

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Investigación

**Optimización del consumo de aceite y mayor
disponibilidad en camiones de acarreo de
mineral con análisis de aceite en la unidad
económica de cobre en la región Moquegua**

Freddy Abelardo Chura Anticona

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Industrial

Arequipa, 2019

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	v
I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y Formulación del problema	1
1.1.1 Problema General	1
1.1.2 Problema Específico.....	1
1.2 Objetivos de Problema.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivo Específico	2
1.3 Justificación e Importancia.....	3
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes:	4
2.2 Bases teóricas:	5
2.3 Definición de términos básicos:	7
III. METODOLOGÍA	11
3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución...	11
3.2 Identificación de requerimientos.....	13
3.3 Análisis de la solución.....	14
IV. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	16
4.1 Diseño	16
V. CONSTRUCCIÓN	20
5.1 Construcción.....	20
5.2 Pruebas y Resultados.....	21

CONCLUSIONES.....	24
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	25
----------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
----------------------------------	----

INDICE DE TABLAS Y CUADROS

Cuadro 1:	11
-----------------	----

Cuadro 2:	13
-----------------	----

Cuadro 3:	14
-----------------	----

Cuadro 4:	15
-----------------	----

Cuadro 5:	15
-----------------	----

Cuadro 6:	16
-----------------	----

Cuadro 7:	23
-----------------	----

NDICE DE FIGURAS

Figura 1:	5
-----------------	---

Figura 2:	17
-----------------	----

Figura 3:	18
-----------------	----

Figura 4:	18
-----------------	----

Figura 5:	19
-----------------	----

ANEXOS

Anexo1:	28
---------------	----

Anexo 2:	29
----------------	----

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María.

A la empresa Southern-Perú por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en el campo del Mantenimiento y poder desarrollar mi tesis.

A mi esposa e hijos por la paciencia que tuvieron conmigo en momentos que no tuve con ellos.

A la Universidad Continental y en especial a la escuela de Ingeniería Industrial por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

RESUMEN

La presente tesis tiene como finalidad, que este análisis de estudio y desarrollo ingenieril pueda. Pueda OPTIMIZAR EL CONSUMO DE ACEITE Y DAR MAYOR DISPONIBILIDAD EN CAMIONES DE ACARREO DE MINERAL CON ANÁLISIS DE ACEITE EN LA UNIDAD ECONÓMICA DE COBRE EN LA REGIÓN MOQUEGUA Evaluando a la vez la rentabilidad y sostenibilidad de implementar un laboratorio de análisis de lubricantes Brindando un procedimiento adecuado y simple de cómo realizar un análisis de lubricantes para analizar los costos de operación, los beneficios financieros y determinando la tasa de retorno de la inversión.

Los análisis de lubricantes pueden dividirse de forma sencilla en tres grandes grupos: Análisis inicial (selección del producto lubricante), Segundo; Análisis rutinarios (Determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación), Tercero; Análisis de emergencia (anomalía en el equipo y/o Lubricante)

Los equipos del sector minero de gran auge en la actualidad son sumamente costosos y para la mayoría de los empresarios tenerlos parados representa un costo significativo. Las grandes empresas que poseen este tipo de maquinaria de gran Costo deberán contar con laboratorios especializados en análisis de lubricantes que le permitan poder usar el adecuado mantenimiento y cuidado de su equipo.

Este proyecto generará utilidades a partir de los primeros años y recuperar la inversión en corto plazo de operación evaluando impactos ambientales y determinando que este laboratorio de análisis de lubricantes no representa mayores riesgos para el ambiente ni la salud del personal que labora en el mismo.

Palabras clave: Optimización, Diponibilidad, Mantenimiento, Aceite, Motor Diesel.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is that this analysis of engineering study and development can. OPTIMIZE OIL CONSUMPTION AND GIVE MORE AVAILABILITY IN MINERAL TRUCK TRUCKS WITH OIL ANALYSIS IN THE COPPER ECONOMIC UNIT IN THE MOQUEGUA REGION While evaluating the profitability and sustainability of implementing a lubricant analysis laboratory Providing an adequate procedure and simple how to perform a lubricant analysis to analyze operating costs, financial benefits and determining the rate of return on investment.

The analysis of lubricants can be divided easily into three main groups: Initial analysis (selection of the lubricant product), Second; Routine analysis (Determination of oil condition, level of wear and contamination), Third; Emergency analysis (equipment anomaly and / or Lubricant)

The equipment of the mining sector of great boom at present is extremely expensive and for the majority of the businessmen to have them unemployed represents a significant cost. Large companies that have this type of high-cost machinery must have specialized laboratories in lubricant analysis that allow them to use the proper maintenance and care of their equipment.

This project will generate profits from the first years and recover the investment in the short term of operation evaluating environmental impacts and determining that this laboratory of analysis of lubricants does not represent greater risks for the environment or the health of the personnel working in it.

Keywords: Optimization, Availability, Maintenance, Oil, Diesel Engine.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y Formulación del problema

Se requiere la aplicación de un correcto mantenimiento preventivo aumentado la disponibilidad y optimizando el consumo de aceite extendiendo la vida de aceite en dieciocho 18 motores diésel de modelo C17 para la flota 797F de Caterpillar extendiendo el cambio de aceite de 350 horas a 500 horas, La realización de este proyecto, ejecutado para la unidad económica de cobre en la región Moquegua, se realizará con pruebas química del análisis de aceite en uso para reducir los costos anuales por cambio de aceite de motor diésel a \$ 9,087 por volquete y obteniendo un beneficio anual de \$ 163,573 por flota aplicando estos cambios de aceite a toda la flota 797F (18 unidades) y de esta manera aumentar la disponibilidad de los equipos y la rentabilidad de la empresa. (Ver cuadro estadístico en Anexo 01)

1.1.1. Problema General:

- 1.1.1.1. ¿De qué manera podemos optimizar el consumo de aceite y mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de Cobre en la región Moquegua?

