

Mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar disponibilidad y confiabilidad en motores de camiones Cat797f-Haa de Minera Chinalco

Preventive and predictive maintenance to increase availability and reliability in Cat797f-Haa truck engines at Chinalco Mining

Jeiser Vásquez Astonitas¹ | Carlos Córdova Centurión² | Felipe de la Rosa Bocanegra³

RESUMEN

La empresa Minera Chinalco Perú S.A en su evaluación para mejorar sus condiciones de operación de sus 16 unidades, decidió migrar del aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40 al aceite sintético Móvil Delvac 1Esp 5W-40, con el fin de obtener mayor disponibilidad de sus equipos. En la presente investigación se realizaron los mantenimientos predictivos a la muestra de dos camiones: CM 102 y CM 103, para evaluar sus condiciones con el aceite sintético en un total de 66 muestras para examinar las participaciones de los metales en el aceite, como: cobre, hierro y silicio; obteniendo estos resultados mediante el programa de análisis de aceite Signum. El resultado fue que a 750 horas no superaron los valores críticos recomendados por S.O.S CAT. También se implementó un plan de mantenimiento preventivo para los intervalos de tiempo con aceite sintético. Las participaciones de cobre, hierro y silicio, no superaron los valores recomendados por S.O.S CAT de 27ppm, 41ppm y 8ppm respectivamente, concluyendo que el intervalo de cambio de aceite es correcto. El cambio de aceite mineral a sintético, implicó un beneficio anual de 2744510.72 dólares.

Palabras Clave: Mantenimiento Preventivo y Predictivo, Disponibilidad, Confiabilidad, Aceite sintético, Aceite mineral.

ABSTRACT

The Mining Company Chinalco Peru SA, in its evaluation to improve operating conditions of its 16 units, decided to migrate from mineral oil Mobil Delvac MX 15W-40 to synthetic oil Mobile Delvac 1Esp 5W-40, to obtain benefits in increased availability of equipment. In this research, predictive maintenance to a sample of two trucks, CM 102 and CM 103, was performed to assess their conditions with synthetic oil in a total of 66 samples, to examine the presence of metal in the oil, such as copper, iron and silicon; obtaining these results through the program Signum Oil Analysis. The result was that for 750 hours they did not exceed the critical values recommended by SOS CAT. A preventive maintenance plan for the time intervals with synthetic oil was also implemented. The presence of copper, iron and silicon, did not exceed 27ppm, 41ppm and 8 ppm values respectively, concluding that the oil change interval is correct. The change from mineral oil to synthetic, represented annual savings for a total amount of US\$ 2744510,72.

Key words: Predictive and Preventive Maintenance, Availability, Reliability, Synthetic oil, Mineral oil.

I. INTRODUCCIÓN

El área de mantenimiento de la Empresa Minera Chinalco se ha visto afectada por problemas en los camiones CAT 797F HAA de acarreo, en el sistema de lubricación del motor, los cuales utilizan el aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40, que se cambia cada 250 horas. El problema reside en el tiempo que se tarda para el cambio de aceite, que en promedio son 7 horas por camión, de 16 camiones en operación. Las pérdidas económicas por parada de cada camión CAT 797F HAA es de 1800.00 \$/hora, siendo 28 cambios/año con aceite mineral por cada camión, es decir 3136 horas/año en cambio de aceite mineral, obteniendo una pérdida anual de 5644800.00 \$/año. La empresa minera Chinalco al evaluar cómo mejorar sus condiciones de operación de sus 16 unidades, planteó la migración del aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40 al aceite sintético Mobil Delvac 1Esp 5W-40 el cual se propone extender en intervalos de cambio de 500 horas, para obtener beneficios en mayor disponibilidad y confiabilidad de sus equipos. En la presente investigación, se buscó validar esta estrategia realizando mantenimientos predictivos en la flota de la empresa para evaluar la participación de metales en el aceite. Es decir, el problema de estudio se centró en demostrar que la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo a los motores C-175 de los camiones CAT 797F HAA aumentará la disponibilidad y confiabilidad operacional. Otros estudios previos en este campo se han considerado como antecedentes a este trabajo: en primer lugar la tesis: “Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento preventivo basado en la lubricación que permita mejorar la confiabilidad de las maquinarias en la planta Merrill Crowe de minera Coimolache S.A.” realizada por Daniel Castillo Félix y Oscar Cieza Castañeda de la Universidad Privada del Norte (Trujillo-Perú) en el 2013, se enmarcó dentro de los conceptos del mantenimiento preventivo, fundamentalmente dentro del sistema de lubricación. Esta empresa minera peruana se dedica a la extracción de oro en el Perú, y con la base teórica adquirida en mantenimiento, se realizó un diagnóstico de la gestión actual del sistema de lubricación encontrando estos problemas: temperaturas de funcionamiento elevadas, fugas de lubricante, lubricante inadecuado y tiempo de demora para realizar las tareas de lubricación. Dentro de las principales causas de los problemas del sistema de lubricación actual se encontraron: Gestión de la lubricación, Infraestructura, Método y Entrenamiento, dentro de los resultados que se esperan con la implementación de este nuevo sistema es mejorar la confiabilidad de la maquinaria de la planta. Se realizó también el análisis de costo-beneficio, de las propuestas mencionadas para evaluar el posible resultado si es que se ponen en marcha. Otro antecedente fue la tesis: “Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el

