



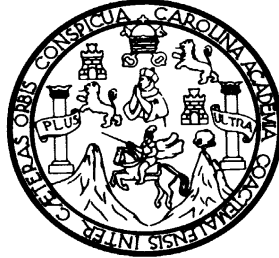
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE
ACEITE PARA UNA FLOTILLA DE CAMIONES DE
CERVECERÍA CENTROAMERICANA**

JULIO CESAR CÁRDENAS MIRÓN
Asesorado por Ing. Oscar Morán Erazo

Guatemala, abril de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE
ACEITE PARA UNA FLOTILLA DE CAMIONES DE
CERVECERÍA CENTROAMERICANA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA**

POR

JULIO CESAR CÁRDENAS MIRÓN
ASESORADO POR ING. OSCAR MORÁN ERAZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, abril de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio I. González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. David Aldana
EXAMINADOR	Ing. Edwin Alvarado
EXAMINADOR	Ing. Manuel Álvarez
SECRETARIO	Ing. Francisco J. González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE
PARA UNA FLOTILLA DE CAMIONES DE CERVECERÍA
CENTROAMERICANA.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 2 de febrero de 2002

Julio Cesar Cárdenas Mirón

Guatemala, 10 de marzo de 2004

Ingeniero
José Arturo Estrada Martínez
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por este medio me permito informar que el suscrito ha asesorado y revisado el trabajo de graduación **“MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS DE ACEITE EN UNA FLOTILLA DE CAMIONES DE CERVECERÍA CENTROAMERICANA”**, elaborado por el estudiante **JULIO CÉSAR CÁRDENAS MIRÓN**.

El trabajo presentado por el estudiante Cárdenas cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, en tal virtud me permito recomendar su aprobación.

Atentamente,

Ing. Oscar René Morán Erazo
Colegiado 3434

ACTO QUE DEDICO

A Dios

Por todo lo que me ha permitido realizar en mi vida.

A mis padres

César Augusto Cárdenas García y Marta Hilda Mirón de Cárdenas, por todo su ejemplo, sacrificios, esfuerzos y esperanza puestos en mí.

A mi esposa

Dora Ester Figueroa de Cárdenas, por toda su confianza, dedicación y apoyo en mi vida.

A mis hijos

Dylan y Brandon, por ser la fuerza inspiradora en mi vida.

A mis hermanos

Otto, Nelson, Nancy y Gladys, por estar siempre a mi lado y brindarme el entusiasmo necesario para salir adelante.

A mis amigos

Por compartir la visión de un futuro mejor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	X
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XX

1. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UNA FLOTILLA DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PESADO

1.1. Mantenimiento preventivo	1
1.1.1. Objetivos del mantenimiento preventivo	2
1.1.2. Estrategias del mantenimiento preventivo	3
1.1.3. Clasificación del mantenimiento preventivo	5
1.2. Mantenimiento correctivo	6
1.2.1. Estrategias del mantenimiento correctivo	8
1.3. Mantenimiento predictivo	8
1.3.1. Factores del mantenimiento predictivo	9
1.3.2. Estrategia del mantenimiento predictivo	10
1.3.3. Elementos para un programa de mantenimiento predictivo	11
1.3.4. Información en el reporte de mantenimiento predictivo	11

