimiento que se realiza una vez ocurrido el fallo, también se le conoce como mantenimiento reactivo, por lo general es una falla inesperada de la máquina, que debe ser reparada o solucionada para reanudar el funcionamiento de la maquina o equipo. Este tipo de mantenimiento incurre en gastos iniciales menores y menor necesidad de personal en comparación a otros tipos de mantenimiento, sin embargo, aumentando la complejidad y criticidad de la máquina, deja de ser conveniente aplicar este tipo de mantenimiento. (Noria, 2023).
- b) Mantenimiento preventivo.** Según Noria (2023). Son las actividades programadas de reparación o cambio de componentes de una maquina siguiendo una calendarización preestablecida. Además, también indica que un 33% de las actividades de mantenimiento preventivo son efectuadas sin que fueran requeridas incurriendo en gastos en ocasiones innecesarios.
- c) Mantenimiento predictivo.** Es un mantenimiento periódico monitoreado mediante herramientas predictivas de los parámetros de operación de la maquinaria y equipos, preferentemente los catalogados como críticos, según sus tendencias, estableciendo límites aceptables, advertencia y detección temprana de posibles fallas para tomar acciones de mantenimiento. (Noria, 2023).
- d) Mantenimiento proactivo.** Es una nueva filosofía del mantenimiento moderno, la cual consiste en identificar la causa raíz de las fallas en las máquinas y con ello tratar de eliminar desde el inicio la eventual falla evitando que estas se conviertan en desgaste, entre las herramientas que utilizan se encuentran: Análisis de Modos de Fallas, efecto y criticidad (FMECA), Análisis de Causa Raiz de Fallo (RCFA). (Noria, 2023).

#### **2.1.4. Límites comúnmente aceptados**

Límites basados en lo que frecuentemente se ve, y que, si se sobrepasa, se estará entre los peores vistos. Estos límites permiten monitorear el funcionamiento y desempeño normal del aceite. (Caterpillar, 2013).

### 2.1.5. Mantenibilidad

Según Barón O. (2003), la mantenibilidad se define como la probabilidad de que el equipo que ha fallado pueda volver a estar en funcionamiento después de un tiempo determinado. Y lo representa bajo la siguiente formula:

$$TMDR = \frac{\sum TFS}{n} \dots \dots \dots (1)$$

Donde: TMDR: Tiempo medio de reparación.  
TFS: Tiempos fuera de servicio.  
n: Número de paradas.

### 2.1.6. Confiabilidad

Hace referencia a la probabilidad de un equipo/maquina pueda funcionar sin presentar fallas bajo las mismas circunstancias por las que fue diseñado. Ershun, P., Wenzhu, L., Lifeng X. (2012), manifiestan que las máquinas que tienen mayor uso y que son más antiguas, sufren un desgaste creciente debido a la degradación de los equipos y que por ende baja la confiabilidad de los mismos.

### 2.1.7. Disponibilidad

Se entiende como tiempo que un equipo/máquina opera sin problemas para el propósito de su diseño, dentro del periodo en el que planifico su producción. Barón O. (2003), lo expresa lo expresa en la siguiente ecuación.

$$D = \frac{\sum TOP}{\sum TOP + \sum TFS}$$

Donde:  
D: Disponibilidad.  
TFS: Tiempos fuera de servicio.  
TOP: Tiempos de operación

### 2.1.8. Tipos de desgaste

Según Tapia, E. (2023), el desgaste puede ocurrir mecánicamente o químicamente, y también se acelera con el aumento de calor en la fricción. Los estudios permiten catalogarlos por su origen, teniendo del tipo: abrasivos, adhesivo, fatiga, corrosivo, erosión y percusión. Siendo los de mayor porcentaje (2/3) los originados por desgaste adhesivo y abrasivo.

### 2.1.9. Análisis de lubricantes usados

Según Díaz, G. (2023), es un conjunto de métodos y medición de parámetros aplicadas al aceite usado en máquinas y equipos, que facilitan el control tanto del estado lubricante, como de los componentes de la máquina lubricada.

Para la parametrización se puede seguir distintas normativas y estándares entre las que destacan las *Organization for Standardization* (ISO) y las *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Además, también se hace mención a la metodología SACODE, que hace referencia a: Salud, Contaminación y Desgaste.

**Salud:** Aquellos parámetros relacionados al aceite en sí, como viscosidad, contenido de aditivos (P, Zn, Ca, Mg), oxidación, sulfatación, nitración, índice de viscosidad, TBN, etc.

**Contaminación:** Aquellos parámetros relacionados a agentes externos que contaminan el lubricante, tales como: partículas de polvo (Al, Si), presencia de agua, presencia de combustibles, contaminación por refrigerantes (B, Na), hollín etc.

**Desgaste:** Aquellos parámetros asociados a la fricción de componentes propios de la maquinaria. Entre las partículas de desgaste en los lubricantes, destacan: Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Estaño (Sn), Molibdeno (Mo).

### 2.1.10. Equipos trackless

Según Luque (2021), el sistema trackless hace referencia a equipos móviles en llantas (no orugas) de accionamientos mecánicos de bajo perfil, los cuales son diseñados para ser aplicados en minería subterránea.

Los equipos trackless cuentan en su mayoría accionamientos por motores de combustión interna además de un sistema hidráulico para mayor fuerza que se emplea para levantamiento de peso, realización de perforaciones y eventualmente traslados.

Estos equipos se diferencian según su utilidad, pudiendo ser equipos de perforación, equipos de carga, transporte, descarga, equipos de sostenimiento.

**Equipos de perforación:** Son los equipos compuestos por partes electrohidráulicos (jumbos) para este tipo, hay distintas presentaciones de marcas, modelos, dimensiones, la cual depende de sus aplicaciones. Estos equipos presentan dos motores, uno de combustión interna para su traslado y que también se le esta acoplada una bomba hidráulica para el movimiento de sus mandos y por otro lado motor eléctrico para el movimiento del talado para las acciones de perforación netamente. Ver figura 1

**Figura. 1**

*Equipo taladro largo*



*Fuente:* Imagen obtenida de la web.

**Equipos de carga, transporte y descarga (LHD):** Las iniciales LHD significan *load, haul, dump* son cargadores frontales de bajo perfil, comúnmente conocidos en minería subterránea como *scoop* o *scooptram* que normalmente se usan para la carga (dependiendo las distancias) y acarreo mediante cucharas (normalmente frontales). Ver figura 2 y 3.

**Figura. 2**

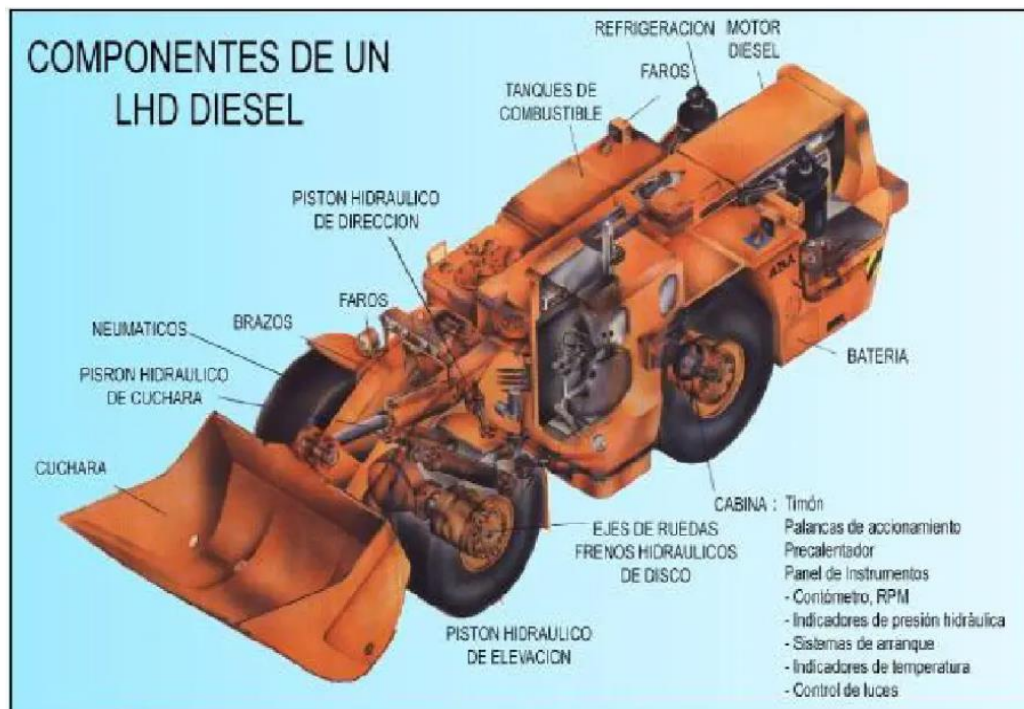
*Equipo dumper*



*Fuente: Imagen obtenida de la web.*

**Figura. 3**

*Equipos scoop*



*Fuente: Imagen obtenida de la web.*

**Equipos de sostenimiento:** Son equipos utilizados para brindar seguridad en la parte de interior mina utilizados para el desate de rocas llamados como *scaler*, dando solidez en paredes de socavón, estos equipos realizan perforaciones verticales en techo y piso pero también perforación horizontal en paredes lo cual lo vuelve muy versátil.

**Figura. 4**

*Equipos scaler*



*Fuente:* Imagen obtenida de la web.

#### **2.1.11. Componentes de un equipo trackless**

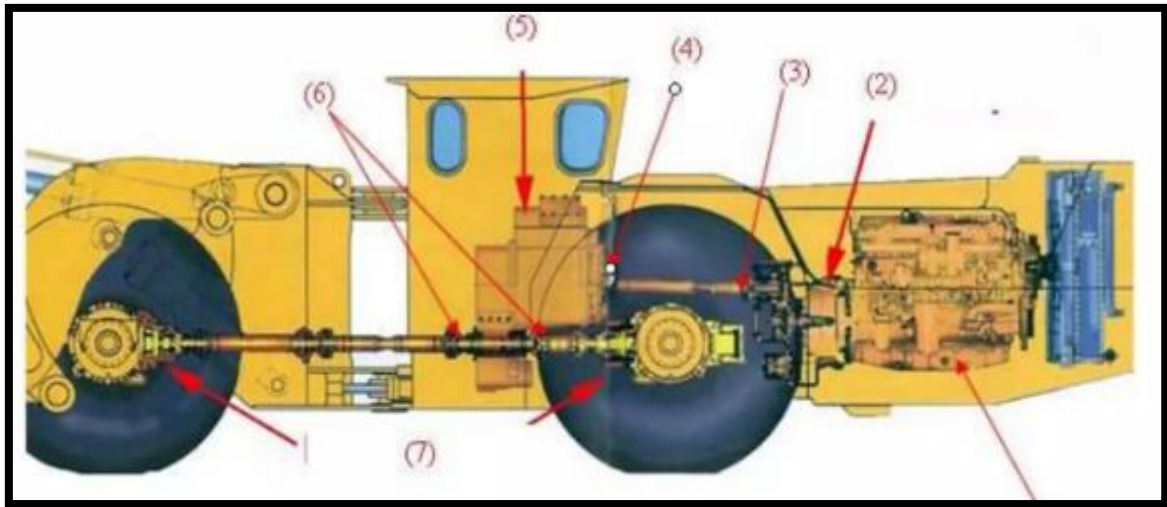
**Motor:** Es el componente que genera el movimiento mecánico (rotación) a partir de energía (en este caso combustible fósil) para ser distribuida a los distintos sistemas de una máquina.

**Transmisión:** La transmisión, está representada como la parte del tren de potencia de una maquina (en este caso equipo móvil) sin incluir al motor de combustión interna. También se le llama tren de impulsión.



**Figura. 5**

*Transmisión*

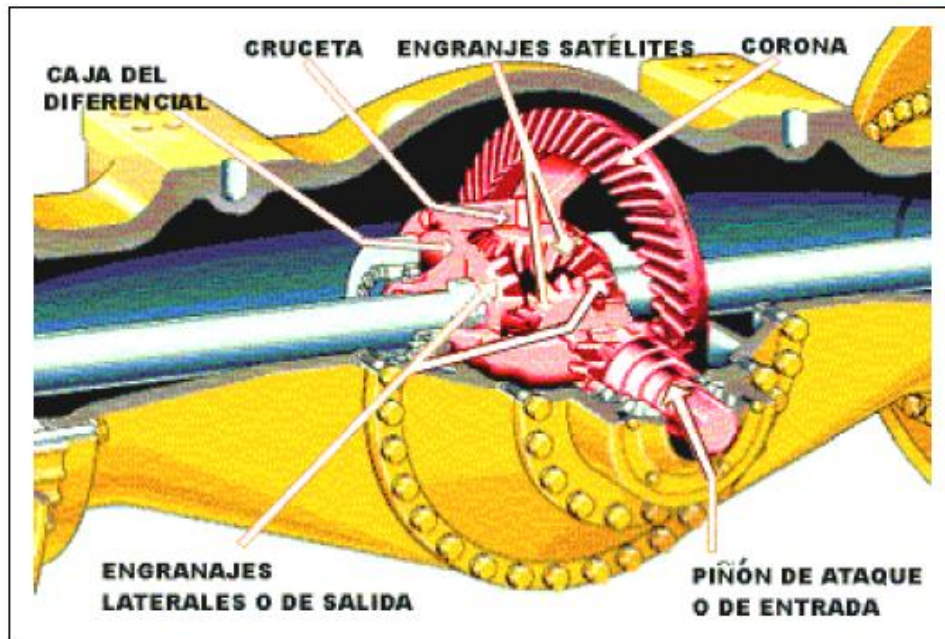


*Fuente:* Imagen obtenida de la web.

**Diferencial:** El diferencial proporciona potencia equilibrada a las ruedas y transfiere potencia a los mandos finales, reduciendo el desgaste de los componentes del tren de potencia. Los componentes principales se muestran en la figura 5. Luque (2021).