1.1.2. Problema Específico:

- 1.1.2.1. ¿De qué manera podemos optimizar el consumo de aceite en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de Cobre en la región Moquegua?
- 1.1.2.2. ¿De qué manera podemos obtener mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de Cobre en la región Moquegua?

1.2. Objetivos del Problema

1.2.1. Objetivo general:

- 1.2.1.1. ¿Analizar de qué manera podemos optimizar el consumo de aceite y mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de Cobre en la región Moquegua?

1.2.2. Objetivos específicos:

- 1.2.2.1. ¿Analizar de qué manera podemos optimizar el consumo de aceite en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de Cobre en la región Moquegua?
- 1.2.2.2. ¿Analizar de qué manera podemos obtener mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de Cobre en la región Moquegua

1.3. Justificación e importancia

Toda máquina se desgasta por el tiempo, por el funcionamiento y por múltiples agentes contaminantes a los que se ve expuesto. Sin embargo, la vida útil de un equipo puede ser alargada por alguna forma de mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo o proactivo.

De la misma manera que los fluidos corporales son valiosos indicadores de las condiciones de los organismos vivos, las maquinarias tienen en los lubricantes precisa información acerca del estado de la amplia gama de piezas lubricadas.

El presente estudio busca determinar la viabilidad técnica y económica del proyecto de construcción e implementación de un laboratorio de análisis de lubricantes que pueda captar esta demanda.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes Nacionales del problema

- El análisis químico de lubricantes de aceite mineral usados en los motores diésel optimiza y baja los costos de mantenimiento reduciendo la contaminación. [1]
- Existen herramientas estadísticas para verificar probabilidad de que un componente es decir el motor diésel y su lubricante funcionen correctamente sin presentar fallas en altas condiciones de operación como el acarreo de mineral con alto tonelaje, Consiste en el análisis de datos vida del componente. [2]

2.1.2 Antecedentes Internacionales del problema

- El análisis de desgaste de los metales en los motores diésel complementara en la interpretación de los límites condensorios calculados y establecidos con la finalidad de comparar y complementar los resultados para obtener conclusiones más precisas y confiables sobre el desempeño de los equipos y el tiempo del lubricante. [3]
- Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento. [4]
- “La selección del lubricante se basaba típicamente en la experiencia y el conocimiento. Hoy día, este modo de selección no es viable debido a los actuales

requerimientos de los diferentes ambientes que operan más rápido, más caliente y por más tiempo. Los lubricantes de hoy día deben satisfacer requerimientos extremos que son específicos para cada equipo en particular Tribología – estudio de la fricción, la lubricación y el desgaste – ha llegado a ser la base para la selección de los lubricantes. [...]” [5]

2.2 BASES TEÓRICAS Y DEFINICIÓN:

MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPd)

El Mantenimiento Predictivo es una técnica para pronosticar las fallas en una máquina, de tal manera que el equipo se pueda intervenir justo a tiempo, ante de la falla. Este tiempo de falla minimiza el tiempo de vida de los componentes. El Mantenimiento Predictivo es la relación de las variables seleccionadas y la vida del componente. Esto se logra mediante un monitoreo periódico hasta que el componente pueda fallar.

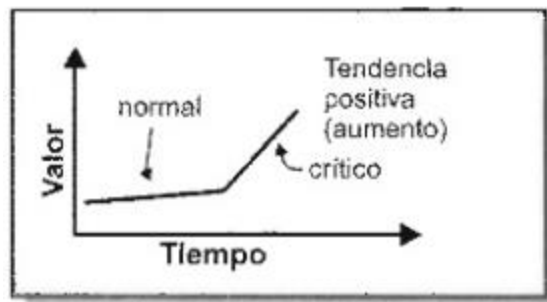


figura 1

Ejemplo de Curva Típica de aumento de contaminantes en el tiempo

CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS DEL ACEITE

El Análisis de aceite consiste en una prueba de laboratorio que se usan para evaluar condición del lubricante usado, en este caso para nuestra variable de estudio en los motores diésel. Del análisis de resultados se obtiene la

información suficiente que permite una toma de decisiones como el cambio oportuno del lubricante o si es necesario someterlo a un proceso de filtrado o diálisis para prolongar el tiempo de uso del lubricante, por lo que también podemos elaborar un diagnóstico sobre la condición de desgaste de los componentes internos del motor diésel, además del control de la degradación del lubricante, control de contaminantes externos como el polvo y humedad, y el adecuado lubricante a utilizar.

Condiciones para el monitoreo del lubricante: [6]

- Las muestras deben ser tomadas en caliente y en operación del equipo.
- Utilizar puntos de muestreo definidos por el fabricante del equipo
- Tomar muestras a intervalos de tiempo definidos es decir a las 250h y luego a intervalos de 50 horas para prolongar el tiempo del lubricante, y antes de su cambio respectivo.
- Utilizar botellas limpias de contaminante externo con una adecuada cantidad de aceite usado con un etiquetado de datos estadísticos de las horas de equipo y componente.
- La calibración de los instrumentos y el uso de reactivos y solvente para el análisis de laboratorio deben ser preparados por personal calificado.
- Los resultados deben ser interpretados por Analistas certificado de flota del equipo

2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS [6]

VISCOSIDAD

La viscosidad es la propiedad individual más importante de un lubricante. La viscosidad tiene efecto en la capacidad del lubricante para proteger los componentes de la máquina y el consumo de energía por fricción.

Los cambios en la viscosidad son consecuencia de alteraciones moleculares del lubricante o derivados de su contaminación. Ambas situaciones son graves por su naturaleza y por las consecuencias que provocan en la maquinaria a las que se supone el lubricante debe proteger. Los límites pretenden establecer un máximo permisible de la variación de la viscosidad de manera que las consecuencias de estos cambios no tengan un efecto mayor en la maquinaria. Dependiendo del tipo del lubricante y su aplicación, se deben establecer los límites superior e inferior.