mantenimiento del equipo pesado del ilustre municipio del Cantón Archidona” elaborada por Luis Giovanni Viteri Bonilla y Juan Carlos Jaramillo Hidalgo² en el 2011, en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo (Ecuador). El mantenimiento que se realiza dentro del Municipio de Archidona era de tipo correctivo, el mismo que generaba un fuerte egreso económico y los consecuentes problemas de operación al interior de la institución; por lo que fue necesario diseñar un programa de mantenimiento para la mejora en la conservación del equipo pesado, utilizando el análisis de aceites lubricantes usados bajo el concepto del estudio espectrométrico. La tesis: “Evaluación y planteamiento de mejoras en la gestión de mantenimiento del taller de vehículos de mina (mcc), mantenimiento centrado en confiabilidad, Minera Loma de Níquel” realizada por García V, Diego³ en la Universidad Central de Venezuela en el 2006, es la compilación de lo observado en la Empresa con el fin de proporcionar al Taller de Vehículos de Mina de Minera Loma de Níquel y en especial al área de planificación del mismo, sugerencias de cómo calcular los principales indicadores usados en una gestión de mantenimiento y la importancia de estos. El trabajo es un estudio técnico y tuvo los siguientes alcances: Se hizo un estudio de la gestión de mantenimiento de la empresa utilizando la NORMA COVENIN 2500-93, se realizó la modelación estadística de la data en un programa, el cual determina la confiabilidad, tiempos entre fallas, también se realizó el cálculo de disponibilidad, y el planteamiento de recolección de data para el cálculo de la mantenibilidad. Para el desarrollo del procedimiento a usar en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) se hizo el estudio de análisis de modos y efectos de fallas, para seleccionar las tareas de mantenimiento. Se introdujo el concepto de mantenimiento predictivo/proactivo, para reducir las paradas forzadas o preverlas, así como también se realizó un análisis de criticidad de las unidades, todo esto acercando a la gestión de activos en dicha área, a un Mantenimiento Clase Mundial. Teniendo como base los antecedentes expuestos, la presente investigación tuvo como objetivos realizar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo a los motores C-175 de los camiones CAT 797F HAA para aumentar la disponibilidad y confiabilidad operacional reduciendo el número de fallas y permitir su mayor control y optimización de costos, elaborar el plan de mantenimiento basado en la lubricación, tomar muestras de aceite y reducir costos del mantenimiento de los motores C-175 de los camiones CAT 797F HAA.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Tribología y Lubricación

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias. La lubricación, la fricción y el desgaste

tienen una función fundamental en la vida de los elementos de máquinas. El término tribología viene del término griego tribos, que significa frotamiento o rozamiento y logía que viene a ser ciencia, por tanto la traducción literal será "la ciencia del frotamiento". La mayoría de las consecuencias de la fricción y el desgaste se consideran negativas, tales como el consumo de energía y la causa de las fallas mecánicas⁴. El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante (gaseoso, líquido o sólido) de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste. El lubricante en la mayoría de los casos es aceite mineral. En algunos casos se utiliza agua, aire o lubricantes sintéticos cuando hay condiciones especiales de temperatura, velocidad, etc. Históricamente es interesante señalar que únicamente con la mejora de los procesos de fabricación de elementos metálicos (a partir de la revolución industrial) y el aumento de las velocidades de giro de ejes y elementos rodantes se ha podido obtener los valores de disponibilidad que actualmente tenemos con ellos. El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo. La aplicación típica en ingeniería mecánica es el cojinete, constituido por muñón o eje, manguito o cojinete⁴.