**Figura. 6**

*Diferencial*



*Fuente:* Figura rescatada de Luque (2021)

**Mandos finales:** Según CAT, los mandos finales cumplen un rol fundamental dentro del tren de impulsión de la máquina, ya que permiten transferir potencia a los neumáticos o las cadenas mientras se reduce la velocidad y se aumenta el par. El aumento de par más grande se produce en los engranajes.

**Figura. 7**

*Mandos finales*



*Fuente:* Imagen obtenida de CAT.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Estándar ASTM D7720**

Es una guía para la evaluación estadística de límites de advertencia y de alarma cuando se usa el análisis de aceite para monitorear el estado de equipo o máquina para determinar el estado físico y contaminación del aceite lubricante. (ASTM D-7720)

### **2.2.2 Aceite usado**

El aceite usado procedente de vehículos y maquinaria industrial es uno de los residuos más contaminantes que existen. Durante su utilización. En su normal uso, estos aceites se degradan dando origen a sustancias tóxicas y metales pesados que se originan por la exposición a altas temperaturas y presión propia de su uso en motores y demás componentes que se utilicen. (Sigaus).

### **2.2.3 Interpretación de reportes de análisis de aceite**

Es la declaración o dar sentido a los resultados que se obtienen en un reporte, contaminación abrasiva, desgaste excesivo, contaminación externa, falso positivo (mala toma de muestra).

### **2.2.4 Línea base de aceite**

Se entiende como línea base, a las características físicas y químicas propias de un aceite nuevo antes de su uso (aceite virgen), con ello se busca tener bajo que parámetros entra en trabajo el lubricante al equipo o maquinaria.

### **2.2.5 Límites condenatorios**

Son aquellos límites que superan los límites normales de elementos (físicos y químicos) presentes en un aceite pudiendo ser límites de advertencia o límites de alarma.

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Estandarización líneas base de aceite

La recopilación de los diferentes tipos de aceite que se utilizan en los equipos trackless de la mina subterránea dependiendo del componente a lubricar con aceite de la marca Mobil, a continuación, se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Categoría de equipos trackless y sus componentes*

| Equipo Trackless             | Componente          | Lubricante                 |
|------------------------------|---------------------|----------------------------|
| <b>Dumper</b>                | Mandos finales      | Mobilube HD 85w-140        |
|                              | Transmisión         | Mobiltrans HD 30           |
|                              | Motor               | Mobil Delvac MX ESP 15w-40 |
|                              | Hidráulico          | Mobil Nuto H 68            |
| <b>Scootram</b>              | Mandos finales      | Mobiltrans HD 50           |
|                              | Diferenciales       | Mobiltrans HD 50           |
|                              | Transmisión         | Mobiltrans HD 30           |
|                              | Motor               | Mobil Delvac MX ESP 15w-40 |
| <b>Scaler (desatadores)</b>  | Mandos finales      | Mobilube HD 80w-90         |
|                              | Diferencial         | Mobilube HD 80w-90         |
|                              | Transmisión         | Mobiltrans HD 30           |
|                              | Motor               | Mobil Delvac MX ESP 15w-40 |
| <b>Jumbo (taladro largo)</b> | Mandos finales      | Mobilube HD 80w-90         |
|                              | Diferencial         | Mobilube HD 80w-90         |
|                              | Caja de transmisión | Mobilube HD 80w-90         |
|                              | Motor               | Mobil Delvac MX ESP 15w-40 |
|                              | Compresor           | MMobil Rarus SHC 46        |

*Fuente:* Componentes de equipos trackless y que aceites se utilizan para su lubricación.

Con dichos datos se puede establecer línea base de aceites utilizados por los equipos trackless, los cuales se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Aceites utilizados por equipos trackless*

| Marca        | Nomenclatura               |
|--------------|----------------------------|
| <b>Mobil</b> | Mobilube HD 85w-140        |
|              | Mobiltrans HD 30           |
|              | Mobiltrans HD 50           |
|              | Mobil delvac MX ESP 15w-40 |
|              | Mobil Nuto H 68            |
|              | Mobil Rarus SHC 46         |
|              | Mobilube HD 80w-90         |

*Fuente:* Resumen de lubricantes aceites utilizados por los equipos trackless

Los resultados de análisis de aceites vírgenes para establecer la línea base, se presentan en los anexos A, B, C, D, E, F y G. Dichos resultados, indican la composición de aditivos de los lubricantes.

### **3.2. Metodología estadística de límites condenatorios**

Los criterios específicos para establecer límites condenatorios en aceites de equipos móviles en este caso de equipos trackless se indican en el Estándar ASTM D7720. Estos criterios son a partir de datos recopilados de aceite en servicio, es decir, aceite ya usado. Estos límites condenatorios o de alarma, normalmente se utilizan para el monitoreo de condiciones, que se pueden relacionar a distintos estados del equipo móvil, podría tratarse de desgaste de la maquinaria, calidad del aceite, contaminación del sistema de lubricación del equipo entre otros.

### 3.2.1. Límites condenatorios establecidos por los fabricantes

Algunos fabricantes de equipos móviles recomiendan valores como: “normales”, “anormales” o “alarma” a continuación se muestra un ejemplo

**Figura. 8**

*Límites condenatorios del fabricante Caterpillar*

| <b>Tabla 2</b>                  | <b>Normal</b> | <b>Anormal</b> | <b>Critico</b> |
|---------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Fe Hierro (Iron)                | <100 ppm      | 100 a 200 ppm  | >200 ppm       |
| Pb Plomo (Lead)                 | <30 ppm       | 30 a 75 ppm    | >75 ppm        |
| Cu Cobre (Copper)               | <30 ppm       | 30 a 75 ppm    | >75 ppm        |
| CR Cromo (Chromium)             | <10 ppm       | 10 a 25 ppm    | >25 ppm        |
| Al Aluminio (Aluminum)          | <20 ppm       | 20 a 30 ppm    | >30 ppm        |
| Ni Níquel (Nickel)              | <10 ppm       | 10 a 20 ppm    | >20 ppm        |
| Ag Plata (Silver)               | <3 ppm        | 3 a 15 ppm     | >15 ppm        |
| Sn Estaño (Tin)                 | <20 ppm       | 20 a 30 ppm    | >30 ppm        |
| Na Sodio (Sodium)               | <50 ppm       | 50 a 200 ppm   | >200 ppm       |
| Si Silicio (Silicon)            | <20 ppm       | 20 a 50 ppm    | >50 ppm        |
| Dilución por combustible (Fuel) | <2%           | 2 a 6%         | >6%            |
| Hollin (Soot)                   | <2%           | 2 a 6%         | >6%            |

*Fuente: (Caterpillar, 2014)*

Cabe recalcar, que este estándar no reemplaza los límites que establece un fabricante, pues los límites que recomiendan son validados por el mismo fabricante. Sin embargo, en algunos casos, no se cuenta con la bibliografía de los límites que recomiendan los fabricantes y es en estos casos se establecen los límites con métodos estadísticos.

### 3.2.2. Límites condenatorios por método estadístico

En este desarrollo, se toma en cuenta los datos que forman una distribución de apariencia de curva de una campana (de Gauss). Además, este método estadístico debe realizarse periódicamente con la intención de actualizar los límites de acuerdo a los datos

históricos disponibles y que surgen con el tiempo. Para la identificación de los valores representativos se deben tener en cuenta los siguientes criterios.

- Para la distribución normal, se debe tener precaución si la data que presenta menos de 30 análisis, pues la calidad de los límites que se establecen es mejor con grandes poblaciones de análisis, sin embargo, los análisis que se establecen para la determinación estadística debe ser representativa de la población de equipos.
- La población de análisis de aceite debe ser agrupada de acuerdo a los equipos (dumper, jumbo, scaler, scoop) y de componentes (mandos finales, motores, transmisión, etc.) con un entorno de operación similar, mismo ciclo de trabajo (periodo de cambio de aceite), mismo tipo de aceite, al tener estas consideraciones se puede decir que el equipo es parte de la misma población independientemente de su tiempo de operación. Cabe recalcar que se excluyen en esta población aquellos equipos nuevos que se encuentran en etapas de asentamiento.
- El circuito de trabajo del aceite debe ser en circuito cerrado, por el cual las condiciones de medición solo se ven afectadas por mantenimiento propio o por el inicio de un modo de falla. Con lo cual se excluyen las muestras que presenten contaminación evidente externa del sistema, por ejemplo, presencia excesiva de agua, tierra, polvo, combustible, etc. En la figura 10 se presenta un caso de presencia de agua en el análisis de aceite.

**Figura 9**

*Análisis de aceite muestra presencia de agua.*

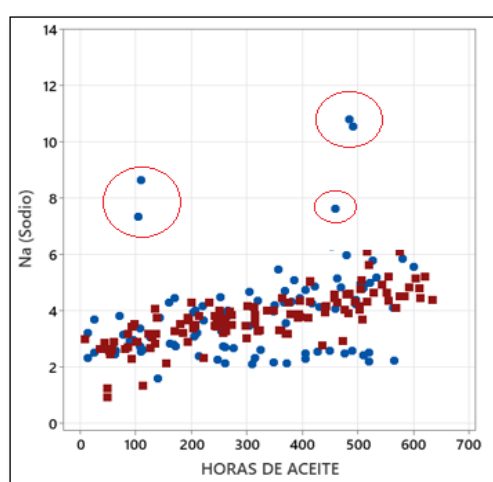
|                                  | Estado del Reporte             | Normal          | Precaución      | Normal          | Precaución      | Precaución      |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                  |                                | A002793797      | A003856800      | A003651487      | A004290230      | A004576349      |
| Datos y Resultados de la muestra | ID de la muestra               | Standard Plus   | Standard Plus   | Standard Plus   | Premium         | Premium         |
|                                  | Nivel de servicio              | 00229002        | 00244408        | 00260260        | 00273020        | 00288294        |
|                                  | Identificación de la botella   | MOBIL SHC RARUS | MOBIL SHC RARUS | MOBIL SHC RARUS | MOBIL SHC RARUS | MOBIL SHC RARUS |
|                                  | Lubricante utilizado           | 46              | 46              | 46              | 46              | 46              |
|                                  | Fecha de muestreo              |                 |                 |                 |                 |                 |
|                                  | Fecha de reporte               |                 |                 |                 |                 |                 |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               | 2869            | 3046            | 3255            | 3419            | 3545            |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               | 134             | 174             | 209             | 163             | 136             |
|                                  | Volumen de Relleno             |                 |                 |                 |                 |                 |
|                                  | Cambio de Aceite               | Sí              | Sí              | Sí              | Sí              | Sí              |
| Lubricante                       | Cambio de Filtro               | Sí              | Sí              | Sí              | Sí              | Sí              |
|                                  | Comentarios de muestra         | PM1             | PM2             |                 |                 |                 |
|                                  | Clasificación de Contaminación | Normal          | Normal          | Normal          | Precaución      | Precaución      |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal          | Normal          | Normal          | Normal          | Normal          |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal          | Precaución      | Normal          | Normal          | Normal          |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado    | No detectado    | No detectado    | Detectado       | Detectado       |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          | -               | -               | -               | 1/15/22         | -               |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    | -               | -               | -               | 341118          | -               |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    | -               | -               | -               | 185380          | -               |
|                                  |                                |                 |                 |                 |                 |                 |

Fuente: SmartLab

d) Los análisis de aceite que se tomaran en cuenta para establecer los límites condenatorios, deben satisfacer una distribución normal según la estadística de Anderson-Darling u otra distribución estadística similar, este paso es importante, ya que no se debe tomar en cuenta los análisis que presenten valores atípicos, falsos positivos o falsos negativos. En la figura 11 se puede apreciar un valor atípico, el cual no debe considerarse en el establecimiento de límites condenatorios.

**Figura. 10**

Valor atípico detectado



Una vez definidos los criterios para la selección correcta de los análisis de aceites a considerarse en la aplicación del método estadístico como muestras representativas, se procede a realizar la técnica SA-CO-DE (salud, contaminación, desgaste), además también se considera la clasificación de “aditivos”, pero no será considerado para estudios estadístico, pues es la naturaleza del aceite lubricante nuevo, a continuación, se muestra en la tabla 4 la clasificación de algunos elementos relacionados a cada apartado.



**Tabla 4***Clasificación de elementos para interpretación de análisis de aceite*

| <b>SALUD</b> | <b>CONTAMINACION</b> | <b>DESGASTE</b> | <b>ADITIVOS</b> |
|--------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Viscosidad   | Manganeso            | Cobre           | Boro            |
| Oxidación    | Potasio              | Hierro          | Bario           |
| Nitración    | Sodio                | Plomo           | Calcio          |
| TBN          | Silicio              | Aluminio        | Magnesio        |
| TAN          | Hollín               | Estaño          | Azufre          |
|              |                      | Cromo           | Zinc            |
|              |                      | Indice PQ       | Molibdeno       |
|              |                      | Níquel          | Fósforo         |
|              |                      | Plata           |                 |

*Fuente:* Aplicación de técnica SA-CO-DE y aditivos. Fuente: Noria

### **3.3. Automatización de reportes de análisis de aceites**

En este apartado se toma en cuenta la reportabilidad de los análisis de aceite clasificados como alarmantes, es decir desde que exceder los límites condenatorios previamente establecidos. Con esta automatización se logró dar mayor atención e interpretación de resultados de análisis con posible falla temprana o alarmante y dejar sin atención a los equipos que están dentro del rango normal de funcionamiento según los resultados arrojados por el laboratorio de lubricantes de marca Mobil.

Para esta automatización se utilizó el software Power Bi de versión gratuita junto los reportes masivos generados por el laboratorio Smart Lab, a ello se sumó la programación y los enlaces necesarios para la creación reportes automatizados.