NÚMERO ACIDO (TAN)

Para determinar el límite ácido (TAN) del lubricante depende de la naturaleza y su formulación por el fabricante, los aceites que contienen aditivos tienen un comportamiento de disminución del ácido hasta alcanzar un punto de tendencia negativa, donde empieza el proceso de oxidación del aceite y el deterioro del aceite.

NÚMERO BASICO (TBN)

La determinación de límites en un lubricante de motor está en función de su línea de base, es decir el valor BN del aceite nuevo. Los fabricantes

establecen valores de advertencia y mínimos específicos. Es recomendable que se verifiquen los valores recomendados, por lo general una disminución del 50% se considera como advertencia de degradación del paquete de aditivos

OXIDACIÓN

Un incremento en los productos de oxidación significa que el lubricante se está degradando, ya sea por un agotamiento natural de los aditivos, debido al trabajo, o por alguna razón anormal proveniente de contaminación o condiciones de operación.

NITRACIÓN

Los productos de nitración se forman durante el proceso de combustión de los motores como resultado de un paso de gases anormal y en condiciones de combustión pobre, los cuales son más pronunciados en altas temperaturas.

SULFATACIÓN

Un incremento de la sulfatación corresponde a la formación de productos derivados del azufre que en el caso de motores de combustión interna tienen que ver con el combustible. Algunos lubricantes contienen aditivos que contienen azufre en su formulación y pueden reportar valores bajos en esta prueba. El valor puede establecerse en 25% de incremento con respecto a los valores iniciales de contenido de azufre.

HOLLIN

En motores diésel el hollín es un contaminante natural proveniente del proceso de combustión. Una vez que los aditivos dispersantes del aceite se

agotan, las partículas empiezan a aglomerarse y a crecer de tamaño, incrementando la viscosidad del aceite y contribuyendo a la formación de depósitos que obstruyen el paso del lubricante o tapan los filtros de aceite. Una cantidad excesiva de hollín ocasionará que se consuma rápidamente los aditivos detergentes del aceite. Un incremento en la concentración de hollín también agota los dispersantes, que son en ocasiones fuentes de la reserva alcalina. Un contenido de hollín del 2% o más, es un síntoma de problemas en un motor de combustión interna y la causa debe ser investigada.

REFRIGERANTE

En equipos que utiliza líquidos en sus sistemas de transferencia de calor, los cuales contienen compuestos de base de glicol, es probable la fuga de este líquido al compartimiento del aceite. En estos eventos, el glicol atacará los aditivos del aceite y ocasionará la aglomeración de los productos en suspensión y formará compuestos ácidos. La acumulación de los sólidos traerá como consecuencia un incremento de la viscosidad.

ESPECTROMÉTRIA DE ELEMENTOS ATÓMICOS

Establecer límites es parte importante en cualquier prueba, pero para el análisis de elementos metálicos por espectrometría se presenta importantes retos que por lo general conducen a una gran confusión y a frustraciones. La mayoría de las personas quieren tener un valor de referencia con el cual se pueda determinar rápidamente si el resultado del análisis de lubricantes es

normal o anormal, desafortunadamente hay muchas variables que no permiten que esto sea siempre tan simple.

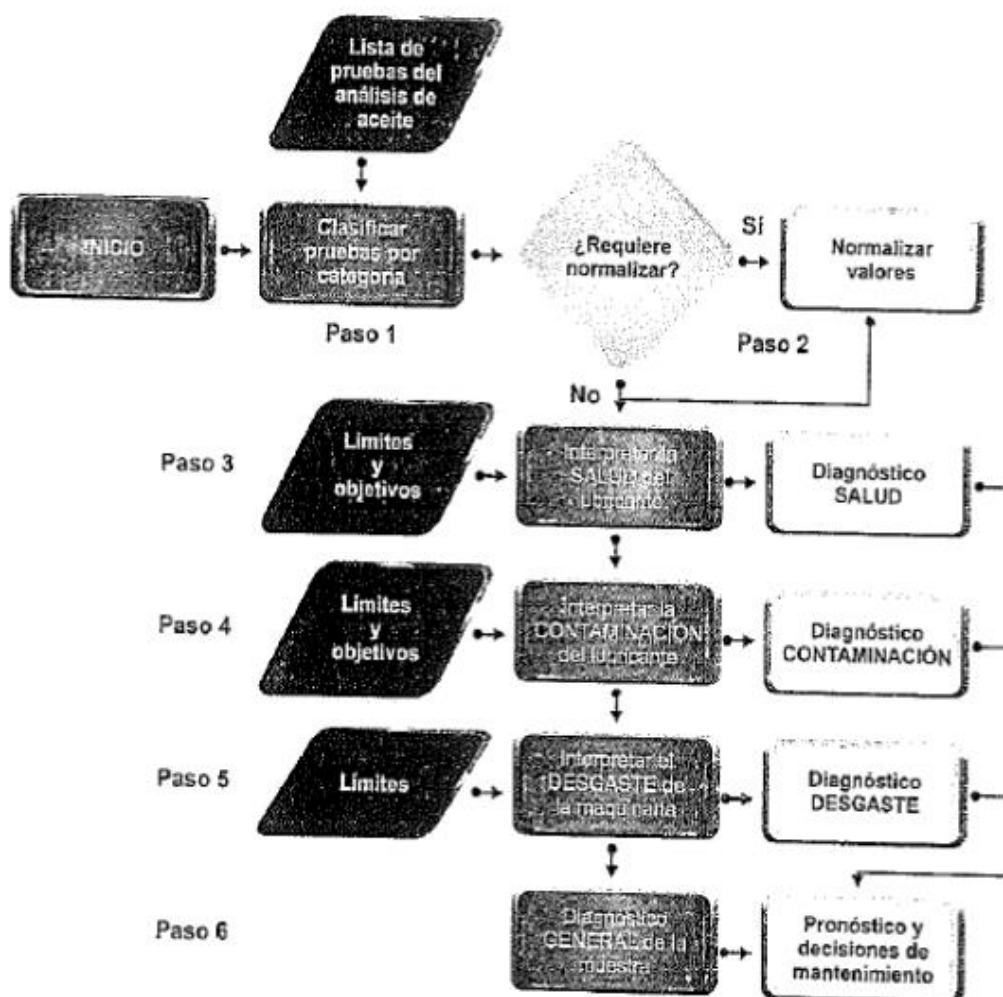
Para interpretar los resultados provenientes de este análisis es necesario clasificar los elementos de acuerdo a las tres categorías del análisis de lubricante es decir, los que corresponden a la salud, los que dañen al ingreso de contaminantes y los relacionados con los metales de desgaste de la maquinaria.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