2.	COMPONENTES PRINCIPALES DEL TREN MOTOR	
2.1.	Motor	13
2.1.1.	Motor de combustión interna de cuatro tiempos	13
2.1.2.	Motor diesel	14
2.1.3.	Elementos principales de desgaste del motor a combustión	15
2.1.3.1.	El monobloque	15
2.1.3.1.1.	Cilindro y recubrimiento de cilindros (camisas)	15
2.1.3.2.	Función y construcción del cigüeñal	16
2.1.3.2.1.	Rodamientos del cigüeñal	17
2.1.3.3.	Función y construcción del pistón	17
2.1.3.4.	Función y construcción de los anillos del pistón	18
2.1.4.	Aceites para motores diesel de vehículos pesados	18
2.2.	Diferenciales para vehículos pesados	19
2.2.1.	Principios de diferenciales	19
2.2.2.	Funciones y componentes del diferencial	20
2.2.3.	Lubricantes para ejes traseros	22
2.3.	Transmisiones estándar para vehículos pesados	23
2.3.1.	Aceite de lubricación de la transmisión	25
3.	LUBRICACIÓN	
3.1.	Sistemas de lubricación	29
3.1.1.	Lubricación por película fluida	30
3.2.	Definición de lubricante	30
3.2.1.	Función de los lubricantes	32
3.2.1.1.	Limpieza	34
3.2.1.2.	Protección	34
3.2.1.3.	Enfriamiento	34
3.2.1.4.	Sello	34

3.2.1.5.	Acción hidráulica	35
3.2.2.	Aditivos	35
3.2.2.1.	Detergentes	36
3.2.2.2.	Dispersantes	36
3.2.2.3.	Agentes antidesgaste	37
3.2.2.4.	Dispersantes del punto de fluidez	37
3.2.2.5.	Mejoradores de la viscosidad	37
3.3.	Viscosidad	37
3.3.1.	Índice de viscosidad	38
3.4.	Elemento filtrante	41
3.5.	Producción de los lubricantes	41
3.5.1.	Refinación del petróleo crudo	41
3.5.2.	División del petróleo en subproductos	42
3.6.	Clasificación de los aceites	43
3.6.1.	Lubricantes sintéticos	44
4.	ANÁLISIS DE ACEITE	
4.1.	Manejo de lubricantes nuevos	49
4.2.	Propósitos del análisis de aceite	49
4.3.	Características que debe incluir un análisis de aceite	50
4.4.	Costo del análisis	51
4.5.	Selección del laboratorio	52
4.6.	Principales métodos de análisis de aceite	53
4.6.1.	Análisis de partículas de desgaste por ferrografía	53
4.6.2.	Método de análisis elemental espectrométrico	54
4.7.	Métodos para muestreo	56
4.7.1.	Método de drenado	57
4.7.2.	Método con pistola de succión	58

4.8.	Establecimiento de la frecuencia de muestreo	58
4.9.	Intervalos de muestreo recomendados	60
4.9.1.	Intervalo regular	60
4.9.2.	Intervalos sobre la revisión de la muestra	61
4.9.3.	Muestreo por problemas	61
4.10.	Pruebas realizadas a los aceites	61
4.10.1.	Viscosidad	62
4.10.1.1.	Causas de la variación en la viscosidad	63
4.10.1.1.1.	Delgadez del aceite	63
4.10.1.1.2.	Dureza del aceite o engrosamiento	63
4.11.	Teoría básica de refrigerantes	63
4.11.1.	Refrigerante (glicótileno) en el aceite de motor	65
4.11.2.	Límites permisibles de refrigerante en el aceite	66
4.12.	Total de sólidos	66
4.13	Número base total (TBN)	66
4.14.	Número total de acidez (TAN)	67
5.	ELEMENTOS PARA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1.	Reportes de resultados	69
5.2.	Desgaste metálico	69
5.2.1.	Desgaste por abrasión	70
5.2.2.	Desgaste por fatiga	70
5.2.3.	Desgaste por partículas metálicas	70
5.2.3.1.	Partículas esféricas	71
5.2.3.2.	Partículas laminares	71
5.2.3.3.	Partículas no ferrosas	71
5.2.3.3.1.	Metales blancos	71