Con la programación en PowerBi, se separan en distintos apartados de visualización que son:

**Hot Sheet (hoja caliente)**, que contiene la condición actual de los equipos analizados. En sección se puede detectar rápidamente que equipo presenta una condición de alarma y que componente en cuestión, para luego revisarlo más a detalle. En la figura 12, se puede visualizar el contenido.

**Figura. 11**

*Pantalla Hot Sheet*

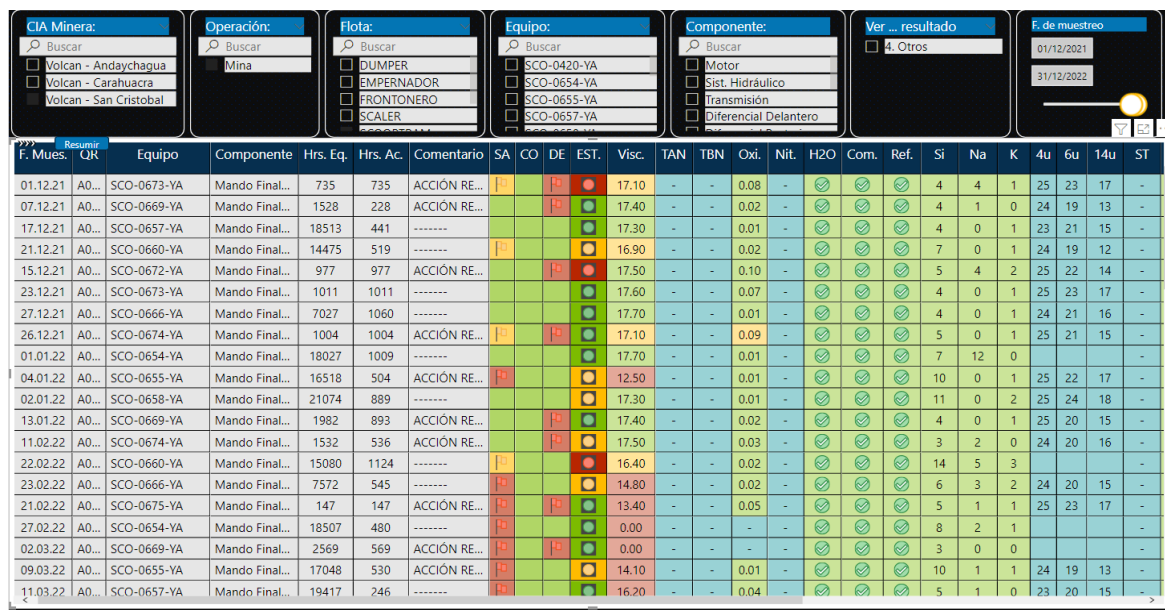
|             | Syst. Hidráulico | Transmisión | Transmisión Angular | Diferencial Delantero | Diferencial Posterior | Mando Final Derecho | Mando Final Izquierdo |
|-------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| SCO-0660-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0661-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     | Norm                  |
| SCO-0662-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0663-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0664-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0665-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0666-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0667-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0668-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0669-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0670-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |
| SCO-0671-YA | Norm.JNIN        | Norm.JNIN   |                     | Norm.JNIN             | Norm.JNIN             |                     |                       |

*Fuente:* Se visualiza los equipos con normal (verde), advertencia (amarillo) y alarma (rojo).

**Criticidad**, que contiene el detalle general en forma de tablas de cada parámetro de análisis de aceite, en él se puede apreciar los parámetros analizados y los resultados del análisis de aceite, en la figura 12 se muestra.

**Figura. 12**

*Pantalla de criticidad*



*Fuente:* Se visualiza los resultados de análisis de aceite parametrizados.

**Tendencias generales**, que contiene el desglose general de parámetros analizados por el laboratorio. Se puede visualizar en la figura 13.

**Figura. 13**

*Tendencia general con técnica SA-CO-DE*

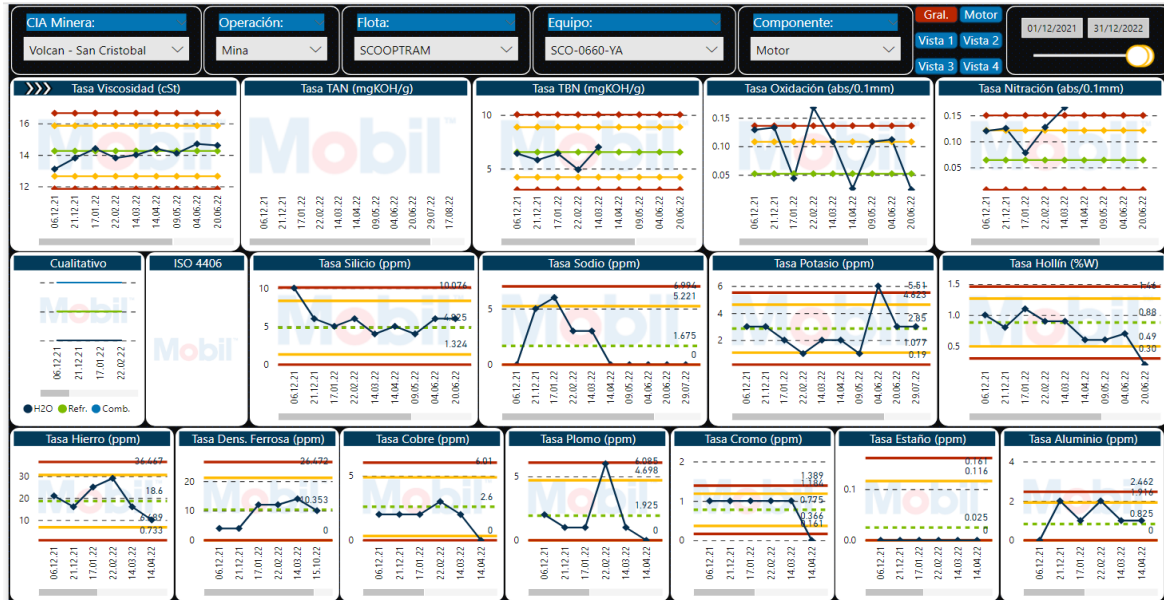


*Fuente:* Se visualiza la tendencia / comportamiento del equipo mediante resultados del análisis de aceite.

En la figura 14 se muestran los límites de tendencia condenatoria

**Figura 14**

*Tendencias con límites condenatorios*

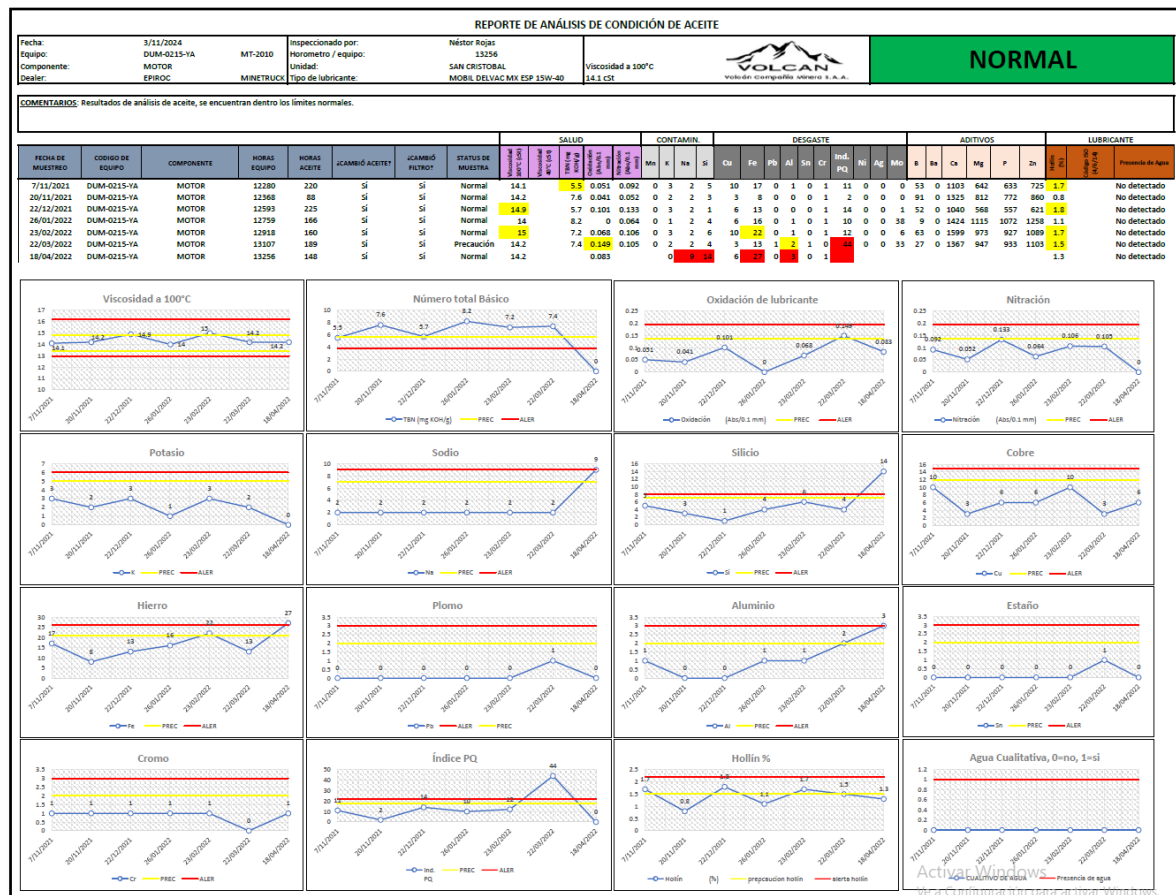


Fuente: Se visualiza de manera individual los parámetros analizados.

Finalmente, una vez que con la programación se detectan los resultados con estado de alarma, se procede a realizar el reporte y elevarse al área de confiabilidad para el que tomen acción correspondiente según la criticidad del equipo. En la figura 17, se puede visualizar un ejemplo de reporte.

**Figura. 15**

*Reporte final al área de confiabilidad*



Fuente: Se visualiza reporte final del área de confiabilidad

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS, CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Resultados de la investigación

La aplicación del estándar ASTM D-7720 demuestra es posible obtener límites condenatorios con la cantidad de datos históricos con la que cuenta la mina subterránea en Junín, para ello, en la tabla 5 se indican los modelos analizados.

**Tabla 5**

*Modelos de equipos trackless analizados*

| Equipos trackless | Modelo     |
|-------------------|------------|
| Dumper            | MT 2010    |
|                   | ST1030     |
| Scoop tram        | R1300G     |
|                   | R1600H     |
| Scaler            | 853 s8     |
|                   | Boltec S   |
| Jumbos            | Boomer S1D |
|                   | DD 311     |
|                   | Simba S7   |

Los límites condenatorios para el equipo trackless dumper modelo MT 2010, se presentan a continuación en las siguientes tablas 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 6***Límites del modelo MT 2010 de componente motor.*

| <b>Modelo MT 2010 – Motor</b> |                 |                        |                    |
|-------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>               | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                 | Silicio         | 7                      | 8                  |
|                               | Sodio           | 7                      | 9                  |
|                               | Potasio         | 5                      | 6                  |
| Desgaste                      | Hierro          | 21                     | 26                 |
|                               | Índice PQ       | 18                     | 22                 |
|                               | Cobre           | 12                     | 15                 |
|                               | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                               | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                               | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                               | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 7***Límites del modelo MT 2010 de componente hidráulico.*

| <b>Modelo MT 2010 – Hidráulico</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                    | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                      | Silicio         | 10                     | 11                 |
|                                    | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                                    | Potasio         | 4                      | 5                  |
| Desgaste                           | Hierro          | 19                     | 23                 |
|                                    | Índice PQ       | 126                    | 174                |
|                                    | Cobre           | 8                      | 10                 |
|                                    | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                    | Cromo           | 4                      | 5                  |
|                                    | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                    | Aluminio        | 6                      | 7                  |

**Tabla 8***Límites del modelo MT 2010 de componente Transmisión*

| <b>Modelo MT 2010 – Transmisión</b> |                 |                        |                    |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                     | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                       | Silicio         | 8                      | 9                  |
|                                     | Sodio           | 7                      | 9                  |
|                                     | Potasio         | 5                      | 6                  |
| Desgaste                            | Hierro          | 19                     | 23                 |
|                                     | Índice PQ       | 35                     | 46                 |
|                                     | Cobre           | 36                     | 45                 |
|                                     | Plomo           | 21                     | 26                 |
|                                     | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                     | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                     | Aluminio        | 3                      | 4                  |

**Tabla 9***Límites del modelo MT 2010 de componente mandos delanteros*

| <b>Modelo MT 2010 – Mandos finales delanteros</b> |                 |                        |                    |
|---------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                   | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                     | Silicio         | 7                      | 9                  |
|                                                   | Sodio           | 2                      | 3                  |
|                                                   | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                                          | Hierro          | 150                    | 250                |
|                                                   | Índice PQ       | 1202                   | 1705               |
|                                                   | Cobre           | 15                     | 20                 |
|                                                   | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                   | Cromo           | 6                      | 8                  |
|                                                   | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                   | Aluminio        | 2                      | 3                  |



**Tabla 10***Límites del modelo MT 2010 de componente mandos traseros*

| <b>Modelo MT 2010 – Mandos finales traseros</b> |                 |                        |                    |
|-------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                 | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                   | Silicio         | 7                      | 8                  |
|                                                 | Sodio           | 3                      | 4                  |
|                                                 | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                                        | Hierro          | 150                    | 250                |
|                                                 | Índice PQ       | 41                     | 51                 |
|                                                 | Cobre           | 15                     | 20                 |
|                                                 | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                 | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                                 | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                 | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 11***Límites del modelo MT 2010 de componente diferencial delantero*

| <b>Modelo MT 2010 – Diferencial delantero</b> |                 |                        |                    |
|-----------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                               | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                 | Silicio         | 9                      | 10                 |
|                                               | Sodio           | 3                      | 4                  |
|                                               | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                                      | Hierro          | 150                    | 250                |
|                                               | Índice PQ       | 142                    | 192                |
|                                               | Cobre           | 15                     | 20                 |
|                                               | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                               | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                               | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                               | Aluminio        | 3                      | 4                  |