2.2. Aceites para lubricación

Para que un fluido pueda tener buenas cualidades en la lubricación, debe estar constituido preferentemente por moléculas cuyos átomos se enlacen en un mismo plano, formando anillos. Estos anillos planos pueden desplazarse muy fácilmente unos sobre otros como si se tratara de láminas separadas sin grandes fuerzas de cohesión. Esta condición de ser "pegajoso" o "untoso" es otra propiedad deseable de un buen lubricante, de manera que una vez en contacto con la superficie no se escurra de ella muy rápidamente. Estas propiedades deseables están presentes en muchas sustancias químicas o sus mezclas tanto de origen mineral, animal, vegetal o sintético y en general, se conocen como aceites. Otra condición necesaria para que un aceite sea un buen lubricante es que mantenga esas propiedades deseables, esto es, sea estable al tiempo en las condiciones donde va a ser utilizado. En general los aceites de naturaleza animal y vegetal son menos estables y más caros que los aceites minerales y sintéticos, por lo que su utilización en el campo de la lubricación es más restringida, y está dirigida solo a ciertas aplicaciones. De esta forma, el gran mundo de los lubricantes consiste en aceites de origen mineral y sintético.

2.2.1. Aceites minerales

Los aceites minerales, están constituidos casi exclusivamente por mezclas de hidrocarburos de largas cadenas carbonadas resultantes de la destilación fraccionada del petróleo, estas fracciones se obtienen a temperaturas de evaporación mayores que la fracción de combustibles Diesel, y por debajo de la de los aceites superpesados, asfaltos y alquitranes presentes en el petróleo original. Aunque de manera natural, estas mezclas de hidrocarburos de carácter aceitoso presentan muy buenas características como lubricantes (aceite mineral puro) en condiciones normales; son susceptibles al cambio de sus propiedades a valores no deseables cuando se someten a las condiciones de alta temperatura, presión, elevada agitación y contaminantes, comunes en el trabajo en las máquinas actuales, especialmente en aplicaciones como los motores de combustión interna. El Mobil Delvac MX 15W-40 es un aceite mineral de muy alto rendimiento para motores diesel que proporciona una excelente lubricación a los motores diesel modernos aumentando la vida del motor. Su elevado rendimiento ha sido probado en un amplio rango de industrias, aplicaciones y flotas mixtas, y ofrece un insuperable rendimiento en motores modernos diesel de bajas emisiones, así como en motores más antiguos que operan con combustible de bajo o alto contenido de azufre. Mobil Delvac MX 15W-40 combina una mezcla de aceites base de alta calidad con un avanzado sistema de aditivos, que le proporcionan un control superior del espesamiento del aceite debido a la formación de hollín a elevadas temperaturas así como una insuperable resistencia a la oxidación, corrosión y depósitos a altas temperaturas. Los diseños cada vez más ajustados reducen el consumo de aceite dando lugar a un menor relleno con aceite nuevo. Los segmentos de fuego de los pistones están más altos lo que causa que la película de lubricante este sometida a mayores temperaturas en la cámara de combustión, dando como resultado una mayor tensión térmica. Mayores presiones de inyección y tiempos retardados mejoran la eficiencia de la mezcla pero también incrementan las temperaturas y el hollín que debe soportar el lubricante. Los principales beneficios de este tipo de lubricante se incluyen en la Tabla 1.

2.2.2. Aceites Minerales

Los Aceites Sintéticos son de relativa reciente introducción, no tienen su origen directamente de los aceites minerales obtenidos de la destilación del petróleo, sino que son creados en procesos industriales partiendo de elementos individuales o mezclas específicas obtenidas como sub-productos del petróleo o por procesos de refinación especial de los aceites minerales. Estos procesos de refinación y modificación producen lubricantes con características nativas mejores que los aceites minerales puros y la necesidad

de aditivos se hace menor y más selectiva. Al ser más larga y compleja su elaboración, resultan más caros que los aceites minerales.

Tabla 1. Propiedades y beneficios del Mobil Delvac MX 15W-40.