5.2.3.3.2.	Aleación de cobre	71
5.2.3.3.3.	Plomo / estaño	72
5.3.	Contaminación	72
5.3.1.	Silicio	72
5.3.2.	Aluminio	73
5.3.3.	Carbonilla	73
5.3.4.	Productos de oxidación	74
5.3.5.	Productos de nitratación	74
5.3.6.	Agua	75
5.3.6.1.	Consecuencias de contaminación con agua	75
5.3.7.	Combustible	76
5.3.8.	Azufre	76
5.4.	Estado y degradación del lubricante	77
5.4.1.	Baja temperatura	77
5.4.2.	Humedad alta	77
5.4.3.	Consumo de aceite	77
5.4.4.	Relación incorrecta carga / velocidad	78
5.4.5.	Combustible inadecuado	78
5.4.6.	Por mantenimiento inadecuado	79
5.5.	Fallas en cojinetes	79
5.5.1.	Falta de lubricación	80
5.5.2.	Contaminación con tierra	80
5.6.	Fallas en cigüeñales	81
5.7.	Fallas en pistones, anillos y camisas de cilindro	82

5.8.	Turboalimentadores	83
5.9.	Fallas en válvulas	85
5.10.	Análisis de casos prácticos	86
5.10.1.	Casos con motor	86
5.10.1.1.	Problema número uno	86
5.10.1.2.	Problema número dos	87
5.10.2.	Casos con transmisión	88
5.10.2.1.	Problema número uno	88
5.10.2.2.	Problema número dos	89
5.10.3.	Casos con diferenciales	90
5.10.3.1.	Problema número uno	90
5.10.3.2.	Problema número dos	90
5.11.	Análisis de costos	91
5.12.	Gráficas de tendencias de desgastes metálicos	94
5.12.1.	Organización de la información	94
	COCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES	99
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS	102

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Patrón de desgaste en cojinetes	79
2	Desgaste en muñones de cigüeñal	81
3	Daños en pistones	82
4	Daños producidos en turbos	83
5	Daños en vástagos de válvulas	85
6	Gráfica de propiedades del aceite	95
7	Gráficas de desgaste del hierro	95
8	Gráfica de desgaste del estaño	96
9	Gráfica de desgaste del cromo	96

TABLAS

I	Recomendaciones de aceite de transmisión	28
II	Valores de referencia no metales	68
III	Valores máximos de metales por componentes	71
IV	Valores de desgaste metálicos	73
V	Reducción de costos cuando las fallas son detectadas tempranamente	91
VI	Reducción de costos con la extensión del período de servicio.	
	Costo del servicio tipo I	92
VII	Costo de servicio tipo II	92
VIII	Políticas de servicios según kilometraje	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Aluminio
API	Instituto Americano del Petróleo
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
B	Boro
Ba	Bario
Ca	Calcio
Cl	Cloro
Cu	Cobre
Cts	Centiestokes
HCl	Ácido clorhídrico
K	Potasio
KPa	Kilopascales
Li	Litio
Mg	Magnesio
Mo	Molibdeno
Na	Sodio
NIT	Nitratación
OXI	Oxidación
P	Fósforo

Pb	Plomo
PPM	Partes por millón
S	Azufre
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
Si	Sílice
Soot	Carbonilla
SUL	Sulfatación
V	Vanadio
Zn	Cinc

GLOSARIO

Aceite	Un líquido grasoso, untuoso, de origen animal, vegetal, mineral o sintético.
Abrasión	Desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de material extraño como tierra, o partículas metálicas en el lubricante.
Absorción	La asimilación de un material en otro, en refinación del petróleo, el uso de un líquido absorbente para selectivamente remover componentes en un proceso de flujo.
Acidez	En lubricantes, la acidez denota la presencia de constituyentes de tipo ácido cuya concentración es usualmente definida en términos de número ácido total.
Aditivos	Un compuesto que mejora algunas de las propiedades, o imparte nuevas propiedad al aceite básico.
Antioxidantes	Prolongan el período de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidante y metales catalizadores a elevadas temperaturas.
Babbit	Una aleación de metales suaves, blancos no ferrosos que se utilizan como material de rodamientos. Compuesto principalmente de cobre, antimonio, estaño y plomo.