El Análisis de aceite es una prueba múltiple de laboratorio que se usa para evaluar condición del lubricante usado en los motores diésel, El estudio de estos resultados de laboratorio se obtiene información importante que permite tomar decisiones en cuanto a la necesidad de cambiar el lubricante o de someterlo a un proceso de filtrado. Con este análisis también se puede elaborar un diagnóstico sobre la condición de desgaste del equipo.

La Metodología Consiste:



“Metodología e Interpretación de Lubricantes” Cuadro 1 [9]

- Control de degradación del aceite

Existen muchas causas que puede deteriorar químicamente el lubricante entre ellas las causas más comunes son la oxidación, la descomposición térmica, el micro-dieseling, el agotamiento de aditivos y la contaminación.

- Control y Monitoreo de daño y desgaste mecánico interno

El desgaste en el componente es debido al impacto por gravedad o a la fuerza centrífuga, el material transportado produce impactos en la superficie, arrancando partículas de desgaste por abrasión mecánica o corrosión: constante arranque de material y, por ejemplo, consecuente disminución continuada del grosor de pared de un componente produciendo una falla catastrófica ocasionando que el componente falle antes del tiempo recomendado.

- Control de contaminantes por sólidos, fluidos o gases

La contaminación del **aceite lubricante** afecta tanto al propio lubricante como a la máquina, puede resultar mucho más dañina con la contaminación de partículas sólidas y en muchas ocasiones no se considera la principal causa de fallo en componentes los fluidos o gases, pero en esta oportunidad daremos énfasis en la contaminación en general para alcanzar nuestro objetivo.

- Verificar que se está usando el lubricante adecuado

El uso de lubricante adecuado en el equipo es primordial para la conservación del componente en el equipo, los fabricantes han diseñado aceites más sofisticados con la finalidad de rendir más en los duros procesos de condiciones extremas de trabajo sometidos a altas temperaturas y presiones, siempre que sean inocuos posible con el medio ambiente. A lo largo de los años el desarrollo de la ingeniería ha formulado nuevas generaciones de fluidos para optimizar la vida útil de los equipos.

- Alargar el tiempo estimado de los componentes y del lubricante

A lo largo de los años el desarrollo de la ingeniería ha formulado nuevas generaciones de fluidos para optimizar la vida útil de los equipos beneficiando de esta manera el componente:

- Prolongando los intervalos de cambio de aceite.
- Reduciendo costos de Posesión y operación
- Aumentando el tiempo de actividad del equipo

3.2 Identificación de requerimientos

TOMA DE MUESTRAS:

La frecuencia del muestreo será cada 48 horas (pasadas las 333hrs), Se realizará el análisis de las siguientes pruebas:

- Viscosidad a 100°C (ASTM-445)
- Oxidación
- Contenido de Hollín (Soot)
- Dilución por Combustible
- Porcentaje de Agua por destilación
- TBN (Acidez del Lubricante)
- Nitración y Sulfatación (FTIR)
- Metales de Desgaste: (Fe, Cu, Al, Cr, Pb, Sb, Mb).
- Metales que verifican contaminación: (Si, Na, K, B).

CARACTERISTICAS ACEITE MOBIL DELVAC MX15W40:

Límites condenatorios: Mobil Delvac MX 15W40					Valores de Condición del Aceite:	
Prueba	Crít.	Caut.	Crít.	Caut.		Valores límites
Dilución con combustible	5.01	1.5			Viscosidad (100°C)	+/- 3 cst
Glycol (Vol%)	0.01				Soot	60 UFM
Soot (Abs/0.1 mm)	0.87				Nitración	12 UFM
Viscosidad @100C	18.2	17	10.8	11.9	Sulfatación	34 UFM
Oxidación	0.26	0.20			Oxidación	17 UFM
Nitración	31	20			Combustible	> 4%
TBN	4	5			Agua	> 0.5%
Agua (Vol%)	0.3					

Cuadro 2

3.3 Análisis de la solución

PERIODOS DE CAMBIO DE ACEITE, FILTROS Y PAPEL COF:

- Se cambiará el aceite de motor cada 400 h horas por los 02 primeros cambios de aceite al comenzar las pruebas.
- Luego de las iniciales 400hrs se pasará a cambiar el aceite de motor cada 500 h horas.
- Se tomará muestras de aceite, antes del cambio del aceite y después del cambio del aceite (operar durante 10min).
- Se registrarán los rellenos de aceite.
- Los cambios de filtros de motor (aceite y combustible) se realizarán cada 500 h ó condición detectada en el VIMS (incremento de la presión diferencial en más de 9 psi).
- Se cambiará el papel COF cada 500hrs. Se debe de medir el espesor y peso del papel retirado.
- Se inspeccionarán y analizarán los filtros de aceite en cada cambio.
- Se realizará inspección, análisis y limpieza de la rejilla de motor en cada Cambio.