Propiedades	Ventajas y Beneficios potenciales
Alta estabilidad térmica y a la oxidación	Menor formación de lodos y depósitos
Reservas TBN	Control de depósitos
"Stay-in -grade" estabilidad al cizallamiento	Menor consumo de aceite y mayor protección contra el desgaste
Avanzada detergencia/dispersancia	Motores más limpios y vida más larga de los componentes
Mayor rendimiento alta temperatura/alto cizallamiento (HT/HS)	Reducción del rayado del motor y del pulido de camisas
Excelentes propiedades a bajas temperaturas	Mejor bombeabilidad/circulación del aceite Protección contra el desgaste durante el arranque
Compatibilidad con componentes cumple con las especificaciones de los principales fabricantes mixtas	Vida más prolongada de las juntas Un solo aceite para flotas

Fuente: Mobil del Perú⁵

El Mobil Delvac 1 Esp 5W-40 es un aceite totalmente sintético de rendimiento supremo para motores diesel de servicio pesado que ayuda a prolongar la vida útil de los modernos motores diesel utilizados en aplicaciones de trabajo pesado, al tiempo que permite alargar los intervalos de recambio del aceite y ahorrar combustible. En su fabricación se utiliza tecnología de última generación a fin de lograr un excepcional rendimiento en los modernos motores de baja emisión, incluidas las unidades refrigeradas, así como en motores más antiguos en buenas condiciones de mantenimiento. Mobil Delvac 1 5W-40 se recomienda para uso en una amplia gama de aplicaciones de servicio pesado y de entornos de trabajo que se pueden encontrar en la industria del transporte por carretera y en las industrias de la minería, la construcción y la agricultura. Mobil Delvac 1 también cumple la especificación API SL para los motores de gasolina empleados en flotas mixtas. Muchos de los motores diesel modernos de baja emisión generan mayores niveles de hollín y funcionan a temperaturas más altas que los motores más antiguos. Esto aumenta significativamente la necesidad de contar con lubricantes de rendimiento supremo. Los actuales motores de diseño más reducido disminuyen el consumo de aceite, lo que da lugar a una menor producción de aceite fresco para reabastecer los aditivos que se han agotado. Los aros superiores de los pistones están situados en una posición más alta, lo que hace que la

película de aceite se encuentre más próxima a la cámara de combustión y que el lubricante esté expuesto a un intenso estrés térmico. Mobil Delvac 1 Esp 5W-40 mantiene un excepcional rendimiento a temperaturas significativamente más altas que otros aceites de alto rendimiento para motores diesel. Asimismo, es totalmente compatible con los aceites convencionales. Sus beneficios se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y beneficios del aceite Mobil Delvac 1 Esp 5W-40.

Características	Beneficios
Resistencia a la oxidación	Reducción de la acumulación de lodos a bajas temperaturas y de la formación de depósitos a altas temperaturas
Mayor resistencia de la película a altas temperaturas	Reducción del rayado del motor y del pulido de cilindros
Estabilidad inherente al cizallamiento, con mantenimiento del grado durante su vida deservicio	Protección frente al desgaste y reducción del consumo de aceite; conservación de la viscosidad en servicios realizados en duras condiciones a altas temperaturas
Avanzada formulación y propiedades viscosimétricas	Mayor ahorro de combustible
Baja volatilidad	Reducción del consumo de aceite
Excepcional bombeabilidad a bajas temperaturas	Arranque más fácil del motor y reducción del desgaste
Arranque más fácil del motor y reducción del desgaste	Control de los depósitos y prolongación de los intervalos de recambio
Excepcional resistencia a la corrosión	Prolongación de la vida útil de superficies críticas de desgaste
Capacidad para permitir largos intervalos de recambio	Mayor eficiencia operativa y reducción de los costos globales
Compatibilidad con los componentes	Prolongación de la vida útil de juntas y sellos y de los intervalos de servicio

Fuente: Mobil del Perú⁵

Mobil Delvac 1 Esp 5W -40, se recomienda para uso en todas las aplicaciones diesel de súper alto rendimiento, incluidos los modernos diseños de motores de baja emisión con recirculación de los gases de escape (EGR, por sus siglas en inglés). Entre estas aplicaciones se encuentran:

- Motores de aplicaciones para transporte por carretera sometidos a condiciones de alta velocidad/alta carga y a frecuentes paradas y arranques
- Motores de aplicaciones no destinadas al transporte por carretera sometidos a duras condiciones de baja velocidad/ carga pesada
- Motores de gasolina de alto rendimiento y flotas mixtas
- Unidades de refrigeración.