Barniz	Cuando se aplica a la lubricación es una película delgada, insoluble no limpiable de depósitos que ocurren en las partes interiores de un motor, como resultado de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes.
Base	Un material que neutraliza los ácidos. Un aditivo del aceite que contiene carbonatos metálicos coloidalmente dispersos, utilizados para reducir el desgaste.
Carga	La producción de energía de un motor o una planta de potencia en determinadas circunstancias.
Capacidad	La cantidad de contaminantes que un filtro puede contener antes de que se presente una caída de presión excesiva. Muchos filtros tienen válvula de alivio que se abren cuando se alcanza su capacidad.
Capilaridad	Una propiedad de un sistema sólido-líquido, manifestado por la tendencia del líquido a subir o bajar por la pared del sólido del nivel de líquido restante.
Cenizas	La medida de la cantidad de material inorgánico en el aceite lubricante. Determinado mediante el quemado del aceite y pesando el residuo. Los resultados se expresan en porcentaje por peso.

Compuesto	Químicamente hablando, una sustancia distinta formada de combinación de dos o más elementos en proporciones definidas por peso y con propiedades físicas y químicas diferentes de aquéllas de los elementos cambiantes.
Contaminante	Cualquier material extraño o sustancia no deseada que puede tener un efecto negativo en un sistema en operación, su vida o confiabilidad.
Desgaste laminar	Un proceso de desgaste complejo donde la superficie de la máquina es “pelada” o removida de otra manera, por fuerza de otra superficie actuando en ella con un movimiento deslizante.
Detergente	En lubricación, tanto un aditivo o compuesto lubricante que tiene la propiedad de mantener material insoluble en suspensión, para prevenir su depósito en lugares donde podría ser peligroso.
Dispersante	En lubricación, un término usualmente empleado intercambiable con detergente. Un aditivo, usualmente no metal o (“sin cenizas”) que mantiene las partículas finas de materiales insolubles en una solución homogénea.
Emulsificante	Aditivo que promueve la formación de una mezcla estable o emulsión del aceite y agua.
Fricción	La fuerza de resistencia encontrada en los límites de dos cuerpos cuando bajo la acción de una fuerza externa, un cuerpo se mueve o tiende a moverse con relación a la superficie del otro.

Grafito	Una forma cristalina del carbón que tiene una estructura laminar y que es utilizado como lubricante. Puede ser de origen natural o sintético.
Grasa	Un lubricante compuesto de un aceite o aceites, espesados con un jabón, jabones u otros espesantes a una consistencia sólida o semisólida.
Hidrocarburos	Compuestos conteniendo sólo carbón e hidrógeno. El petróleo consiste principalmente de hidrocarburos.
Hidrofraccionados	Proceso de refinación de aceites básicos que elimina casi por completo los contaminantes y convierte las moléculas indeseables en compuestos lubricantes de forma y estructura similar para mejorar sus características de desempeño.
Hidrómetro	Un instrumento para determinar, ya sea la gravedad específica o la gravedad API de un líquido.
Insolubles	Partículas de carbón o aglomeraciones de carbón y otros materiales indican deposición o agotamiento de los dispersantes en un motor.
Laca	Depósito resultante de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes cuando son expuestos a altas temperaturas; similar pero más duro que el barniz.

Líquido	Cualquier sustancia que fluye fácilmente o cambia en respuesta a la más pequeña influencia.
Lodo	Material insoluble formado como resultado de reacciones de deterioro en el aceite y contaminación del aceite o ambas.
Micrón	Una unidad de longitud. Un micrón es igual a la millonésima parte del metro; el tamaño de los contaminantes usualmente se describe en micrones.
Nafténico	Un tipo de fluido de petróleo derivado del petróleo nafténico, conteniendo una proporción alta de grupos metilenos de anillos cerrados.
Nitración	Los productos de nitración, son formados durante el proceso de combustión en motores de combustión interna. La mayoría de los productos de nitración se forman cuando hay exceso de oxígeno presente.
Oxidación	Ocurre cuando el oxígeno ataca los fluidos minerales. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos.
Parafínico	Un tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafínico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal saturados.