COMPORTAMIENTO ACTUAL DE DESGASTE DE ACEITE Y LIMITES PREDICTIVOS DEL COMPONENTE:

Elemento	Promedio 250 hrs	Promedio 333 hrs	No requiere acción CAT 500 hrs	En seguimiento CAT 500 hrs	Acción Inmediata CAT 500 hrs
Hierro (ppm)	19	20	0-45	46-53	> 53
Cobre (ppm)	2	2	0-19	20-28	> 28
Cromo (ppm)			0-2	3-4	>4
Aluminio (ppm)	2	2	0-3	4-5	> 5
Plomo (ppm)	1	1	0-2	3-4	> 4
Estaño (ppm)			0-2	3-4	>4
Silicio (ppm)			0-6	7-8	>8
Soot	23	29	0-40	41-59	> 60
Oxidación	8	9	0-13	14	> 15

Cuadro 3-Tendencia camiones 333hrs / Wear table 2013 para 500 hrs

La evaluación de resultados del análisis se realizará considerando los límites predictivos que han sido ajustados estadísticamente y de acuerdo a la evolución en el tiempo de la prueba.

CONDICIONES DE TÉRMINO DE PRUEBA

En el caso que los resultados indiquen rangos condenatorios encuentren fuera de los límites permisibles se procederá con el cambio del aceite (drenaje y nuevo llenado) y se realizará un proceso de análisis de causa raíz de la condición anormal.

Los Parámetros considerados: Viscosidad, Fierro (Fe), Soot, Oxidación, Sulfatación,

Plomo (Pb), Contaminación con combustible, refrigerante.

Se da por terminada la prueba en el caso que el aceite sea cambiado en 03 oportunidades antes de las horas objetivo de este proyecto.

	Valores limites
Viscosidad (100°C)	+/- 3 Cst
Soot	90 UFM
Nitración	12 UFM
Sulfatación	34 UFM
Oxidación	20 UFM
Combustible	> 4%
Agua	> 0.5%

Cuadro 4: (*) Valores solo en motores con COF. (M0084929)

En caso que durante la prueba los valores de Hierro y/o plomo supere los valores de la tabla siguiente, el motor deberá de ser retirado para su reparación.

Test	797F Engine Not-to-Exceed Recommendations
Fe	80 ppm
Pb	4 ppm

Cuadro 5

EVALUACION DE COMPONENTES INTERNOS DESPUES DEL PERIODO DE PRUEBA:

Durante la prueba se monitoreará a los dos (2) equipos seleccionados:

- El estado de dos (2) metales de biela a ¼ de vida del motor (3500-4000 horas).
- Inspección de dos (2) metales de biela a ½ de vida del motor (7000-7500 horas) o al PCR (14000-15000 horas).

Adicionalmente en el overhaul se revisará componentes como turbos, metales, bielas, etc. para determinar el desempeño del lubricante en cuanto a protección ante el desgaste y mayor vida útil del componente.

Considerando las inspecciones de metales los repuestos indicados en el anexo.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR:

Se monitoreará el rendimiento del motor a través de su área de Mantenimiento predictivo. Para ello, los datos de los camiones que están siendo monitoreados serán evaluados y comparados con los tomados durante la línea base.

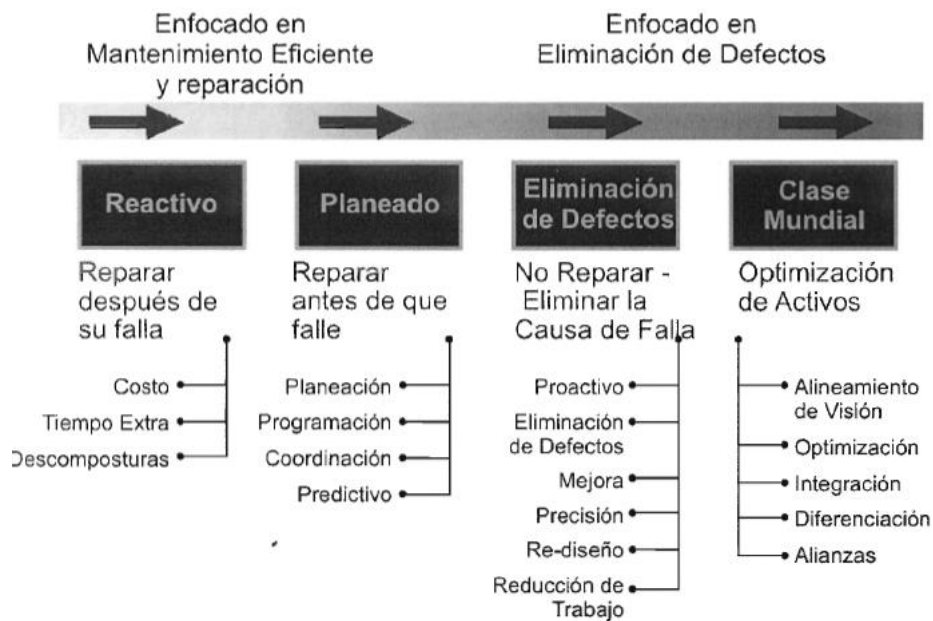
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1 Diseño.

El Mantenimiento Predictivo se enfoca a *“Los Síntomas De Falla Que Se Identifican Utilizando Las Distintas Técnicas De Análisis De Aceite y análisis de vibraciones, además de ensayos no destructivos, radiografías, ultrasonido, termografía, etc. permiten detectar síntomas de falla de la maquinaria”* [7]

El análisis de aceite es una de las técnicas más utilizadas para diagnosticar fallas prematuras en los equipos y diagnóstico temprano de componentes en los motores diésel

El Camino al Mantenimiento Clase Mundial



Cuadro 6: Técnicas usadas para diagnosticar fallas [8]

Instrumentos de recolección de datos:

Como ya dijimos, el trabajo de analizar una muestra de aceite (u otro fluido) en uso, consiste en realizar un conjunto de ensayos de laboratorio con el fin de determinar la presencia de contaminantes en el aceite, su origen, así como de verificar eventuales cambios en las características del fluido. Estas informaciones son obtenidas y procesadas por personal especializado, utilizándose técnicas y equipamientos

modernos. Es de destacar que para que el trabajo sea redituable el muestreo debe realizarse en forma adecuada: equipo en funcionamiento y a la temperatura de operación, envases nuevos para muestras, cantidad suficiente de muestra, datos del equipo (producto, horas, kilómetros), etc.