2.3. Sistema de Lubricación de los motores C175

En la figura 1 se muestra un esquema del sistema de lubricación de los motores C-175.

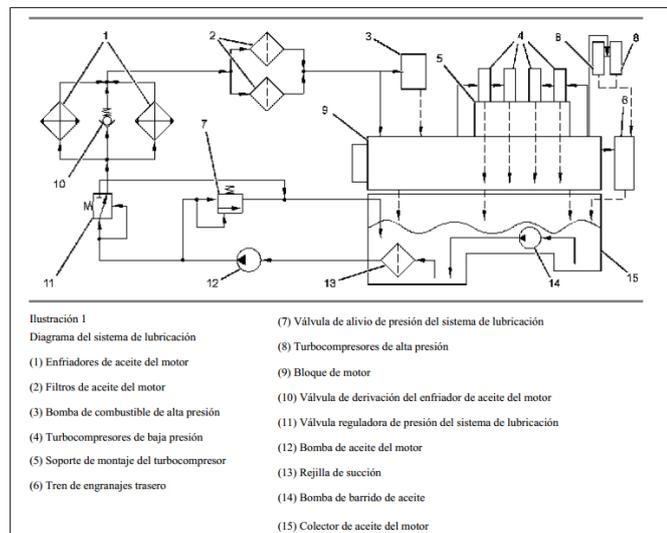


Figura 1. Sistema de lubricación de los motores C-175, de los camiones 797F HAA

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento Camión797 F⁶

2.4. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es una estrategia en la cual se programan periódicamente las intervenciones en los equipos, con el objeto principal de inspeccionar, reparar, conservar y/o reemplazar componentes. Las funciones que tienen la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad como herramientas son poderosas, pueden auxiliar en gran medida la toma de decisiones del personal de mantenimiento [7]. Las palabras confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, forman parte de la cotidianidad del mantenimiento. Si se analiza la definición moderna de mantenimiento, se verifica que la misión de este es “garantizar” la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado.

2.4.1. Criterio de Confiabilidad

La capacidad de un componente, equipo o sistema, de no descomponerse o fallar durante el tiempo previsto para su funcionamiento bajo condiciones de trabajo perfectamente definidas

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la investigación operativa ya que la asociamos a la probabilidad de ocurrencia de una falla en un período de tiempo determinado y bajo determinadas condiciones ambientales de operación.

$$C(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Ecuación(1)}$$

Donde:

- C (t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado.
- e: constante Neperiana (e=2.7183.)
- λ: Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)
- t: tiempo.

2.4.2. Criterio de Disponibilidad

La probabilidad de que un componente, equipo o sistema se encuentre operando en óptimas condiciones en un instante de tiempo y bajo condiciones de trabajo normales.

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- D: Disponibilidad en un tiempo “t” dado.
- MTBF: Tiempo medio entre fallas.
- MTTR: Tiempo medio para reparar.

2.4.3. Criterio de Mantenibilidad.

La probabilidad de restituir o volver al servicio, en un tiempo determinado, a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción en su funcionamiento, en otras palabras la mantenibilidad es el tiempo medio para reparar.

$$M(t) = MTTR \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

- M(t): Mantenibilidad en un tiempo “t” dado.
- MTTR: Tiempo medio para reparar.

2.5. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de rotura o avería de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza⁸. Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos. Las técnicas principales del mantenimiento predictivo son el análisis de lubricantes y el análisis de vibraciones.

2.5.1. Análisis de Lubrificantes

Estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según:
Análisis Iniciales: Se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas por cambios en condiciones de operación.

Análisis Rutinarios: Aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.

Análisis de Emergencia: se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o lubricante, según:

- Contaminación con agua.
- Presencia de partículas sólidas (filtros y sellos defectuosos).
- Uso de un producto inadecuado.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue experimental, de diseño explicativo y tipo de estudio aplicativo.

3.1. Variables

- Variable Independiente: Plan de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Variables Dependientes: Intervalo de tiempo de cambio del aceite mineral.
- Tiempo de operación de los camiones de acarreo.
- Tiempo promedio para reparar (mantenimiento – cambio de aceite)
- Intervalo máximo de tiempo de cambio, con aceite mineral.
- Beneficios económicos.
- Valores óptimos de los indicadores del mantenimiento.