Laminares	Partículas generadas en elementos de baleros rodantes que han sido aplanados por el contacto rodante.
PH	Medida de la alcalinidad o acidez en agua o fluidos conteniendo agua.
Poise	Unidad de viscosidad absoluta.
Presión- caída	Resistencia al flujo creada por el elemento del filtro (media), definido como la presión diferencial en la presión antes del filtro y después del filtro.
Presión absoluta	La suma de la presión atmosférica más la presión del instrumento.
Sedimentos	Partículas contaminantes de un tamaño de 5 micrones o menos.
Stoke (St)	Medida cinemática de la resistencia de un líquido a fluir, definida por la relación de la viscosidad dinámica del fluido con su densidad.
Tapón magnético	Colocado estratégicamente en el flujo para recoger una muestra representativa de las rebabas circulantes en el sistema.
Tribología	Ciencia y tecnología de las superficies interactuantes en movimiento relativo.
Volátil	Describe el grado y tasa a la que un líquido se vaporizará bajo ciertas condiciones de temperatura y presión.

ZDDP

(Dialquil Ditioposfato de Zinc): Un aditivo antidesgaste encontrado en muchos tipos de fluidos hidráulicos y fluidos lubricantes.

RESUMEN

La rentabilidad de cualquier empresa comercial depende entre muchos otros factores de qué tan hábil sea en establecer sus canales de distribución. Bajo el nuevo concepto de distribución, las flotillas propias de transporte y ruteo forman un eslabón crítico en la cadena logística, es así que se necesita un planteamiento serio en cuanto a garantizar el flujo de los productos entre punto y punto de almacenaje y / o comercialización.

El mantenimiento predictivo de flotillas de vehículos sobre la base del análisis de aceite, se establece como una necesidad para garantizar el traslado de los bienes de la forma más eficiente y al más bajo costo posible; necesita principalmente el conocimiento pleno de cada uno de los componentes mayores, incluyendo su diseño, metalurgia y técnicas de construcción. Es fundamental conocer toda la teoría y aplicaciones prácticas de los lubricantes, desde la forma en cómo éstos son producidos del petróleo crudo, los aditivos utilizados, las propiedades que necesitan para cumplir con requerimientos de operación, los conceptos de viscosidad, temperaturas de operación .

En la implementación del mantenimiento predictivo en la operación particular es necesario comprender la criticidad de los equipos para determinar la frecuencia y el método más adecuado de muestreo y que brinde los mayores niveles de confiabilidad. Para tomar las acciones correctivas necesarias y evitar el colapso de componentes mayores los cuales ponen en peligro el flujo de la operación, se necesita comprender los problemas que se encuentran en aceites usados como los contaminantes, la degradación que sufren en el uso, así como tener elementos de análisis de fallas en cojines, cilindros, pistones, anillos de pistón, cigüeñales y turbo cargadores.

Al final, el análisis de casos prácticos es donde se evidencia los beneficios del análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo, con la baja en costos de mantenimiento, los cortos períodos de estancia en taller y evitando paradas innecesarias de los equipos en ruta, lo cual representa beneficios contundentes a las operaciones logísticas de cualquier empresa.

OBJETIVOS

- **General**

Dar a conocer los principales conceptos del mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite, para su implementación como un programa de mantenimiento de una flotilla de vehículos de transporte pesado.