**Tabla 12**

*Límites del modelo MT 2010 de componente diferencial trasero.*

| Modelo MT 2010 – Diferencial trasero |           |              |          |
|--------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                             | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                        | Silicio   | 7            | 8        |
|                                      | Sodio     | 2            | 3        |
|                                      | Potasio   | 2            | 3        |
| Desgaste                             | Hierro    | 150          | 250      |
|                                      | Índice PQ | 50           | 63       |
|                                      | Cobre     | 15           | 20       |
|                                      | Plomo     | 2            | 3        |
|                                      | Cromo     | 2            | 3        |
|                                      | Estaño    | 2            | 3        |
|                                      | Aluminio  | 3            | 4        |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Scoop modelo ST1030, se presentan a continuación en las siguientes tablas 13, 14, 15, 16, 17 y 18 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 13**

*Límites del modelo ST 1030 de componente motor.*

| Modelo ST 1030 – Motor |           |              |          |
|------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE               | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación          | Silicio   | 10           | 12       |
|                        | Sodio     | 5            | 7        |
|                        | Potasio   | 5            | 7        |
| Desgaste               | Hierro    | 9            | 11       |
|                        | Índice PQ | 6            | 9        |
|                        | Cobre     | 2            | 3        |
|                        | Plomo     | 2            | 3        |
|                        | Cromo     | 2            | 3        |
|                        | Estaño    | 1            | 2        |
|                        | Aluminio  | 4            | 5        |

**Tabla 14***Límites del modelo ST 1030 de componente transmisión*

| <b>Modelo ST 1030 – Transmisión</b> |                 |                        |                    |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                     | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                       | Silicio         | 4                      | 5                  |
|                                     | Sodio           | 5                      | 7                  |
|                                     | Potasio         | 5                      | 7                  |
| Desgaste                            | Hierro          | 76                     | 99                 |
|                                     | Índice PQ       | 97                     | 121                |
|                                     | Cobre           | 31                     | 41                 |
|                                     | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                     | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                     | Estaño          | 1                      | 2                  |
|                                     | Aluminio        | 1                      | 2                  |

**Tabla 15***Límites del modelo ST 1030 de componente diferencial delantero*

| <b>Modelo ST 1030 – diferencial delantero</b> |                 |                        |                    |
|-----------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                               | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                 | Silicio         | 10                     | 12                 |
|                                               | Sodio           | 5                      | 7                  |
|                                               | Potasio         | 5                      | 7                  |
| Desgaste                                      | Hierro          | 171                    | 191                |
|                                               | Índice PQ       | 21                     | 27                 |
|                                               | Cobre           | 1                      | 2                  |
|                                               | Plomo           | 3                      | 4                  |
|                                               | Cromo           | 1                      | 2                  |
|                                               | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                               | Aluminio        | 3                      | 4                  |

**Tabla 16***Límites del modelo ST 1030 de componente diferencial trasero*

| Modelo ST 1030 – diferencial trasero |           |              |          |
|--------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                             | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                        | Silicio   | 10           | 12       |
|                                      | Sodio     | 5            | 7        |
|                                      | Potasio   | 5            | 7        |
| Desgaste                             | Hierro    | 178          | 198      |
|                                      | Índice PQ | 67           | 86       |
|                                      | Cobre     | 1            | 2        |
|                                      | Plomo     | 1            | 2        |
|                                      | Cromo     | 3            | 4        |
|                                      | Estaño    | 1            | 2        |
|                                      | Aluminio  | 3            | 4        |

**Tabla 17***Límites del modelo ST 1030 de componente mandos delanteros*

| Modelo ST 1030 – mandos finales delanteros |           |              |          |
|--------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                   | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                              | Silicio   | 16           | 18       |
|                                            | Sodio     | 5            | 7        |
|                                            | Potasio   | 5            | 7        |
| Desgaste                                   | Hierro    | 398          | 416      |
|                                            | Índice PQ | 74           | 76       |
|                                            | Cobre     | 201          | 220      |
|                                            | Plomo     | 1            | 2        |
|                                            | Cromo     | 4            | 5        |
|                                            | Estaño    | 1            | 2        |
|                                            | Aluminio  | 4            | 5        |

**Tabla 18***Límites del modelo ST 1030 de componente mandos traseros*

| <b>Modelo ST 1030 – mandos finales traseros</b> |                 |                        |                    |
|-------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                 | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                   | Silicio         | 6                      | 7                  |
|                                                 | Sodio           | 5                      | 7                  |
|                                                 | Potasio         | 5                      | 7                  |
| Desgaste                                        | Hierro          | 266                    | 302                |
|                                                 | Índice PQ       | 52                     | 55                 |
|                                                 | Cobre           | 16                     | 19                 |
|                                                 | Plomo           | 1                      | 2                  |
|                                                 | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                                 | Estaño          | 1                      | 2                  |
|                                                 | Aluminio        | 2                      | 3                  |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Scoop modelo R1300G, se presentan a continuación en las siguientes tablas 19, 20, 21, 22, 23 y 24 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 19***Límites del modelo R1300G de componente motor*

| <b>Modelo R1300G – Motor</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>              | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                | Silicio         | 12                     | 15                 |
|                              | Sodio           | 4                      | 7                  |
|                              | Potasio         | 4                      | 7                  |
| Desgaste                     | Hierro          | 45                     | 56                 |
|                              | Índice PQ       | 21                     | 26                 |
|                              | Cobre           | 3                      | 4                  |
|                              | Plomo           | 5                      | 6                  |
|                              | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                              | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                              | Aluminio        | 5                      | 6                  |

**Tabla 20***Límites del modelo R1300G de componente transmisión*

| Modelo R1300G – Transmisión |           |              |          |
|-----------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                    | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación               | Silicio   | 18           | 22       |
|                             | Sodio     | 4            | 5        |
|                             | Potasio   | 2            | 3        |
| Desgaste                    | Hierro    | 24           | 32       |
|                             | Índice PQ | 27           | 34       |
|                             | Cobre     | 7            | 8        |
|                             | Plomo     | 4            | 5        |
|                             | Cromo     | 3            | 4        |
|                             | Estaño    | 3            | 4        |
|                             | Aluminio  | 6            | 7        |

**Tabla 21***Límites del modelo R1300G de componente diferencial delantero*

| Modelo R1300G – diferencial delantero |           |              |          |
|---------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                              | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                         | Silicio   | 12           | 14       |
|                                       | Sodio     | 5            | 6        |
|                                       | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                              | Hierro    | 46           | 57       |
|                                       | Índice PQ | 36           | 46       |
|                                       | Cobre     | 108          | 142      |
|                                       | Plomo     | 8            | 9        |
|                                       | Cromo     | 3            | 4        |
|                                       | Estaño    | 5            | 6        |
|                                       | Aluminio  | 5            | 6        |

**Tabla 22***Límites del modelo R1300G de componente diferencial trasero*

| Modelo R1300G – diferencial trasero |           |              |          |
|-------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                            | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                       | Silicio   | 12           | 14       |
|                                     | Sodio     | 5            | 6        |
|                                     | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                            | Hierro    | 46           | 57       |
|                                     | Índice PQ | 36           | 46       |
|                                     | Cobre     | 108          | 142      |
|                                     | Plomo     | 8            | 9        |
|                                     | Cromo     | 3            | 4        |
|                                     | Estaño    | 5            | 6        |
|                                     | Aluminio  | 5            | 6        |

**Tabla 23***Límites del modelo R1300G de componente mandos delanteros*

| Modelo R1300G – mandos finales delanteros |           |              |          |
|-------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                             | Silicio   | 13           | 14       |
|                                           | Sodio     | 5            | 6        |
|                                           | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                                  | Hierro    | 43           | 52       |
|                                           | Índice PQ | 37           | 46       |
|                                           | Cobre     | 101          | 133      |
|                                           | Plomo     | 8            | 9        |
|                                           | Cromo     | 3            | 4        |
|                                           | Estaño    | 5            | 6        |
|                                           | Aluminio  | 5            | 6        |

**Tabla 24***Límites del modelo R1300G de componente mandos traseros*

| Modelo R1300G – mandos finales delanteros |           |              |          |
|-------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                             | Silicio   | 12           | 14       |
|                                           | Sodio     | 5            | 6        |
|                                           | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                                  | Hierro    | 39           | 47       |
|                                           | Índice PQ | 99           | 138      |
|                                           | Cobre     | 33           | 45       |
|                                           | Plomo     | 3            | 4        |
|                                           | Cromo     | 3            | 4        |
|                                           | Estaño    | 3            | 4        |
|                                           | Aluminio  | 3            | 4        |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Scoop modelo R1600H, se presentan a continuación en las siguientes tablas 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 25***Límites del modelo R1600H de componente motor*

| Modelo R1600H – motor |           |              |          |
|-----------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE              | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación         | Silicio   | 12           | 13       |
|                       | Sodio     | 6            | 8        |
|                       | Potasio   | 5            | 6        |
| Desgaste              | Hierro    | 32           | 38       |
|                       | Índice PQ | 21           | 26       |
|                       | Cobre     | 28           | 35       |
|                       | Plomo     | 3            | 4        |
|                       | Cromo     | 3            | 4        |
|                       | Estaño    | 3            | 4        |
|                       | Aluminio  | 4            | 5        |



**Tabla 26***Límites del modelo R1600H de componente transmisión*

| <b>Modelo R1600H – Transmisión</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                    | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                      | Silicio         | 8                      | 9                  |
|                                    | Sodio           | 6                      | 8                  |
|                                    | Potasio         | 3                      | 4                  |
| Desgaste                           | Hierro          | 20                     | 23                 |
|                                    | Índice PQ       | 27                     | 34                 |
|                                    | Cobre           | 20                     | 23                 |
|                                    | Plomo           | 4                      | 5                  |
|                                    | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                    | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                                    | Aluminio        | 3                      | 4                  |

**Tabla 27***Límites del modelo R1600H de componente diferencial delantero*

| <b>Modelo R1600H – diferencial delantero</b> |                 |                        |                    |
|----------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                              | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                | Silicio         | 12                     | 14                 |
|                                              | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                                              | Potasio         | 3                      | 4                  |
| Desgaste                                     | Hierro          | 46                     | 57                 |
|                                              | Índice PQ       | 36                     | 46                 |
|                                              | Cobre           | 108                    | 142                |
|                                              | Plomo           | 8                      | 9                  |
|                                              | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                              | Estaño          | 5                      | 6                  |
|                                              | Aluminio        | 5                      | 6                  |

**Tabla 28***Límites del modelo R1600H de componente diferencial trasero*

| Modelo R1600H – diferencial delantero |           |              |          |
|---------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                              | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                         | Silicio   | 12           | 14       |
|                                       | Sodio     | 5            | 6        |
|                                       | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                              | Hierro    | 41           | 51       |
|                                       | Índice PQ | 38           | 49       |
|                                       | Cobre     | 32           | 43       |
|                                       | Plomo     | 3            | 4        |
|                                       | Cromo     | 3            | 4        |
|                                       | Estaño    | 3            | 4        |
|                                       | Aluminio  | 3            | 4        |

**Tabla 29***Límites del modelo R1600H de componente mandos delanteros*

| Modelo R1600H – mandos finales delanteros |           |              |          |
|-------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                             | Silicio   | 13           | 14       |
|                                           | Sodio     | 5            | 6        |
|                                           | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                                  | Hierro    | 43           | 52       |
|                                           | Índice PQ | 37           | 46       |
|                                           | Cobre     | 101          | 133      |
|                                           | Plomo     | 8            | 9        |
|                                           | Cromo     | 3            | 4        |
|                                           | Estaño    | 5            | 6        |
|                                           | Aluminio  | 5            | 6        |

**Tabla 30***Límites del modelo R1600H de componente mandos traseros*

| <b>Modelo R1600H – mandos finales traseros</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                  | Silicio         | 12                     | 14                 |
|                                                | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                                                | Potasio         | 3                      | 4                  |
| Desgaste                                       | Hierro          | 39                     | 47                 |
|                                                | Índice PQ       | 99                     | 138                |
|                                                | Cobre           | 33                     | 45                 |
|                                                | Plomo           | 3                      | 4                  |
|                                                | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                                | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                                                | Aluminio        | 3                      | 4                  |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Scaler modelo 853 s8, se presentan a continuación en las siguientes tablas 31, 32, 33, 34, 35 y 36 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 31***Límites del modelo 853 s8 de componente motor*

| <b>Modelo 583 s8 – motor</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>              | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                | Silicio         | 16                     | 20                 |
|                              | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                              | Potasio         | 6                      | 7                  |
| Desgaste                     | Hierro          | 58                     | 74                 |
|                              | Índice PQ       | 21                     | 25                 |
|                              | Cobre           | 9                      | 12                 |
|                              | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                              | Cromo           | 4                      | 5                  |
|                              | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                              | Aluminio        | 7                      | 9                  |

**Tabla 32***Límites del modelo 853 s8 de componente transmisión*

| Modelo 583 s8 – transmisión |           |              |          |
|-----------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                    | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación               | Silicio   | 31           | 41       |
|                             | Sodio     | 3            | 4        |
|                             | Potasio   | 6            | 8        |
| Desgaste                    | Hierro    | 64           | 86       |
|                             | Índice PQ | 31           | 38       |
|                             | Cobre     | 3            | 4        |
|                             | Plomo     | 2            | 3        |
|                             | Cromo     | 2            | 3        |
|                             | Estaño    | 2            | 3        |
|                             | Aluminio  | 12           | 15       |