3.2. Población

Flota de 16 camiones de acarreo CAT de la minera Chinalco Perú S. A.

3.3. Muestra

- Camiones de acarreo CAT 797F HAA, CM 102 y CM 103, con aceite sintético.
 - Camiones de acarreo CAT 797F HAA, CM 105 y CM 106, con aceite mineral.
- El muestreo fue no probabilístico.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Las técnicas que se utilizaran en esta tesis serán:

a) Técnicas:

- Reportes de estado, de los camiones de acarreo con aceite mineral y sintético por laboratorios de Mobil: para determinar el grado de contaminación del aceite durante determinados periodos de tiempo, estas muestras de laboratorio arrojan participaciones de

plata, aluminio, boro, bario, calcio, cromo, cobre, hierro, potasio, magnesio, molibdeno, sodio, Níquel, fosforo, plomo, silicio, estaño, vanadio y zinc.

- Reportes diarios, de los camiones de acarreo por el departamento de lubricación de la minera Chinalco: para determinar el tiempo de operación anual de los camiones, intervalos de cambio de los aceites y tiempo promedio para cambiar el aceite y reparar.

b) Instrumentos:

- Programa de análisis de aceite Signum.
- Programa de análisis de aceite S.O.S.CAT.

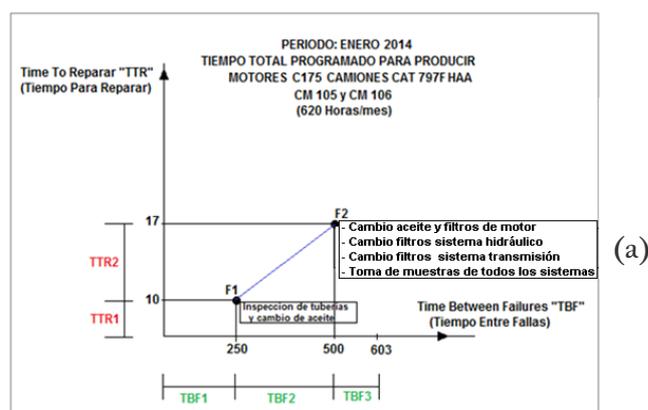
3.5. Métodos de Análisis de Datos:

- Con los reportes de estado, se requiere comparar el comportamiento del motor con aceite mineral y aceite sintético en intervalos de tiempo para extraer las participaciones de operación y compararlas con las participaciones nominales, para poder evaluar si la muestra esta normal o en alerta, y así poder determinar los rangos de intervalos de cambio con aceite mineral y sintético.
- Con los reportes diarios, determinaremos los indicadores del mantenimiento: disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad con aceite sintético y aceite mineral.

4. RESULTADOS

Los camiones CAT 797F HAA, trabajan en promedio 7300 Hrs/año (20hrs/día), su único problema está relacionado con el sistema de lubricación del motor C-175, los cuales utilizan el aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40, el cual se cambia cada 250 horas. El problema está en el tiempo que se tarda para el cambio de aceite que en promedio va desde 7 a 10 horas por camión (en este intervalo de tiempo se aprovecha realizar cambios de colectores, válvulas, rejillas, inspecciones de tuberías y filtros de aceites)

En la Figura 2 se muestran los TBF y TTR de los motores C-175, de los 2 camiones 797F HAA: CM 105 y CM 106 con las mismas intervenciones de fallas en el sistema de lubricación, consumiendo aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40 para el mes de enero y febrero. Se elaboraron gráficos similares para cada mes hasta diciembre.



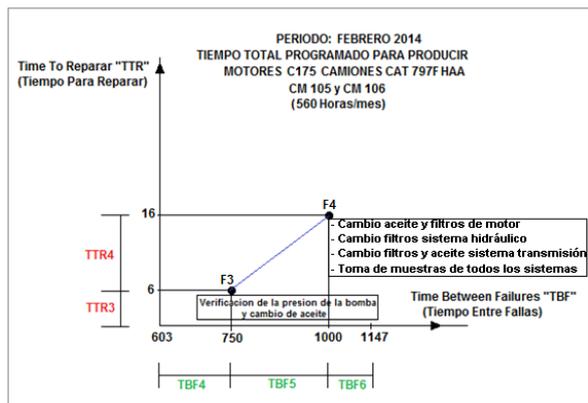


Figura 2. Historial de fallas (intervenciones al sistema de lubricación) –Enero y Febrero con aceite mineral.
Fuente: Elaboración Propia.