- **Específicos**

1. Conocer procedimientos, pruebas de análisis de aceite así como técnicas de muestreo y la mejor forma de establecer la frecuencia de muestreo; implementar un programa de mantenimiento predictivo.
2. Determinar el estado de los lubricantes y establecer planes para tomar las acciones correctivas necesarias.
3. Servir de referencia a otros ingenieros que necesiten trabajar con el análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las industrias se encuentran en un proceso de cambio, integrando a sus estructuras la distribución directa de los productos que fabrican, debido a que se ha llegado a determinar que a través de subdistribuidores no se llenan los requisitos de servicio de los nuevos consumidores, quienes con el correr de los tiempos se han vuelto sofisticados, más exigentes y con nuevas expectativas de servicio.

Por tales motivos, cada vez más empresas forman sus propias flotillas de vehículos, quienes distribuyen directamente al consumidor final; en la cultura de las empresas, el costo de mantenimiento de los vehículos de distribución va formando parte de los índices importantes que se manejan día a día.

El mantenimiento de vehículos ha tenido etapas de desarrollo a lo largo de la historia; en el principio, el mantenimiento correctivo era la práctica común se esperaba a tener averías para ser reparadas sobre la marcha, éste representó grandes pérdidas por paros innecesarios de los vehículos; a llenar este vacío vino el mantenimiento preventivo sugerido inicialmente por los fabricantes de los vehículos, tratando de anticiparse a fallas posibles y alargando de esta manera la vida útil de los equipos.

Con el avance de la tecnología y los nuevos requerimientos de servicio se presenta el mantenimiento predictivo, el que por una serie de análisis químicos y mecánicos se logra prácticamente ver dentro y determinar una inminente falla; esto permite al ingeniero de mantenimiento programar la reparación para evitar daños mayores y ahorrar costos de reparación. En la economía mundial caracterizada por el desplazamiento de una creciente avalancha de productos, la capacidad de transportarla eficientemente es esencial para el crecimiento económico, el tiempo y los ingresos.

Y es que el concepto de transporte, en la actualidad sobrepasa las limitantes que en algún tiempo le vedaron cumplir y jugar el verdadero papel que le corresponde, es decir, actualmente la actividad de transporte conlleva una gran responsabilidad y por ende, representa parte del éxito económico de un país.

Las ciudades ya no son sitios fijos para la producción; son mecanismos de distribución en un sistema global de intercambios, centros logísticos para administrar flujos entre puntos distantes.

Los que han manejado los gigantes proyectos de infraestructura de transporte urbano, desde aeropuertos, terminales de trenes y camiones hasta telecomunicaciones, desempeñan un papel preponderante en la economía. Es importante tener en mente sin embargo, que el modo de desplazamiento para la mayoría del mundo es todavía la fuerza muscular, caminar, bicicleta, arrastrar cargas o jalar carretas.

Los movimientos globales rápidos y los movimientos locales lentos son igualmente cruciales para crear y mantener la producción, el empleo y los ingresos de las personas.

El ritmo de crecimiento del transporte es fenomenal, y no simplemente porque el comercio crece más rápidamente que la producción. Dado el ritmo de crecimiento más alto de la industria en los países en desarrollo, se prevé que los intercambios entre países en desarrollo y países desarrollados van a crecer de una manera desproporcionadamente rápida. Las redes globales y la oferta, amplían a muchos países, procesos que antes estaban contenidos en una sola fábrica, así que los transportes entre estos diversos proveedores se vuelve crucial para el resultado final. Mantener la producción mundial depende cada vez más de un desplazamiento rápido y totalmente confiable.

1. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UNA FLOTILLA DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PESADO

1.1. Mantenimiento preventivo

Desde la edad media, ya existía el concepto de la palabra mantenimiento; ésta deriva del latín medieval *Manutentione*: acción de agarrar con la mano. También existen otras definiciones como:

1. Acto o efecto de mantenerse.
2. Las medidas necesarias para la conservación o permanencia de una cosa o situación.
3. Los cuidados técnicos indispensables para el funcionamiento regular y permanente de motores y máquinas.