Los ensayos más utilizados y su significación son: [8]

Viscosidad cinemática (ASTM D-445): una medida de la resistencia del aceite a fluir. El cambio de la misma en los aceites usados pone de manifiesto problemas de oxidación, presencia de agua, dilución por combustible, etc. Viscosímetros de 1 baño Q300, Requiere pequeños volúmenes de muestra, de 0,3 a 0,6 ml. Bajo consumo de solvente, 2,5 ml por muestra. (Fig. 1)



figura 2

Determinación de contenido de agua (ASTM D-95): La presencia de agua puede indicar problemas vinculados al agua de refrigeración, condensación, etc. (Fig. 2)

Determinación del TBN (ASTM D-2896): Mide la capacidad residual de **aditivos básicos del lubricante** que protegen al equipo de la corrosión Infrarrojo medio (mid-IR) para medición de aceite en agua, TPH en el suelo Portátil, No requiere mantenimiento programado con resultados en menos de 15 minutos



figura 3

Análisis de metales: Por Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS). Existen tres fuentes que originan metales: metales de desgaste, aditivos y contaminantes (Fig. 3) Estos metales indican desgastes en componentes particulares de una unidad estudiada permitiendo evaluar el estado de los mismos (hierro, cromo, plomo, cobre, etc.) Contador-Clasificador de partículas y ferrografía. Provee el código ISO 4406(1999) entre otros. Cumple la Norma ASTM D7596.



figura 4

Aditivos: Existen metales en numerosos paquetes de aditivos de lubricantes; la caída de concentración de los mismos, dan una idea del deterioro de las propiedades del lubricante (Magnesio, Zinc, Calcio, etc.). (Fig. 3)

Contaminantes: Contaminantes externos (polvo, tierra, refrigerante) pueden ser detectados de acuerdo a componentes metálicos presentes en los mismos, indicando una falla en la estanqueidad del sistema lubricante (Silicio, Sodio, Aluminio, etc.). (Fig. 3)

Dilución por combustible por Cromatografía de gases (**ASTM D-3524**): El pasaje de combustible al aceite es frecuente en motores con problemas de mala relación aire/combustible por problemas de inyección, compresión, etc. (Fig. 2)

Determinación de contenido de insolubles (insolubles en pentano y tolueno; **ASTM D-893**): Indica la presencia de contaminantes sólidos (productos de oxidación, hollín, contaminantes externos) e identificación de la naturaleza de los mismos. (Fig. 2)

Blotter test (Cromatografía de gota) Mediante una gota de aceite en un papel adecuado se obtiene una primera información cualitativa valiosa sobre el estado del mismo.

Examen microscópico de cualquier partícula visible en la muestra o eventualmente en el filtro. La identificación cualitativa de la composición del metal revela componentes que están sufriendo el desgaste y el análisis morfológico sugiere modo y causa del mismo. (Fig.4)



Figura 5

CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN

5.1 Construcción

Procesamiento de Datos:

Este manejo de parámetros químicos puede ser muy útil para la evaluación del estado de la calidad de aceite en uso, pero difícilmente lo es para la información del estado del equipo, para el cual es necesario un seguimiento histórico del resto de parámetros como carga, condición de trabajo, etc.

Para construir una base de datos con gráficos en el tiempo nos permite, mediante la observación de cambios en cada uno de los elementos de partículas ferrosas como la tasa de crecimiento de Fe, Cu Pb, Sn, Al, Si, Na, Viscosidad y PQI (indicada por la pendiente creciente en ppm), alcanzar el límite es estratégico para el mantenimiento proactivo y: detener el equipo antes que la falla ocurra.

Existe un cronograma de muestreo estricto en cada fabricante de cada equipo que recomienda un mantenimiento entre 200 o 250 horas, pudiendo requerirse una frecuencia mayor de muestreo de acuerdo a las necesidades.

Flujo de Información:

El procesamiento de la información surgida del análisis del aceite culmina con un informe del estado del mismo y sobre del motor diésel, éste es enviado al taller de reparación volquetes, donde se tomarán las acciones referentes al mantenimiento y se elaboran las tareas de acuerdo a las recomendaciones del laboratorio como una herramienta valiosa.

El flujo de información será el siguiente:

- Se deberá confirmar el tipo de aceite mineral en uso Mobil Delvac MX 15W40 con especificaciones API cumpla con los requerimientos del fabricante.
- Esta evaluación tendrá una duración de 7500horas donde se determinará si la prueba continua hasta su próximo mantenimiento general de 15000 horas (Overhaul)
- Los volquetes deben contar con los siguientes componentes: Filtro centrífugo 04 litros, Pre lubricador, pre filtro de combustible, caja de aire recomendados por el fabricante.
- El tipo de mantenimiento en estos volquetes será los siguiente:

PM500 (Frecuencia 500 horas) Duración 04 horas: Cambio de aceite, filtros de aceite, combustible y aire a la vez.

PM2500 (Frecuencia 2500 horas) Duración 04 horas: Calibración de Válvulas

PM7500 (Frecuencia 7500 horas) Duración 12 horas: Cambio de inyectores más PM2500

PM10000 (Frecuencia 10000 horas) Duración 12 horas: Cambio de turbos más PM2500

PM15000 (Frecuencia 15000 horas) Duración 48 horas: Cambio de Motor (Overhaul)

- Se monitorea y entregará 03 muestras de aceite a las 150 horas, 300 horas, luego cada 50 horas hasta las 500 horas de operación y laboratorio emitirá un informe de condición.
- Se llevará un control de del consumo de, nivel y rellenos de aceite de motor.
- En caso presentara un alarma critica por incumplimiento de límite (Anexo 00), se detendrá la prueba y se procederá a evaluar mediante un Análisis Causa Raíz (ACR).