En diciembre se finalizó las 7300hrs de operación con aceite mineral.

Para el historial con aceite sintético (“en mejora”) se tuvo diagramas similares. En la Figura 3 se muestran los correspondientes a los dos primeros meses.

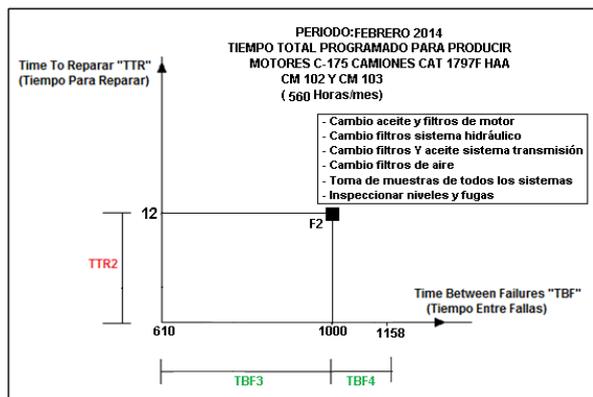
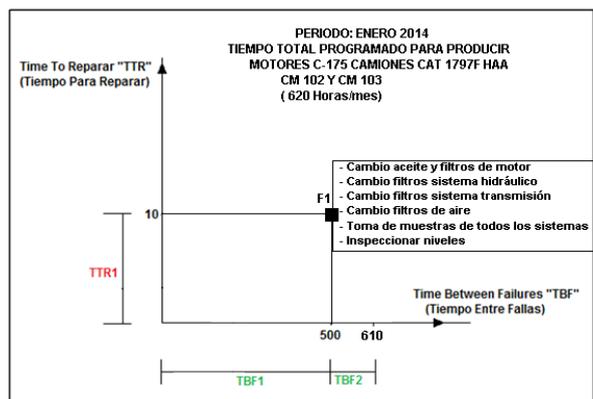


Figura 3. Historial de fallas (intervenciones al sistema de lubricación) –Enero y Febrero con aceite sintético.
Fuente: Elaboración Propia.

La comparación de indicadores obtenidos con aceites sintético (rojo) y mineral (azul) se muestran en las Figuras 4, 5 y 6.

(b)



Figura 4. Comparación entre la disponibilidad con aceite mineral y con aceite sintético.
Fuente: Elaboración Propia.

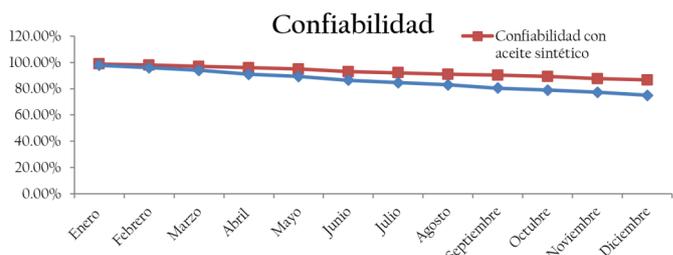


Figura 5. Comparación entre la confiabilidad con aceite mineral y con aceite sintético.
Fuente: Elaboración Propia.

(a)

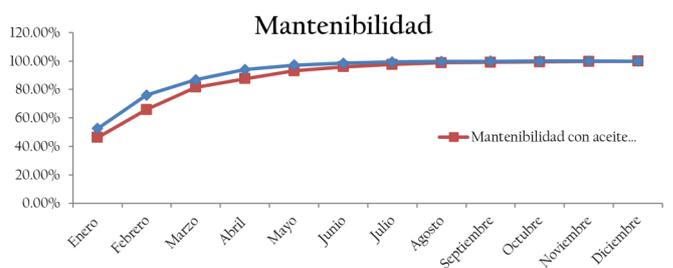


Figura 6. Comparación entre la mantenibilidad con aceite mineral y con aceite sintético.
Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los costos obtenidos para cada indicador, se calculó el beneficio neto. El beneficio neto (“B”) obtenido por el cambio de aceite mineral a sintético, sería:

- B (neto) = (Costos por disponibilidad) + (costos por cambio de aceite) + (costos por mano de obra)
- B (neto) = 2822400.00\$/año -172972.8 \$/año + 95083.52 \$/año
- B (neto) = 2744510.72 \$/año.