Se establece por lo tanto que mantenimiento, en términos generales es conservar, garantizar el funcionamiento de algún objeto o situación. Si entramos por ejemplo a conocer lo referente a mantenimiento de flotillas de vehículos comerciales, podemos incluir algo más a las definiciones arriba mencionadas. No se trata solamente de mantener, conservar y prevenir fallas aumentando la vida útil, que garanticen un retorno de las inversiones. Mantenimiento es también el conjunto de operaciones que tiene como objetivo asegurar en los vehículos un máximo de eficiencia con la menor cantidad y tiempo de paros para reparaciones.

Los requerimientos de servicio varían con los hábitos de manejo individual, el tipo de trabajo del vehículo que se espera llevar a cabo y las condiciones bajo las cuales es operado el vehículo.

La frecuencia del servicio requerido se prescribe tanto en intervalos como en distancia. Los requerimientos de servicio también se basan en si el vehículo se utiliza en trabajo normal o pesado. Los vehículos que se utilizan bajo condiciones severas requieren de un servicio más frecuente que aquellos bajo un servicio normal. El trabajo pesado se define como la operación bajo una o más de las condiciones siguientes.

1. Condiciones extremadamente polvosas y carretera en mal estado.
2. Períodos prolongados de marcha en vacío.
3. Viajes frecuentes, muy cortos.
4. Operación al 50% o más del tiempo en tránsito pesado urbano durante temperaturas de 90 °F (32 °C) o más.

1.1.1. Objetivos del mantenimiento preventivo

Un programa de mantenimiento preventivo tiene como objetivo el mantener constantemente en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria, para lograr su máximo rendimiento y con un mínimo costo. Para lograr esto, hay dos factores que juegan un papel importante en la tarea de mantenimiento: calidad y costos.

Actualmente todas las empresas están poniendo en práctica métodos y sistemas que las lleven a obtener una máxima producción y minimizar costos.

Sin embargo, muchas empresas tratan de lograr este objetivo únicamente en ciertas áreas y específicamente en procesos de producción, descuidando el mantenimiento de equipo de transportes, originándose así fuertes fugas de dinero por los excesivos paros forzosos del mismo.

La rentabilidad de una empresa no podrá ser óptima si se descuida la función de mantenimiento; de ahí pues su importancia.

Para lograr un rendimiento alto y costos mínimos, se comprenderá que es necesario controlar aspectos tales como:

- a) Las reparaciones de emergencia.
- b) El tiempo muerto en las máquinas paradas por desperfecto, el cual es cargado como costo de mantenimiento.
- c) Capacitación de los conductores.
- d) La mano de obra de reparaciones.
- e) El abastecimiento de refacciones.

Mediante un control eficiente de los factores enunciados antes y con una adecuada planeación y programación de los trabajos de mantenimiento, se puede obtener una buena disminución en los costos. Hay que tener en mente que el funcionamiento de una máquina hasta su destrucción es, en la mayoría de los casos, costoso.

1.1.2. Estrategias del mantenimiento preventivo

La estrategia del mantenimiento preventivo está basada en inspecciones periódicas, reemplazo de piezas y desmontaje de equipos.

Los trabajos de mantenimiento están basados a las recomendaciones del fabricante y experiencia de fallas de los equipos que han ocurrido. Los repuestos, lubricantes, fluidos hidráulicos y filtros, son reemplazados de acuerdo a las horas de operación o las distancias recorridas; es una estrategia de mantenimiento muy efectiva, pero también puede ser muy costosa.

Frecuentemente, equipos con vida útil son removidos o la mayoría de componentes son cambiados con base en el hecho de que se ha completado el ciclo de servicio. Los lubricantes y fluidos hidráulicos también son cambiados sin tener el cuidado de que exista la posibilidad que todavía tengan vida útil de servicio.

La mayor parte de las flotillas de camiones de pasajeros y camiones de carga siguen actualmente alguna forma de mantenimiento preventivo y programa de inspección vehicular comercial periódico. Es responsabilidad del técnico de servicio encargado del mantenimiento de la flotilla, comprobar que todos los detalles del mantenimiento preventivo se llevan según las estadísticas de referencia.