**Tabla 33***Límites del modelo 853 s8 de componente diferencial delantero*

| Modelo 583 s8 – diferencial delantero |           |              |          |
|---------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                              | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                         | Silicio   | 25           | 32       |
|                                       | Sodio     | 6            | 8        |
|                                       | Potasio   | 5            | 6        |
| Desgaste                              | Hierro    | 300          | 400      |
|                                       | Índice PQ | 44           | 56       |
|                                       | Cobre     | 3            | 4        |
|                                       | Plomo     | 3            | 4        |
|                                       | Cromo     | 3            | 4        |
|                                       | Estaño    | 2            | 3        |
|                                       | Aluminio  | 8            | 10       |

**Tabla 34***Límites del modelo 853 s8 de componente diferencial trasero*

| <b>Modelo 583 s8 – diferencial trasero</b> |                 |                        |                    |
|--------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                            | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                              | Silicio         | 286                    | 376                |
|                                            | Sodio           | 9                      | 12                 |
|                                            | Potasio         | 13                     | 16                 |
| Desgaste                                   | Hierro          | 300                    | 400                |
|                                            | Índice PQ       | 976                    | 1376               |
|                                            | Cobre           | 3                      | 4                  |
|                                            | Plomo           | 3                      | 4                  |
|                                            | Cromo           | 4                      | 5                  |
|                                            | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                                            | Aluminio        | 34                     | 45                 |

**Tabla 35***Límites del modelo 853 s8 de componente mandos delanteros*

| <b>Modelo 583 s8 – mandos finales delanteros</b> |                 |                        |                    |
|--------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                  | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                    | Silicio         | 227                    | 296                |
|                                                  | Sodio           | 9                      | 11                 |
|                                                  | Potasio         | 25                     | 33                 |
| Desgaste                                         | Hierro          | 400                    | 500                |
|                                                  | Índice PQ       | 600                    | 700                |
|                                                  | Cobre           | 3                      | 4                  |
|                                                  | Plomo           | 6                      | 8                  |
|                                                  | Cromo           | 8                      | 10                 |
|                                                  | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                  | Aluminio        | 67                     | 89                 |

**Tabla 36***Límites del modelo 853 s8 de componente mandos traseros*

| <b>Modelo 583 s8 – mandos finales traseros</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                  | Silicio         | 138                    | 180                |
|                                                | Sodio           | 7                      | 10                 |
|                                                | Potasio         | 15                     | 20                 |
| Desgaste                                       | Hierro          | 400                    | 500                |
|                                                | Índice PQ       | 600                    | 700                |
|                                                | Cobre           | 34                     | 47                 |
|                                                | Plomo           | 4                      | 5                  |
|                                                | Cromo           | 5                      | 7                  |
|                                                | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                                                | Aluminio        | 38                     | 50                 |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Jumbo modelo Boltec S, se presentan a continuación en las siguientes tablas 37, 38, 39, 40, 41, 42 y 43 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 37***Límites del modelo Boltec S de componente motor*

| <b>Modelo Boltec S – motor</b> |                 |                        |                    |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                  | Silicio         | 13                     | 16                 |
|                                | Sodio           | 5                      | 7                  |
|                                | Potasio         | 5                      | 6                  |
| Desgaste                       | Hierro          | 36                     | 45                 |
|                                | Índice PQ       | 24                     | 30                 |
|                                | Cobre           | 28                     | 35                 |
|                                | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                | Cromo           | 6                      | 7                  |
|                                | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                | Aluminio        | 5                      | 6                  |

**Tabla 38***Límites del modelo Boltec S de componente transmisión*

| <b>Modelo Boltec S – transmisión</b> |                 |                        |                    |
|--------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                      | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                        | Silicio         | 15                     | 18                 |
|                                      | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                                      | Potasio         | 6                      | 7                  |
| Desgaste                             | Hierro          | 40                     | 50                 |
|                                      | Índice PQ       | 18                     | 22                 |
|                                      | Cobre           | 20                     | 26                 |
|                                      | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                      | Cromo           | 4                      | 5                  |
|                                      | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                      | Aluminio        | 6                      | 7                  |

**Tabla 39***Límites del modelo Boltec S de componente diferencial delantero*

| <b>Modelo Boltec S – diferencial delantero</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                  | Silicio         | 238                    | 311                |
|                                                | Sodio           | 16                     | 22                 |
|                                                | Potasio         | 3                      | 4                  |
| Desgaste                                       | Hierro          | 316                    | 396                |
|                                                | Índice PQ       | 336                    | 456                |
|                                                | Cobre           | 2                      | 3                  |
|                                                | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                                | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                | Aluminio        | 4                      | 5                  |

**Tabla 40***Límites del modelo Boltec S de componente diferencial trasero*

| <b>Modelo Boltec S – diferencial trasero</b> |                 |                        |                    |
|----------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                              | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                | Silicio         | 199                    | 268                |
|                                              | Sodio           | 9                      | 12                 |
|                                              | Potasio         | 5                      | 7                  |
| Desgaste                                     | Hierro          | 117                    | 149                |
|                                              | Índice PQ       | 484                    | 665                |
|                                              | Cobre           | 3                      | 4                  |
|                                              | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                              | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                              | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                              | Aluminio        | 3                      | 4                  |

**Tabla 41***Límites del modelo Boltec S de componente mandos delanteros*

| <b>Modelo Boltec S – mandos finales delanteros</b> |                 |                        |                    |
|----------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                    | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                      | Silicio         | 184                    | 237                |
|                                                    | Sodio           | 7                      | 8                  |
|                                                    | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                                           | Hierro          | 633                    | 734                |
|                                                    | Índice PQ       | 631                    | 809                |
|                                                    | Cobre           | 2                      | 3                  |
|                                                    | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                    | Cromo           | 8                      | 9                  |
|                                                    | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                    | Aluminio        | 3                      | 4                  |



**Tabla 42***Límites del modelo Boltec S de componente mandos traseros*

| Modelo Boltec S – mandos finales traseros |           |              |          |
|-------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                             | Silicio   | 179          | 241      |
|                                           | Sodio     | 8            | 10       |
|                                           | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                                  | Hierro    | 335          | 421      |
|                                           | Índice PQ | 213          | 278      |
|                                           | Cobre     | 2            | 3        |
|                                           | Plomo     | 2            | 3        |
|                                           | Cromo     | 4            | 6        |
|                                           | Estaño    | 2            | 3        |
|                                           | Aluminio  | 2            | 3        |

**Tabla 43***Límites del modelo Boltec S de componente compresor*

| Modelo Boltec S – compresor |           |              |          |
|-----------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                    | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación               | Silicio   | 2            | 3        |
|                             | Sodio     | 12           | 16       |
|                             | Potasio   | 2            | 3        |
| Desgaste                    | Hierro    | 2            | 3        |
|                             | Índice PQ | 17           | 20       |
|                             | Cobre     | 9            | 13       |
|                             | Plomo     | 2            | 3        |
|                             | Cromo     | 2            | 3        |
|                             | Estaño    | 2            | 3        |
|                             | Aluminio  | 2            | 3        |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Jumbo modelo Boomer S1D se presentan a continuación en las siguientes tablas 44, 45, 46, 47, 48, 49 y 50 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 44**

*Límites del modelo Boomer S1D de componente motor*

| Modelo BOOMER S1D – motor |           |              |          |
|---------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación             | Silicio   | 8            | 10       |
|                           | Sodio     | 3            | 4        |
|                           | Potasio   | 10           | 12       |
| Desgaste                  | Hierro    | 19           | 22       |
|                           | Índice PQ | 25           | 32       |
|                           | Cobre     | 13           | 16       |
|                           | Plomo     | 4            | 5        |
|                           | Cromo     | 2            | 3        |
|                           | Estaño    | 2            | 3        |
|                           | Aluminio  | 2            | 3        |

**Tabla 45**

*Límites del modelo Boomer S1D de componente diferencial delantero*

| Modelo BOOMER S1D – diferencial delantero |           |              |          |
|-------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                             | Silicio   | 10           | 16       |
|                                           | Sodio     | 10           | 13       |
|                                           | Potasio   | 4            | 6        |
| Desgaste                                  | Hierro    | 400          | 500      |
|                                           | Índice PQ | 400          | 500      |
|                                           | Cobre     | 40           | 50       |
|                                           | Plomo     | 2            | 3        |
|                                           | Cromo     | 3            | 4        |
|                                           | Estaño    | 2            | 3        |
|                                           | Aluminio  | 2            | 3        |

**Tabla 46***Límites del modelo Boomer S1D de componente diferencial trasero*

| <b>Modelo BOOMER S1D – diferencial delantero</b> |                 |                        |                    |
|--------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                  | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                    | Silicio         | 10                     | 16                 |
|                                                  | Sodio           | 11                     | 14                 |
|                                                  | Potasio         | 4                      | 5                  |
| Desgaste                                         | Hierro          | 400                    | 500                |
|                                                  | Índice PQ       | 400                    | 500                |
|                                                  | Cobre           | 40                     | 50                 |
|                                                  | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                  | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                                  | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                  | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 47***Límites del modelo Boomer S1D de componente transmisión*

| <b>Modelo BOOMER S1D – transmisión</b> |                 |                        |                    |
|----------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                        | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                          | Silicio         | 8                      | 10                 |
|                                        | Sodio           | 3                      | 4                  |
|                                        | Potasio         | 10                     | 12                 |
| Desgaste                               | Hierro          | 19                     | 22                 |
|                                        | Índice PQ       | 25                     | 32                 |
|                                        | Cobre           | 13                     | 16                 |
|                                        | Plomo           | 4                      | 5                  |
|                                        | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                        | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                        | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 48***Límites del modelo Boomer S1D de componente compresor.*

| <b>Modelo BOOMER S1D – compresor</b> |                 |                        |                    |
|--------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                      | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                        | Silicio         | 6                      | 8                  |
|                                      | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                                      | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                             | Hierro          | 2                      | 3                  |
|                                      | Índice PQ       | 17                     | 21                 |
|                                      | Cobre           | 7                      | 9                  |
|                                      | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                      | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                      | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                      | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 49***Límites del modelo Boomer S1D de componente mandos delanteros*

| <b>Modelo BOOMER S1D – mandos finales delanteros</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                      | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                        | Silicio         | 10                     | 16                 |
|                                                      | Sodio           | 5                      | 7                  |
|                                                      | Potasio         | 3                      | 4                  |
| Desgaste                                             | Hierro          | 400                    | 500                |
|                                                      | Índice PQ       | 400                    | 500                |
|                                                      | Cobre           | 40                     | 50                 |
|                                                      | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                      | Cromo           | 7                      | 9                  |
|                                                      | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                      | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 50***Límites del modelo Boomer S1D de componente mandos traseros*

| <b>Modelo BOOMER S1D – mandos finales traseros</b> |                 |                        |                    |
|----------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                                    | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                      | Silicio         | 10                     | 16                 |
|                                                    | Sodio           | 10                     | 13                 |
|                                                    | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                                           | Hierro          | 400                    | 500                |
|                                                    | Índice PQ       | 400                    | 500                |
|                                                    | Cobre           | 40                     | 50                 |
|                                                    | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                                    | Cromo           | 9                      | 12                 |
|                                                    | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                                    | Aluminio        | 3                      | 4                  |

Los límites condenatorios para el equipo trackelss Jumbo modelo DD 311, se presentan a continuación en las siguientes tablas 51, 52, 53, 54, 55, 56 y 57 de acuerdo a sus componentes.

**Tabla 51***Límites del modelo DD 311 de componente motor*

| <b>Modelo DD311 – motor</b> |                 |                        |                    |
|-----------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>             | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación               | Silicio         | 13                     | 16                 |
|                             | Sodio           | 5                      | 7                  |
|                             | Potasio         | 7                      | 8                  |
| Desgaste                    | Hierro          | 50                     | 64                 |
|                             | Índice PQ       | 21                     | 26                 |
|                             | Cobre           | 9                      | 12                 |
|                             | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                             | Cromo           | 4                      | 5                  |
|                             | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                             | Aluminio        | 6                      | 8                  |

**Tabla 52***Límites del modelo DD 311 de componente diferencial delantero*

| <b>Modelo DD311 – Diferencial delantero</b> |                 |                        |                    |
|---------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                             | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                               | Silicio         | 165                    | 218                |
|                                             | Sodio           | 10                     | 13                 |
|                                             | Potasio         | 4                      | 6                  |
| Desgaste                                    | Hierro          | 161                    | 207                |
|                                             | Índice PQ       | 105                    | 140                |
|                                             | Cobre           | 3                      | 4                  |
|                                             | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                             | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                             | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                             | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 53***Límites del modelo DD 311 de componente diferencial trasero*

| <b>Modelo DD311 – Diferencial trasero</b> |                 |                        |                    |
|-------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                           | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                             | Silicio         | 160                    | 214                |
|                                           | Sodio           | 11                     | 14                 |
|                                           | Potasio         | 4                      | 5                  |
| Desgaste                                  | Hierro          | 218                    | 279                |
|                                           | Índice PQ       | 105                    | 134                |
|                                           | Cobre           | 4                      | 5                  |
|                                           | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                           | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                           | Estaño          | 3                      | 4                  |
|                                           | Aluminio        | 2                      | 3                  |

**Tabla 54***Límites del modelo DD 311 de componente transmisión*

| Modelo DD311 – Transmisión |           |              |          |
|----------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                   | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación              | Silicio   | 201          | 272      |
|                            | Sodio     | 15           | 21       |
|                            | Potasio   | 39           | 53       |
| Desgaste                   | Hierro    | 80           | 120      |
|                            | Índice PQ | 30           | 40       |
|                            | Cobre     | 136          | 188      |
|                            | Plomo     | 6            | 8        |
|                            | Cromo     | 19           | 26       |
|                            | Estaño    | 2            | 3        |
|                            | Aluminio  | 6            | 7        |