Los indicadores del mantenimiento en estado actual se calcularon con el aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40 con intervalos de cambio cada 250 horas y los indicadores actuales con aceite sintético IESP 5W-40 cada 750 horas con tiempos para reparar de 7 a 10 horas en promedio, durante en este intervalo de tiempo se aprovecha realizar cambios de colectores, válvulas, rejillas, inspecciones de tuberías y filtros de aceites. El análisis predictivo para la evaluación con aceite sintético IESP 5W-40, se consideraron las participaciones más críticas que afectan o reducen la vida del lubricante tales como: el cobre, hierro y silicio. Considerando para

el análisis a los motores C 105 y C 106. En el análisis de costos se involucró a todos los camiones 797F, siendo 16 para obtener un beneficio neto, trabajando 20 horas/día, 7300 h/año. Los costos del aceite mineral Mobil Delvac MX 15W-40 y aceite sintético IESP 5W-40 fueron extraídos de los reportes de logística del área de lubricación.

5. CONCLUSIONES

5.1. Se concluye que al implementar el cambio de aceite mineral a sintético con intervalos de cambio de 250 horas y 750 horas respectivamente los indicadores del mantenimiento como la disponibilidad aumenta del 96.93% al 98% y la confiabilidad aumentan de 86.20% al 92.93 mientras la mantenibilidad disminuye de 92% al 88.76%.

5.2. Se realizaron los mantenimientos predictivos a la muestra de dos camiones: CM 102 y CM 103, para evaluar sus condiciones con aceite sintético Mobil Delvac IESP 5W-40, con un total de 66 muestras para evaluar las participaciones de los metales en el aceite como: cobre, hierro y silicio obteniendo estos resultados por el programa de análisis de aceite Signum. El resultado fue que a 750 horas no superan los valores críticos recomendados por S.O.S CAT. También se implementó un plan de mantenimiento preventivo para los intervalos de tiempo con aceite sintético. Los participaciones de cobre, hierro y silicio como se detalla en el capítulo de resultados no superan los valores recomendados por S.O.S CAT de 27ppm, 41ppm y 8ppm respectivamente, concluyendo que el intervalo de cambio de aceite es correcto.

5.3. El cambio de aceite mineral a sintético, implica los siguientes costos:

- El costo actual por disponibilidad de los camiones 797F HAA es de: 2822400.00\$/año
- El costo del cambio de aceite mineral a sintético es negativo porque el precio de aceite sintético es de 23.64 \$ y del aceite mineral es de 8.23\$, teniendo un costo de: -172972.8 \$/año
- Costos por mano de obra ahorradas por no cambiar aceite es de: + 95083.52 \$/año.

Obteniendo un beneficio neto: 2744510.72 \$/año el cual se consideró aceptable por el departamento de mantenimiento de la empresa Minera Chinalco Perú S.A.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Castillo Félix, Daniel y Cieza Castañeda, Oscar. Tesis: "Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento preventivo basado en la lubricación que permita mejorar la confiabilidad de las maquinarias en la planta Merrill Crowe de minera Coimolache S.A.". Perú. Universidad

Privada del Norte. 2011.

- [2] García V, Diego. Tesis: Planteamiento de mejoras en la gestión de mantenimiento del taller de vehículos de mina (mcc), mantenimiento centrado en confiabilidad, Minera Loma de Níquel. "Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 2006.
- [3] Viteri Bonilla, Luis Giovanni y Jaramillo Hidalgo, Juan Carlos. Tesis: "Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del ilustre municipio del Cantón Archidona". Ecuador. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 2011.
- [4] Rodrigo, Pascual. Gestión moderna de mantenimiento. segunda. Santiago, Chile : amg, 2002. 978-84-8342-101-7.
- [5] Móvil del Perú. Manual de lubricación. 2012.
- [6] Manual de Operación y Mantenimiento Camión 797 F. 2012.
- [7] Améndola, Luis José. Modelos mixtos de confiabilidad. segunda. España, Valencia: datastream, 2002. págs. 201-256. 978-84-940628-2-7. 2002.
- [8] Ávila Espinosa, Rubén. Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. Primera reimpresión. Cd. de México: Limusa Grupo Noriega Editores primera reimpresión, 1992. ISBN 968-18-2528-4. 1992.