EQUIPOS DE TRABAJO:

- Entre los que se recomiendan:
- Gerentes de territorio.
- Superintendente de sitio minero y Jefes del sitio minero.
- Representantes de ventas.
- Especialistas de equipos y especialistas de Predictivo.
- Ingenieros de Lubricación

5.2 Pruebas y Resultados

Resultados Esperados

Para llevar acabo se consideró 250hrs horas el intervalo de cambio de aceite para motores C175 con una extensión de 500 horas que permitirá obtener beneficios en Disponibilidad y menor consumo de fluidos y filtros para la organización.

El aceite en prueba fue el Mobil- Delvac MX 15W-40 cuyas especificaciones se encuentran en el Data-Sheet del proveedor, la duración de las evaluaciones tendrá una duración de media vida del motor (7000-7500 hrs), aproximadamente un año.

Entre los equipos seleccionados para estas pruebas se designará, según los siguientes lineamientos:

- Los equipos seleccionados deben de tener instalado el sistema de filtración centrífuga (cof). kit PN: 526-0099 los equipos seleccionados deben de tener instalado enfriadores tipo cuni. pn 491-0366
- Motor con “cero” o pocas horas de operación (nuevos, reparación general) en donde se haya identificado la buena salud del motor.
- Motor con “MEDIA VIDA” entre 7000 a 8000 hrs de operación en donde se haya identificado la buena salud del motor.
- La cantidad mínima de equipos debe de ser de 2 camiones.

LINEA BASE

Se deberá tener registro de todos los antecedentes que sean puntos de análisis para la prueba. Se registrará los datos, para así establecer la LINEA BASE para las futuras comparaciones de desempeño. Contemplar por lo menos los siguientes puntos:

- Modelo, serie, horas totales, horas en equipo del motor.
- Factor de Carga (Consumo de combustible)
- Horas desde el último Overhaul y Razón del último Overhaul
- Número de parte de los metales
- Presión de Aceite (tendencia)
- Consumo de Lubricante Real - Últimas 6.000 Hrs y actual.
- Consumo de Combustible Últimas 6.000 Hrs y actual (promedio mensual).
- Inspección de Fugas
- Registro de Temperaturas motor

CONSIDERACIONES DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO:

- Comportamiento real de desgaste de elementos internos (Fe, Pb, Al, Cu, Cr) y también comportamiento de la condición del aceite (Soot, TBN, Sulf, Viscosidad, Oxidación).
- Se deberá de realizar el relleno de aceite de motor cada 250hrs.
- Aplicación de Mejoras (SL, magazines, entre otros) antes del inicio de las pruebas.
- Resetear consumo de combustible (Totales ECM).

REGISTRO Y REPORTES DE STATUS DE EJECUCION:

Se deberá registrar la siguiente información durante la evaluación:

Número del equipo.

Fecha y horómetro de cada unidad al momento de iniciar las pruebas.

Horas de aceite (Si solo fue muestra, cambio o relleno).

Horas Acumuladas de operación.

REPORTE Y RESULTADOS DE ANALISIS DE DATOS:

- Reportes de eventos de motor (Eventos de taponamiento de filtros de combustible en perfectos estado).
- Reporte de tendencias: Parametros de Presión de aceite de motor, Restricción de filtros de aceite de motor, Restricción de filtros de combustible en buenas estado de condición.
- Reporte de payload (Balanzas calibradas y en perfecto estado de cargas).
- Reporte de consumo de combustible (dentro de los factores de carga).
- Reporte de análisis de Aceite, tendencias dentro de los límites permitidos.

COMP.	FECHA	Hrs. COMP.	Hrs. ACEITE	ELEMENTOS DE DESGASTE								VISC (cSt)	PQ	ANÁLISIS
				Fe (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Sn (ppm)	Cr (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	Na (ppm)			
Motor Diesel (CAT)	20190707	3512	454	17	2	3	2	0	2	1	2	96	9	Ok.Ninguna
	20190606	2971	384	19	2	2	2	0	2	2	2	94	8	
	20190510	2575	469	18	2	1	1	0	1	1	2	93	3	
	20190409	1946	371	23	2	2	2	0	2	2	1	94	4	
	20190402	1918	344	18	2	1	1	0	1	2	1	95	4	

Cuadro 7

Resultados Esperados:

Situación actual:

Penalización anual por PM 11,935
 Impacto anual en la producción 23,778
 Riesgo total 35,712

Situación futura:

Penalización anual por PM 7948.6
 Impacto anual en la producción 15835.9
 Costo de implementación 2,841
 Riesgo total: 26,625

Beneficios anual del cambio:

Costos anual por cambio de aceite 9,087 por volquete
 Costos anual por cambio de aceite 163,573 Por flota 797F.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. El presente estudio determino que es factible desde el punto de vista técnico y económico la implementación de un laboratorio dedicado al análisis de lubricantes.
2. Se determinó un ahorro considerable en el costo de mantenimiento de estos equipos.
3. Se determinó que, en la actualidad, hay una demanda insatisfecha y el interés de los responsables de mantenimiento por el servicio de análisis de lubricantes.
4. El estudio presenta el diseño de las instalaciones necesarias para el correcto funcionamiento del equipo y el adecuado desempeño del personal
6. Se prevé que el proyecto genere utilidades a partir del primer año y recuperar la inversión a los diez años de operación se evaluó los impactos ambientales y determino que el laboratorio de análisis de lubricantes no representa mayores riesgos para el ambiente ni la salud del personal que labora en el mismo.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Implementar el laboratorio de lubricantes, porque representa una oportunidad de generar Utilidades así como una importante y necesaria herramienta en el mantenimiento preventivo de las maquinarias y/o unidades.
2. Evaluar periódicamente las metas y objetivos propuestos para el proyecto durante su implantación y ejecución para que el proyecto siempre responda a las necesidades y expectativas del mercado.
3. Volver a evaluar las ampliaciones y modificaciones necesarias en las instalaciones eléctricas, al momento de plantear la compra de más equipos o la sustitución de los considerados en el presente estudio.
4. Evaluar el comportamiento de los costos, tanto fijos como variables buscando la optimización que permita reducirlos y aumentar las utilidades previstas.