**Tabla 55***Límites del modelo DD 311 de componente mandos delanteros*

| Modelo DD311 – Mandos finales delanteros |           |              |          |
|------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                 | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                            | Silicio   | 20           | 30       |
|                                          | Sodio     | 61           | 71       |
|                                          | Potasio   | 3            | 4        |
| Desgaste                                 | Hierro    | 400          | 500      |
|                                          | Índice PQ | 80           | 150      |
|                                          | Cobre     | 40           | 50       |
|                                          | Plomo     | 21           | 25       |
|                                          | Cromo     | 3            | 4        |
|                                          | Estaño    | 2            | 3        |
|                                          | Aluminio  | 9            | 20       |

**Tabla 56***Límites del modelo DD 311 de componente mandos traseros*

| <b>Modelo DD311 – Mandos finales traseros</b> |                 |                        |                    |
|-----------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                               | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                                 | Silicio         | 20                     | 30                 |
|                                               | Sodio           | 61                     | 71                 |
|                                               | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                                      | Hierro          | 400                    | 500                |
|                                               | Índice PQ       | 80                     | 150                |
|                                               | Cobre           | 40                     | 50                 |
|                                               | Plomo           | 21                     | 25                 |
|                                               | Cromo           | 3                      | 4                  |
|                                               | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                               | Aluminio        | 9                      | 20                 |

**Tabla 57***Límites del modelo DD 311 de componente compresor*

| <b>Modelo DD311 – Compresor</b> |                 |                        |                    |
|---------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                 | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                   | Silicio         | 6                      | 8                  |
|                                 | Sodio           | 5                      | 6                  |
|                                 | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                        | Hierro          | 2                      | 3                  |
|                                 | Índice PQ       | 17                     | 21                 |
|                                 | Cobre           | 2                      | 3                  |
|                                 | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                 | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                 | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                 | Aluminio        | 2                      | 3                  |



Los límites condenatorios para el equipo trackelss Jumbo modelo Simba S7, se presentan a continuación en las siguientes tablas 58, 59, 60, 61, 62, 63 y 64 de acuerdo a sus componentes

**Tabla 58**

*Límites del modelo Simba S7 de componente motor*

| Modelo Simba S7 – Motor |           |              |          |
|-------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación           | Silicio   | 15           | 18       |
|                         | Sodio     | 5            | 6        |
|                         | Potasio   | 6            | 7        |
| Desgaste                | Hierro    | 40           | 50       |
|                         | Índice PQ | 18           | 22       |
|                         | Cobre     | 20           | 26       |
|                         | Plomo     | 2            | 3        |
|                         | Cromo     | 4            | 5        |
|                         | Estaño    | 2            | 3        |
|                         | Aluminio  | 6            | 7        |

**Tabla 59**

*Límites del modelo Simba S7 de componente transmisión*

| Modelo Simba S7 – Transmisión |           |              |          |
|-------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                      | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                 | Silicio   | 15           | 18       |
|                               | Sodio     | 5            | 6        |
|                               | Potasio   | 6            | 7        |
| Desgaste                      | Hierro    | 40           | 50       |
|                               | Índice PQ | 18           | 22       |
|                               | Cobre     | 20           | 26       |
|                               | Plomo     | 2            | 3        |
|                               | Cromo     | 4            | 5        |
|                               | Estaño    | 2            | 3        |
|                               | Aluminio  | 6            | 7        |

**Tabla 60***Límites del modelo Simba S7 de componente diferencial delantero*

| Modelo Simba S7 – Diferencial delantero |           |              |          |
|-----------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                           | Silicio   | 180          | 232      |
|                                         | Sodio     | 12           | 16       |
|                                         | Potasio   | 6            | 7        |
| Desgaste                                | Hierro    | 168          | 215      |
|                                         | Índice PQ | 162          | 216      |
|                                         | Cobre     | 2            | 3        |
|                                         | Plomo     | 2            | 3        |
|                                         | Cromo     | 2            | 3        |
|                                         | Estaño    | 2            | 3        |
|                                         | Aluminio  | 4            | 5        |

**Tabla 61***Límites del modelo Simba S7 de componente diferencial trasero*

| Modelo Simba S7 – Diferencial trasero |           |              |          |
|---------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                              | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                         | Silicio   | 209          | 274      |
|                                       | Sodio     | 14           | 19       |
|                                       | Potasio   | 7            | 9        |
| Desgaste                              | Hierro    | 177          | 232      |
|                                       | Índice PQ | 259          | 352      |
|                                       | Cobre     | 3            | 4        |
|                                       | Plomo     | 2            | 3        |
|                                       | Cromo     | 2            | 3        |
|                                       | Estaño    | 2            | 3        |
|                                       | Aluminio  | 4            | 5        |

**Tabla 62***Límites del modelo Simba S7 de componente mandos delanteros*

| Modelo Simba S7 – Mandos delanteros |           |              |          |
|-------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                            | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                       | Silicio   | 296          | 402      |
|                                     | Sodio     | 9            | 12       |
|                                     | Potasio   | 2            | 3        |
| Desgaste                            | Hierro    | 333          | 425      |
|                                     | Índice PQ | 201          | 253      |
|                                     | Cobre     | 2            | 3        |
|                                     | Plomo     | 2            | 3        |
|                                     | Cromo     | 5            | 6        |
|                                     | Estaño    | 2            | 3        |
|                                     | Aluminio  | 3            | 4        |

**Tabla 63***Límites del modelo Simba S7 de componente mandos traseros*

| Modelo Simba S7 – Mandos finales traseros |           |              |          |
|-------------------------------------------|-----------|--------------|----------|
| SA-CO-DE                                  | Elemento  | Precaución > | Alerta > |
| Contaminación                             | Silicio   | 168          | 221      |
|                                           | Sodio     | 5            | 7        |
|                                           | Potasio   | 2            | 3        |
| Desgaste                                  | Hierro    | 358          | 459      |
|                                           | Índice PQ | 279          | 369      |
|                                           | Cobre     | 3            | 4        |
|                                           | Plomo     | 2            | 3        |
|                                           | Cromo     | 5            | 6        |
|                                           | Estaño    | 2            | 3        |
|                                           | Aluminio  | 2            | 3        |

**Tabla 64**

Límites del modelo Simba S7 de componente compresor

| <b>Modelo Simba S7 – Compresor</b> |                 |                        |                    |
|------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>SA-CO-DE</b>                    | <b>Elemento</b> | <b>Precaución &gt;</b> | <b>Alerta &gt;</b> |
| Contaminación                      | Silicio         | 3                      | 4                  |
|                                    | Sodio           | 10                     | 13                 |
|                                    | Potasio         | 2                      | 3                  |
| Desgaste                           | Hierro          | 4                      | 5                  |
|                                    | Índice PQ       | 17                     | 20                 |
|                                    | Cobre           | 18                     | 23                 |
|                                    | Plomo           | 2                      | 3                  |
|                                    | Cromo           | 2                      | 3                  |
|                                    | Estaño          | 2                      | 3                  |
|                                    | Aluminio        | 2                      | 3                  |

La obtención de valores de límites condenatorios basados en métodos estadísticos vuelve objetiva la interpretación de resultados de aceite, sin embargo, se requiere de experiencia, conocer el proceso de toma de muestra y capacitación en temas de lubricación para detectar falsos positivos o falsos negativos en dicha interpretación antes de lanzar alarmas.

#### **4.2 Discusión de resultados**

La norma ASTM 7720-D establece que, para la obtención de límites condenatorios confiables deben estudiarse por lo menos 30 reportes de aceite usado como muestra representativa, en la presente investigación, se cuenta con dicha data, luego de eliminar valores atípicos, no considerar equipos en asentamiento, reportes con contaminación de la muestra, etc. Por lo que las acciones realizadas están de acuerdo con las recomendaciones del estándar ASTM.

Se encuentra similitud con Guerrero T. (2016) que una adecuada interpretación de los reportes de análisis de aceite debe seguir con los estándares internacionales, en este caso el ASTM; así también se confirma que el profesional encargado de la interpretación de estos resultados, debe tener conocimiento de la metalurgia de los componentes lubricados así como del ámbito de operación de los equipos, pues con estos conocimiento o experiencia le permite detectar errores y esperar una confirmación con la siguiente muestra antes de lanzar una falsa alarma.

#### **4.3 Contrastación de hipótesis**

##### **4.3.1 Contrastación de hipótesis general**

**Ho:** La evaluación de datos basado en estándar ASTM, no permite mejorar los criterios lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

**Hi:** La evaluación de datos basado en estándar ASTM, mejora los criterios lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

**Decisión:** Con los resultados obtenidos siguiendo las pautas de la norma ASTM 7720-D es posible establecer límites estadísticos que permitan identificar un deterioro en el aceite usado en el equipo o máquina, como se puede apreciar en la Figura 14, mejora el criterio de lubricación respectiva; por lo tanto, se desecha la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

##### **4.3.2 Contrastación de hipótesis específicas**

###### **Hipótesis específica a**

**Ho:** La estandarización de líneas base de aceite utilizados no influye en el modelo de análisis de datos de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

**Hi:** La estandarización de líneas base de aceite utilizados influye en el modelo de análisis de datos de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

**Decisión:** La línea de base determina las características iniciales del aceite antes de ser usado, por lo que se puede determinar que el aceite tiene las características del que se indica y que no fue mezclado con otros fluidos, por lo tanto, se desecha la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

#### **Hipótesis específica b**

**Ho:** La metodología estadística de límites condenatorios basados en el estándar ASTM D-7720 no permite mejorar el sistema de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

**Hi:** La metodología estadística de límites condenatorios basados en el estándar ASTM D-7720 mejora el sistema de lubricación de equipos trackless en una mina subterránea en Junín.

**Decisión:** Los límites condenatorios determinan hasta donde se puede aceptar el buen funcionamiento del equipo o máquina, en este aspecto, los equipos que se mantienen dentro de los límites condenatorios, al no producirse desgaste prematuro, por lo tanto, se desecha la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

#### **Hipótesis específica c**

**Ho:** La automatización de reportes de análisis de aceite no mejora los tiempos de interpretación de resultados de aceite de equipos trackless en una mina subterránea

**Hi:** La automatización de reportes de análisis de aceite mejora los tiempos de interpretación de resultados de aceite de equipos trackless en una mina subterránea.

**Decisión:** Los tiempos de respuesta de interpretación de análisis de aceite usado se acortan, los reportes que presentan valores fuera de los límites condenatorios se resaltan, logrando detectar aquellos que requieren mayor atención por el analista de

mantenimiento. Por lo tanto, se desecha la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

## CONCLUSIONES

Los límites condenatorios obtenidos por estadística, siguiendo las pautas del estándar ASTM 7720-D, son posibles de hallar con data de reportes de aceite usado de al menos 1 año cumpliendo con los cambios de aceite en la frecuencia estandarizada por el manual del equipo o máquina y validada por el área de mantenimiento de la mina subterránea en Junín estudiada.

Las muestras utilizadas para el modelo de análisis de datos, han sido corroboradas con las características del aceite que arroja la línea base del aceite, con lo que descartaron aquellas que no tenían aquellas características pues se considera contaminado con otros fluidos.

Se ha logrado el buen funcionamiento de los equipos que se encuentren dentro de los límites condenatorios establecidos en cuanto a lubricación se refiere, gracias a la metodología estadística, siguiendo el estándar ASTM 7720-D

La correcta interpretación de los resultados de análisis de aceite usado, debe tener una base histórica del componente analizado, ya que, en la determinación de las muestras representativas para establecer los límites condenatorios, se eliminaron valores atípicos de la población total, lo que representa falsos positivos de los reportes de los análisis de aceite usado.

Los tiempos de interpretación de resultados de aceite usado han sido reducidos gracias a la automatización de los reportes de análisis de aceites ya que se resaltan aquellos que no cumplen lo pre establecidos para mayor atención del analista de mantenimiento.



## RECOMENDACIONES

Establecer los tiempos mínimos que deben considerar para poder dar respuesta a una muestra de análisis al equipo o máquina en este tipo de operaciones, en las que las muestras de aceite se analizan en laboratorios externos, monitorear los tiempos de recepción, transporte, envío y de análisis.

Se recomienda incluir otras normas o estándares para establecer los límites condenatorios considerando el parámetro de salud (estado químico) del aceite lubricante.

Se debe evaluar los límites condenatorios para equipos estáticos bajo su propia norma o estándar de aceite lubricante.

Los límites condenatorios pueden servir de ayuda a los proyectos de migración de aceite, siempre y cuando los aceites que reemplazaran a los que actualmente se utilizan, tengan igual o mejor desempeño que los aceites que serían reemplazados.

Integrar más operaciones (unidades mineras) en el sistema, para poder llevar un control más extenso del estado del equipo de diferentes lugares que permita el monitoreo de equipos en cuanto a lubricación por el representante de la planta de lubricantes.

## REFERENCIAS

- Ali, E., (2019). Metodología de diagnóstico basado en análisis discriminante par motores de combustión interna como una herramienta del mantenimiento predictivo mediante análisis de aceites lubricantes. [tesis de maestría]. Universidad Mayor de San Andres – Bolivia. WEB: <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/27785>
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2017), *Standard Guide for Statistically Evaluating Measurand Alarm Limits when Using Oil Analysis to Monitor Equipment and Oil for Fitness and Contamination*. [Estándar]. WEB: <https://es.scribd.com/document/392685730/ASTM-D7720-11-Reapproved-2017>
- Barón, O. (2003). *Creación del programa de mantenimiento preventivo programado para la planta de producción de la empresa Ronda SA* [artículo]. WEB: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tekhne/article/view/8855/10210>
- Bozzo, M. (2023). Gestión del mantenimiento predictivo basado en análisis de aceites para mejorar la disponibilidad de la flota de camiones volquetes de 17 m3 en una mina subterránea, Ayacucho 2023. [tesis de maestría]. Universidad Nacional del Callao – Perú. Web: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/8982>
- Caterpillar Inc. (2013). Límites Caterpillar SOS. Illinois
- Díaz, G. (2021). La tribología y el análisis de los lubricantes industrial (parte 1). [publicación web], Obtenido de: Terotecnic Ingeniería. WEB: <https://terotecnic.com/mantenimiento-predictivo/la-tribologia-y-el-analisis-de-los-lubricantes-industriales/>
- Erribari, D., Salazar, C. (2019). Business intelligence para mantenimiento correctivo de Avitel Servicios Generales para una empresa de rubro telecomunicaciones [trabajo

- de maestría]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas - Perú. WEB:  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626720>
- Ershun, P., Wenzhu, L. & Lifeng, X. (2012) *A single machine-based scheduling optimization model integrated with preventive maintenance policy for maximizing the availability* [artículo] WEB.  
<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJISE.2012.046301>
- García, A., et al (2023). Modelo para la gestión de la lubricación y los lubricantes en la industria. [artículo]. WEB:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442023000300045](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442023000300045)
- Guerrero, T. (2016). Determinación de la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido. [tesis de maestría]. Universidad del Azuay - Ecuador. WEB: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5643>
- Luque, R., (2021). Diseño de un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos trackless de la empresa corimayo S.A.C. en la U.M. Parcoy. [tesis de grado]. Universidad Nacional del Callao – Perú. WEB:  
<https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7397>
- Noria Latín América (2023). Los fundamentos del muestreo de aceite usado. [Publicación web]. Obtenido de Noria. WEB: <https://noria.mx/lube-learn/analisis-lubricantes/los-fundamentos-del-muestreo-de-aceite-usado/>
- Tapia, E. (2023). Análisis de la migración y extensión del periodo de cambio del lubricante en el tren posterior de camiones minero CAT 797F [tesis de maestría]. Universidad Católica de Santa María – Perú. WEB:  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/f468bcb2-e880-4102-9a3c-fe436e8b7443>

Wolak, A., Zając, G. (2018). *Changes in the operating characteristics of engine oils: A comparison of the results obtained with the use of two automatic devices*. [artículo].

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.037>

Wakiru, J., Pintelon, L., Muchiri, P., Chemweno, P., (2018). A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decision support. [artículo]. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.08.039>

## **ANEXOS**

|                                                                    |   |
|--------------------------------------------------------------------|---|
| Anexo A Análisis de aceite virgen Mobilube HD 85W-140.....         | 1 |
| Anexo B Análisis de aceite virgen Mobilube HD 80W-90.....          | 2 |
| Anexo C Análisis de aceite virgen Mobiltrans HD 50 .....           | 3 |
| Anexo D Análisis de aceite virgen Mobiltrans HD 30 .....           | 4 |
| Anexo E Análisis de aceite virgen Mobil SHC Rarus 46 .....         | 5 |
| Anexo F Análisis de aceite virgen Mobil Nuto H 68 .....            | 6 |
| Anexo G Análisis de aceite virgen Mobil Delvac MX ESP 15W-40 ..... | 7 |

## Anexo A

### Análisis de aceite virgen Mobilube HD 85W-140



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:

Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**

Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**

Flota o Área: **MOBILUBE HD 85W-140**

Equipo: **MOBILUBE HD 85W-140**

#### Información del componente

Componente: **MOBILUBE HD 85W-140**

Clase de Componente: **Diferencial**

Fabricante: **NO LISTADO - DR**

Modelo:

Lubricante: **MOBILUBE HD 85W-140**

|                                  |                                |                     |                     |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             | Normal              | Normal              |
|                                  | ID de la muestra               | <b>A000784425</b>   | <b>A002593852</b>   |
|                                  | Nivel de servicio              | Premium             | Premium             |
|                                  | Identificación de la botella   | 00070619            | 00179135            |
|                                  | Lubricante utilizado           | MOBILUBE HD 85W-140 | MOBILUBE HD 85W-140 |
|                                  | Fecha de muestreo              |                     |                     |
|                                  | Fecha de reporte               |                     |                     |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               |                     |                     |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               |                     |                     |
|                                  | Volumen de Relleno             |                     |                     |
|                                  | Cambio de Aceite               |                     |                     |
|                                  | Cambio de Filtro               |                     |                     |
|                                  | Comentarios de muestra         |                     |                     |
| Lubricante                       | Clasificación de Contaminación | Normal              | Normal              |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal              | Normal              |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal              | Normal              |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado        | No detectado        |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          | 23/21/17            | 22/20/17            |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    | 69035               | 20348               |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    | 19716               | 5439                |
|                                  | Conteo de Partículas > 14um    | 1018                | 696                 |
|                                  | Índice PQ                      | 15                  | 16                  |
|                                  | Oxidación (Abs/0.1mm)          | -                   | 0.010               |
| Desgaste (ppm)                   | Viscosidad a 100°C (cSt)       | 25.0                | 24.0                |
|                                  | Ag (Plata)                     | 0                   | 0                   |
|                                  | Al (Aluminio)                  | 1                   | 0                   |
|                                  | Cd (Cadmio)                    | 0                   | 0                   |
|                                  | Cr (Cromo)                     | 0                   | 0                   |
|                                  | Cu (Cobre)                     | 0                   | 0                   |
|                                  | Fe (Hierro)                    | 3                   | 0                   |
|                                  | Mo (Molibdeno)                 | 0                   | 0                   |
|                                  | Ni (Níquel)                    | 0                   | 0                   |
|                                  | Pb (Plomo)                     | 0                   | 0                   |
| Contaminantes (ppm)              | Sn (Estaño)                    | 0                   | 0                   |
|                                  | Ti (Titanio)                   | 0                   | 0                   |
|                                  | K (Potasio)                    | 0                   | 0                   |
|                                  | Mn (Manganeso)                 | 0                   | 0                   |
|                                  | Na (Sodio)                     | 0                   | 0                   |
| Aditivos (ppm)                   | Si (Silicio)                   | 3                   | 2                   |
|                                  | V (Vanadio)                    | 0                   | 0                   |
|                                  | B (Boro)                       | 0                   | 4                   |
|                                  | Ba (Bario)                     | 0                   | 0                   |
|                                  | Ca (Calcio)                    | 4                   | 91                  |
|                                  | Mg (Magnesio)                  | 3                   | 1                   |
|                                  | P (Fósforo)                    | 500                 | 525                 |
|                                  | Zn (Zinc)                      | 3                   | 44                  |

#### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.

## Anexo B

### Análisis de aceite virgen Mobilube HD 80W-90



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:

Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**

Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**

Flota o Área: **MOBILUBE HD 80W-90**

Equipo: **MOBILUBE HD 80W-90**

#### Información del componente

Componente: **MOBILUBE HD 80W-90**

Clase de Componente: **Engranaje Industrial**

Fabricante: **NO LISTADO - GB**

Modelo:

Lubricante: **MOBILUBE HD 80W-90**

|                                  |                                |                    |                    |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             | Normal             | Normal             |
|                                  | ID de la muestra               | <b>A003108596</b>  | <b>A003108473</b>  |
|                                  | Nivel de servicio              | Premium            | Premium            |
|                                  | Identificación de la botella   | 00208977           | 00208974           |
|                                  | Lubricante utilizado           | MOBILUBE HD 80W-90 | MOBILUBE HD 80W-90 |
|                                  | Fecha de muestreo              |                    |                    |
|                                  | Fecha de reporte               |                    |                    |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               | 1234               | 1234               |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               | 117                | 117                |
|                                  | Volumen de Relleno             |                    |                    |
|                                  | Cambio de Aceite               | No                 | No                 |
|                                  | Cambio de Filtro               | No                 | No                 |
| Lubricante                       | Comentarios de muestra         |                    |                    |
|                                  | Clasificación de Contaminación | Normal             | Normal             |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal             | Normal             |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal             | Normal             |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado       | No detectado       |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          | 21/19/14           | 21/19/14           |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    | 19741              | 14344              |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    | 3600               | 2864               |
|                                  | Conteo de Partículas > 14um    | 112                | 107                |
|                                  | Índice PQ                      | 11                 | 14                 |
| Desgaste (ppm)                   | Oxidación (Abs/0.1mm)          | 0.003              | 0.005              |
|                                  | Viscosidad a 100°C (cSt)       | 13.6               | 14.0               |
|                                  | Ag (Plata)                     | 0                  | 0                  |
|                                  | Al (Aluminio)                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Cd (Cadmio)                    | 0                  | 0                  |
|                                  | Cr (Cromo)                     | 0                  | 0                  |
|                                  | Cu (Cobre)                     | 0                  | 0                  |
|                                  | Fe (Hierro)                    | 0                  | 1                  |
|                                  | Mo (Molibdeno)                 | 0                  | 0                  |
|                                  | Ni (Níquel)                    | 0                  | 0                  |
| Contaminantes (ppm)              | Pb (Plomo)                     | 0                  | 0                  |
|                                  | Sn (Estaño)                    | 0                  | 0                  |
|                                  | Ti (Titanio)                   | 0                  | 0                  |
|                                  | K (Potasio)                    | 0                  | 0                  |
|                                  | Mn (Manganeso)                 | 0                  | 0                  |
|                                  | Na (Sodio)                     | 0                  | 0                  |
| Aditivos (ppm)                   | Si (Silicio)                   | 2                  | 2                  |
|                                  | V (Vanadio)                    | 0                  | 0                  |
|                                  | B (Boro)                       | 13                 | 8                  |
|                                  | Ba (Bario)                     | 0                  | 0                  |
|                                  | Ca (Calcio)                    | 35                 | 18                 |
|                                  | Mg (Magnesio)                  | 14                 | 9                  |
|                                  | P (Fósforo)                    | 540                | 534                |
|                                  | Zn (Zinc)                      | 23                 | 14                 |

#### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.

## Anexo C

### Análisis de aceite virgen Mobiltrans HD 50



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:  
Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**  
Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**  
Flota o Área: **MOBILTRANS HD 50**  
Equipo: **MOBILTRANS HD 50**

### Información del componente

Componente: **MOBILTRANS HD 50**  
Clase de Componente: **Diferencial**

Fabricante: **NO LISTADO - DR**  
Modelo:  
Lubricante: **MOBILTRANS HD 50**

|                                  |                                |                   |                   |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             | Normal            | Normal            |
|                                  | ID de la muestra               | <b>A000403591</b> | <b>A002466244</b> |
|                                  | Nivel de servicio              | Premium           | Premium           |
|                                  | Identificación de la botella   | 00069601          | 00174593          |
|                                  | Lubricante utilizado           | MOBILTRANS HD 50  | MOBILTRANS HD 50  |
|                                  | Fecha de muestreo              |                   |                   |
|                                  | Fecha de reporte               |                   |                   |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               |                   |                   |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               |                   |                   |
|                                  | Volumen de Relleno             |                   |                   |
|                                  | Cambio de Aceite               |                   |                   |
|                                  | Cambio de Filtro               |                   |                   |
| Lubricante                       | Comentarios de muestra         |                   | Yauli             |
|                                  | Clasificación de Contaminación | Normal            | Normal            |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal            | Normal            |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal            | Normal            |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado      | No detectado      |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          | 21/19/14          | 21/19/16          |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    | 15073             | 16332             |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    | 3257              | 4560              |
|                                  | Conteo de Partículas > 14um    | 148               | 478               |
|                                  | Índice PQ                      | 9                 | 10                |
| Desgaste (ppm)                   | Oxidación (Abs/0.1mm)          | -                 | -                 |
|                                  | Viscosidad a 100°C (cSt)       | 18.1              | 18.0              |
|                                  | Ag (Plata)                     | 0                 | 0                 |
|                                  | Al (Aluminio)                  | 0                 | 1                 |
|                                  | Cd (Cadmio)                    | 0                 | 0                 |
|                                  | Cr (Cromo)                     | 0                 | 0                 |
|                                  | Cu (Cobre)                     | 0                 | 0                 |
|                                  | Fe (Hierro)                    | 2                 | 2                 |
|                                  | Mo (Molibdeno)                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Ni (Níquel)                    | 0                 | 0                 |
| Contaminantes (ppm)              | Pb (Plomo)                     | 0                 | 0                 |
|                                  | Sn (Estaño)                    | 0                 | 0                 |
|                                  | Ti (Titanio)                   | 0                 | 0                 |
|                                  | K (Potasio)                    | 1                 | 0                 |
|                                  | Mn (Manganeso)                 | 0                 | 0                 |
| Aditivos (ppm)                   | Na (Sodio)                     | 0                 | 0                 |
|                                  | Si (Silicio)                   | 5                 | 5                 |
|                                  | V (Vanadio)                    | 0                 | 0                 |
|                                  | B (Boro)                       | 0                 | 1                 |
|                                  | Ba (Bario)                     | 0                 | 0                 |
|                                  | Ca (Calcio)                    | 3056              | 3172              |
|                                  | Mg (Magnesio)                  | 13                | 25                |
|                                  | P (Fósforo)                    | 1000              | 1078              |
|                                  | Zn (Zinc)                      | 1255              | 1316              |

### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.