Referencias Bibliográficas

- (1) Macas, L; Manchego, M; Jaramillo, D; Urgiles, D. (2011) *“Optimización de lubricantes de base mineral de motores a inyección de gasolina, para la reducción de la contaminación y costos de mantenimiento”*. Ingenius No.5. Enero/Junio. Pp. 75.
- (2) Cursos y Programas de Tecsup (2018). *Análisis de datos de vida (LDA)*. Disponible en: <https://www.tecsup.edu.pe/programas-academicos/programa-integral/analisis-de-datos-de-vida-lda> [Consulta: 14 de Noviembre del 2018]
- (3) Arellano Ortiz, G. (2009) *“Implantación de análisis de aceite en Motores de Combustión Interna de ciclo Diesel”*. (Tesis de Grado). Ecuador: Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- (4) BS Grupo (2018) *“Indicadores de confiabilidad Propulsores en la Gestión del Mantenimiento”* Disponible en: <https://bsgrupo.com/bs-campus/blog/Indicadores-de-Confiabilidad-Propulsores-en-la-Gestion-del-Mantenimiento-94>
- (5) Lauer, Dennis A. (2016) *“Tribología: La clave para la correcta selección del lubricante”*. [Fecha de consulta: 2 febrero 2019]. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/tribologia-la-clave-para-la-correcta-seleccion-del-lubricante>
- (6) Gerardo, Trujillo (2012) *“Interpretación de Análisis de Lubricantes”* [Fecha de Consulta: 20 de febrero del 2019]. Disponible en <https://www.slideshare.net/cargaspemu/analisis-de-aceite-ii>
- [7] Carolina, Altmann (2005) *“El análisis del aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo. 1er Congreso Uruguayo de Mantenimiento”*. [Fecha de Consulta: 14 de febrero del 2019]. Disponible en: https://www.uruman.org/sites/default/files/articulos/analisis_aceite_mantenimiento_proactivo_flotas_maquinaria_pesada.pdf

- [8] Advanced Analytical Systems (2004) *“Equipos Analíticos de monitoreo de Aceite”* [Fecha de Consulta: 14 de febrero del 2019]. Disponible en <http://aasystems.lat/index.php>
- [9] Gerardo, Trujillo (2012) *“Interpretación de Análisis de Lubricantes”* [Fecha de Consulta: 20 de febrero del 2019]. Disponible en <https://www.slideshare.net/cargaspemu/analisis-de-aceite-ii>
- [10] Corporation Noria/Catalán, Octavio *“Machinery Lubrication”* [Fecha de Consulta: 12 de febrero del 2019]. Disponible en <https://www.slideshare.net/cargaspemu/analisis-de-aceite-ii>

ANEXOS

- https://drive.google.com/file/d/1vM-yGQ5SCvSMP-d3e6eArqE_BsDLwbf0/view?usp=sharing
- <https://drive.google.com/drive/my-drive>
- Cuadro Estadístico Costo Riesgo Beneficio

Análisis Costo Riesgo Beneficio

Proyecto: Extensión de Vida del aceite en Motores C175 utilizando aceite mineral Mobil Delvac MX 15W40 especificación API CI.

Capacidad carter: 110 Gal.

Costos Aceite mineral (Gal): \$ 3.35.

Costo implementación: \$ 28,405.71 x 10 años.

Penalización por parada: 1033 \$/ hora.

Tiempo vida útil del motor: 60000 horas.

Recomendación: Monitoreo y muestreo cada 333 hr, luego cada 48 hr hasta 500 hr.]

	Evaluación por 01 Equipo	Unidades	Actual	Alternativa
1	Frecuencia cambio de aceite mineral	Hr	333	500
2	Horas PM	horas	12	12
3	Horas promedio volquete operativo	horas/día	21	21
4	Cantidad de cambios de aceite por año	PM/ año	23.0	15.3
5	Costo aceite (gal)	\$/ gal	3.35	3.35
6	Costo filtro de aceite motor diésel STD C175-20	\$	150	150
7	Costo por cambio de aceite (110 gal)	\$	368.5	368.5
8	Impacto en la producción	\$/ hora	1033	1033
9	Penalización por PM (7+6)	\$	518.5	518.5
10	Impacto anual en la producción (8*4)	\$/ año	23777.6	15835.9
11	Penalización anual por PM (9*4)	\$/ año	11934.8	7948.6
12	Depreciación de la implementación	\$/ año	0.0	2840.6

Situación actual:

Penalización anual por PM	11,935
Impacto anual en la producción	23,778
Riesgo total	35,712

Situación futura:

Penalización anual por PM	7948.6
Impacto anual en la producción	15835.9
Costo de implementación	2,841
Riesgo total:	26,625

Beneficios anual del cambio:

Costos anual por cambio de aceite	9,087 por volquete
Costos anual por cambio de aceite	163,573 Por flota 797F.

Anexo 1

LIMITES DE RECOMEDACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE ACEITE

Límites AA (Recomendación)	
Fe	30 ppm
Cu	8 ppm
Si	7 ppm
Cr	2 ppm
Al	5 ppm
Na	10 ppm
TBN	Mayor al 50% del aceite nuevo
Visc	Min 86, Máx 115 (Cst)
Hollín	Menor al 3%

Anexo 2