## Anexo D

### Análisis de aceite virgen Mobiltrans HD 30



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:  
Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**  
Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**  
Flota o Área: **MOBILTRANS HD 30**  
Equipo: **MOBILTRANS HD 30**

#### Información del componente

Componente: **MOBILTRANS HD 30**  
Clase de Componente: **Transmisión**

Fabricante: **NO LISTADO - TR**  
Modelo:  
Lubricante: **MOBILTRANS HD 30**

|                                  |                                |                   |                   |                   |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             | Normal            | Normal            | Normal            |
|                                  | ID de la muestra               | <b>A000784065</b> | <b>A000404424</b> | <b>A002466165</b> |
|                                  | Nivel de servicio              | Premium           | Premium           | Premium           |
|                                  | Identificación de la botella   | 00069603          | 00069602          | 00174595          |
|                                  | Lubricante utilizado           | MOBILTRANS HD 30  | MOBILTRANS HD 30  | MOBILTRANS HD 30  |
|                                  | Fecha de muestreo              |                   |                   |                   |
|                                  | Fecha de reporte               |                   |                   |                   |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               |                   |                   |                   |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               |                   |                   |                   |
|                                  | Volumen de Relleno             |                   |                   |                   |
| Lubricante                       | Cambio de Aceite               |                   |                   |                   |
|                                  | Cambio de Filtro               |                   |                   |                   |
|                                  | Comentarios de muestra         |                   |                   | Yauli             |
|                                  | Clasificación de Contaminación | Normal            | Normal            | Normal            |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal            | Normal            | Normal            |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal            | Normal            | Normal            |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado      | No detectado      | No detectado      |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          | 22/20/15          | 20/18/13          | 20/18/15          |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    | 30845             | 8183              | 8787              |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    | 6781              | 1635              | 2447              |
| Desgaste (ppm)                   | Conteo de Partículas > 14um    | 304               | 67                | 274               |
|                                  | Índice PQ                      | 10                | 9                 | 10                |
|                                  | Oxidación (Abs/0.1mm)          | -                 | -                 | 0.013             |
|                                  | Viscosidad a 100°C (cSt)       | 11.8              | 11.1              | 11.3              |
|                                  | Ag (Plata)                     | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Al (Aluminio)                  | 0                 | 0                 | 1                 |
|                                  | Cd (Cadmio)                    | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Cr (Cromo)                     | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Cu (Cobre)                     | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Fe (Hierro)                    | 2                 | 2                 | 2                 |
| Contaminantes (ppm)              | Mo (Molibdeno)                 | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Ni (Níquel)                    | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Pb (Plomo)                     | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Sn (Estaño)                    | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Ti (Titanio)                   | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | K (Potasio)                    | 1                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Mn (Manganeso)                 | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Na (Sodio)                     | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Si (Silicio)                   | 5                 | 6                 | 4                 |
|                                  | V (Vanadio)                    | 0                 | 0                 | 0                 |
| Aditivos (ppm)                   | B (Boro)                       | 12                | 0                 | 1                 |
|                                  | Ba (Bario)                     | 0                 | 0                 | 0                 |
|                                  | Ca (Calcio)                    | 2693              | 3066              | 3063              |
|                                  | Mg (Magnesio)                  | 111               | 12                | 15                |
|                                  | P (Fósforo)                    | 935               | 998               | 1057              |
|                                  | Zn (Zinc)                      | 1167              | 1166              | 1270              |

#### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.

## Anexo E

### Análisis de aceite virgen Mobil SHC Rarus 46



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:

Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**

Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**

Flota o Área: **MOBIL SHC RARUS 46**

Equipo: **MOBIL SHC RARUS 46**

#### Información del componente

Componente: **MOBIL SHC RARUS 46**  
Clase de Componente: **Compresor**

Fabricante: **NO LISTADO - CF**

Modelo:

Lubricante: **MOBIL SHC RARUS 46**

|                                  |                                |                    |                    |                    |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             | Normal             | Normal             | Normal             |
|                                  | ID de la muestra               | <b>A002594077</b>  | <b>A002594437</b>  | <b>A002594088</b>  |
|                                  | Nivel de servicio              | Premium            | Premium            | Premium            |
|                                  | Identificación de la botella   | 00179142           | 00179146           | 00179147           |
|                                  | Lubricante utilizado           | MOBIL SHC RARUS 46 | MOBIL SHC RARUS 46 | MOBIL SHC RARUS 46 |
|                                  | Fecha de muestreo              |                    |                    |                    |
|                                  | Fecha de reporte               |                    |                    |                    |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               |                    |                    |                    |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               |                    |                    |                    |
|                                  | Volumen de Relleno             |                    |                    |                    |
| Lubricante                       | Cambio de Aceite               |                    |                    |                    |
|                                  | Cambio de Filtro               |                    |                    |                    |
|                                  | Comentarios de muestra         |                    |                    |                    |
|                                  | Clasificación de Contaminación | Normal             | Normal             | Normal             |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal             | Normal             | Normal             |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal             | Normal             | Normal             |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado       | No detectado       | No detectado       |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          | 24/22/17           | 24/22/18           | 24/22/17           |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    | 110433             | 116890             | 102909             |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    | 25362              | 30379              | 23277              |
| Desgaste (ppm)                   | Conteo de Partículas > 14um    | 896                | 1531               | 835                |
|                                  | Indicador de Refrigerante      | No detectado       | No detectado       | No detectado       |
|                                  | Índice PQ                      | 6                  | 7                  | 8                  |
|                                  | Oxidación (Abs/0.1mm)          | 0.001              | 0.001              | 0.001              |
|                                  | TAN (mgKOH/g)                  | 0.75               | 0.74               | 0.73               |
|                                  | Viscosidad a 40°C (cSt)        | 43.2               | 43.2               | 43.2               |
|                                  | Ag (Plata)                     | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Al (Aluminio)                  | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Cd (Cadmio)                    | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Cr (Cromo)                     | 0                  | 0                  | 0                  |
| Contaminantes (ppm)              | Cu (Cobre)                     | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Fe (Hierro)                    | 1                  | 1                  | 0                  |
|                                  | Mo (Molibdeno)                 | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Ni (Níquel)                    | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Pb (Plomo)                     | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Sn (Estaño)                    | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Ti (Titanio)                   | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | K (Potasio)                    | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Mn (Manganeso)                 | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Na (Sodio)                     | 2                  | 2                  | 3                  |
| Aditivos (ppm)                   | Si (Silicio)                   | 1                  | 1                  | 1                  |
|                                  | V (Vanadio)                    | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | B (Boro)                       | 1                  | 1                  | 1                  |
|                                  | Ba (Bario)                     | 0                  | 0                  | 0                  |
|                                  | Ca (Calcio)                    | 5                  | 7                  | 4                  |
|                                  | Mg (Magnesio)                  | 0                  | 1                  | 1                  |
|                                  | P (Fósforo)                    | 239                | 241                | 239                |
|                                  | Zn (Zinc)                      | 3                  | 5                  | 3                  |

#### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.

## Anexo F

### Análisis de aceite virgen Mobil Nuto H 68



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:  
Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**  
Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**  
Flota o Área: **VOLCAN CHUNGAR - LINEA BASE**  
Equipo: **MUESTRA VIRGEN**

### Información del componente

Componente: **NUTO H 68**  
Clase de Componente: **Hidráulico**  
Fabricante: **NO LISTADO - HY**  
Modelo:  
Lubricante: **NUTO H 68**

|                                  |                                |  |                   |
|----------------------------------|--------------------------------|--|-------------------|
| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             |  | Normal            |
|                                  | ID de la muestra               |  | <b>A005628528</b> |
|                                  | Nivel de servicio              |  | Premium           |
|                                  | Identificación de la botella   |  | 00413040          |
|                                  | Lubricante utilizado           |  | NUTO H 68         |
|                                  | Fecha de muestreo              |  |                   |
|                                  | Fecha de reporte               |  |                   |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               |  |                   |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               |  |                   |
|                                  | Volumen de Relleno             |  |                   |
|                                  | Cambio de Aceite               |  |                   |
| Lubricante                       | Cambio de Filtro               |  |                   |
|                                  | Comentarios de muestra         |  |                   |
|                                  | Clasificación de Contaminación |  | Normal            |
|                                  | Clasificación de Equipo        |  | Normal            |
|                                  | Clasificación de Aceite        |  | Normal            |
|                                  | Agua (Cualitativo)             |  | No detectado      |
|                                  | Código ISO (ISO 4406)          |  | 19/17/14          |
|                                  | Conteo de Partículas > 04um    |  | 4450              |
|                                  | Conteo de Partículas > 06um    |  | 1177              |
|                                  | Conteo de Partículas > 14um    |  | 86                |
| Desgaste (ppm)                   | Índice PQ                      |  | 14                |
|                                  | Viscosidad a 40°C (cSt)        |  | 63.0              |
|                                  | Ag (Plata)                     |  | 0                 |
|                                  | Al (Aluminio)                  |  | 0                 |
|                                  | Cd (Cadmio)                    |  | 0                 |
|                                  | Cr (Cromo)                     |  | 0                 |
|                                  | Cu (Cobre)                     |  | 0                 |
|                                  | Fe (Hierro)                    |  | 0                 |
|                                  | Mo (Molibdeno)                 |  | 0                 |
|                                  | Ni (Níquel)                    |  | 0                 |
| Contaminantes (ppm)              | Pb (Plomo)                     |  | 0                 |
|                                  | Sn (Estaño)                    |  | 0                 |
|                                  | Ti (Titanio)                   |  | 0                 |
|                                  | K (Potasio)                    |  | 0                 |
|                                  | Mn (Manganeso)                 |  | 0                 |
| Aditivos (ppm)                   | Na (Sodio)                     |  | 0                 |
|                                  | Si (Silicio)                   |  | 2                 |
|                                  | V (Vanadio)                    |  | 0                 |
|                                  | B (Boro)                       |  | 0                 |
|                                  | Ba (Bario)                     |  | 0                 |
|                                  | Ca (Calcio)                    |  | 56                |
|                                  | Mg (Magnesio)                  |  | 1                 |
|                                  | P (Fósforo)                    |  | 359               |
|                                  | Zn (Zinc)                      |  | 488               |

### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.

## Anexo G

### Análisis de aceite virgen Mobil Delvac MX ESP 15W-40



## Reporte de Análisis

**NORMAL**

Fecha de reporte:

Cuenta: **UNIDAD MINERA VOLCAN - LINEA BASE**

Cuenta Padre: **VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.**

Flota o Área: **MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40**

Equipo: **MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40**

#### Información del componente

Componente: **MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40**  
Clase de Componente: **Motor**

Fabricante: **NO LISTADO - EG**

Modelo:

Lubricante: **MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40**

| Datos y Resultados de la muestra | Estado del Reporte             | Normal                     | Normal                     | Normal                     | Normal                     |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                  | ID de la muestra               | A000784324                 | A000403849                 | A002472780                 | A002593953                 |
| Lubricante                       | Nivel de servicio              | Premium                    | Premium                    | Premium                    | Premium                    |
|                                  | Identificación de la botella   | 00069600                   | 00069599                   | 00174594                   | 00179149                   |
|                                  | Lubricante utilizado           | MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40 | MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40 | MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40 | MOBIL DELVAC MX ESP 15W-40 |
|                                  | Fecha de muestreo              |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Fecha de reporte               |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Hrs/Km de Equipo               |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Hrs/Km de Aceite               |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Volumen de Relleno             |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Cambio de Aceite               |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Cambio de Filtro               |                            |                            |                            |                            |
|                                  | Comentarios de muestra         |                            |                            | Yauli                      |                            |
| Desgaste (ppm)                   | Clasificación de Contaminación | Normal                     | Normal                     | Normal                     | Normal                     |
|                                  | Clasificación de Equipo        | Normal                     | Normal                     | Normal                     | Normal                     |
|                                  | Clasificación de Aceite        | Normal                     | Normal                     | Normal                     | Normal                     |
|                                  | Agua (Cualitativo)             | No detectado               | No detectado               | No detectado               | No detectado               |
|                                  | Hollín (%masa)                 | -                          | -                          | 0.1                        | 0.0                        |
|                                  | Hollín (Abs/0.1mm)             | -                          | -                          | 0.072                      | 0.055                      |
|                                  | Indicador de Refrigerante      | No detectado               | No detectado               | No detectado               | No detectado               |
|                                  | Índice PQ                      | 12                         | 1                          | 8                          | 11                         |
|                                  | Nitración (Abs/0.1mm)          | -                          | -                          | 0.011                      | 0.000                      |
|                                  | Oxidación (Abs/0.1mm)          | -                          | -                          | 0.017                      | 0.018                      |
|                                  | Sulfatación (Abs/0.1mm)        | -                          | -                          | 0.006                      | 0.006                      |
|                                  | TBN (mgKOH/g) 4                | 7.6                        | 7.5                        | 7.2                        | 7.5                        |
| Contaminantes (ppm)              | Viscosidad a 100°C (cSt)       | 15.4                       | 15.5                       | 14.9                       | 15.1                       |
|                                  | Ag (Plata)                     | 0                          | 0                          | 1                          | 1                          |
|                                  | Al (Aluminio)                  | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Cd (Cadmio)                    | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Cr (Cromo)                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Cu (Cobre)                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Fe (Hierro)                    | 1                          | 1                          | 2                          | 2                          |
|                                  | Mo (Molibdeno)                 | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Ni (Níquel)                    | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Pb (Plomo)                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Sn (Estaño)                    | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Ti (Titanio)                   | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
| Aditivos (ppm)                   | K (Potasio)                    | 3                          | 2                          | 2                          | 2                          |
|                                  | Mn (Manganeso)                 | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Na (Sodio)                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Si (Silicio)                   | 5                          | 4                          | 4                          | 4                          |
|                                  | V (Vanadio)                    | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
| Aditivos (ppm)                   | B (Boro)                       | 93                         | 84                         | 90                         | 96                         |
|                                  | Ba (Bario)                     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
|                                  | Ca (Calcio)                    | 1263                       | 1128                       | 1269                       | 1332                       |
|                                  | Mg (Magnesio)                  | 793                        | 729                        | 860                        | 851                        |
|                                  | P (Fósforo)                    | 719                        | 662                        | 788                        | 777                        |
|                                  | Zn (Zinc)                      | 857                        | 781                        | 942                        | 989                        |

#### Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retorne la muestra en el próximo intervalo programado.