Una de las contribuciones principales a la larga vida de servicio es la inspección periódica del mantenimiento preventivo llevado a cabo por técnicos de mantenimiento; esto implica servicio, inspección, ajuste y mantenimiento periódicos para asegurar la confiabilidad del motor y el vehículo, con el cumplimiento del control de emisiones de escape.

Un estudio reciente efectuado por el departamento de operaciones en unidades para trabajo pesado, reveló el siguiente porcentaje de fallas de los componentes del vehículo:

Frenos	36.9 %
--------	--------

Alumbrado y electricidad	33.5 %
Llantas	10.9 %
Bastidor	4.8 %
Sistema de dirección	2.1 %
Sistema de suspensión	1.7 %
Sistema de escape	1.5 %
Sistema de combustible	1.1 %
Dispositivo de acoplamiento	0.5 %

Este estudio subraya la necesidad de que el personal de mantenimiento, asegure que todo el material rodante de la operación de una flotilla, esté sujeto a inspección y mantenimiento para reducir cada una de las fallas en componentes de los vehículos.

El mantenimiento preventivo no periódico, o la falta de él, puede causar una costosa pérdida de tiempo del vehículo. Aunque hay normas industriales que se pueden emplear como guías, las operaciones individuales de cada flotilla pueden requerir un intervalo de servicio de mantenimiento preventivo con base en un tiempo o kilometraje específico.

Éste puede ser influido por el tipo de clima, las condiciones de manejo, el terreno geográfico, las velocidades, las cargas y por supuesto, por la calidad de las partes de repuesto y lubricantes que se escojan.

1.1.3. Clasificación del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo en la operación de la flotilla se clasifica por lo general en uno de tres tipos de inspección, que se conocen como A, B, C, ó I II ó III. Sin embargo, algunas de las operaciones de flotillas se extienden a otros tipos de inspección.

Inspección A: inspección ligera. Esta parte del mantenimiento preventivo implica la inspección básica del vehículo, cambio de aceite del motor y de filtro y lubricación completa del chasis. La inspección A se puede llevar a cabo cada tres meses o a un kilometraje u horas máximo predeterminado, lo que ocurra primero.

Inspección B: revisión más detallada. Este trabajo de mantenimiento preventivo implica todo lo que llevó a cabo durante una inspección A, más otros detalles que se hayan identificado como los que requieren inspección cada seis meses, o a un kilometraje u horas acumuladas predeterminado.

Inspección C: inspección y ajuste de fondo. La inspección C incluye todo lo que se llevó a cabo en las inspecciones A y B, más los elementos adicionales que requieran revisión cada doce meses o a un kilometraje u horas acumuladas predeterminado (ver Anexo 1).

1.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo comprende reparaciones en conjuntos mecánicos, componentes o pieza del vehículo; estos servicios no dependen de una programación o previsión y una vez ocurrida la falla, la misma debe ser corregida en el menor tiempo posible, con los menores costos y mejor calidad.

De un modo general, la detección de la necesidad de intervenciones correctivas, surge durante la ejecución de los mantenimientos primarios o preventivos.

Cuando las necesidades no son detectadas durante los mantenimientos preventivos, las fallas surgirán durante la operación y generarán una serie de contratiempos que pueden ser representados como siguen:

1. Entre el inicio de la falla y su descubrimiento existe un período de tiempo en el cual el vehículo pierde la eficacia u otras piezas son damnificadas.
2. Entre descubrir que hubo un problema, conseguir comunicarse para pedir auxilio.
3. Hasta que el técnico llegue al vehículo o viceversa también se pierde tiempo y dinero. Podrá haber costos operacionales con grúa. Colocación de otro vehículo, etc.
4. El técnico empieza a trabajar, con un tiempo inicial de diagnóstico.
5. Tiempo de reparación, que dependerá de la disponibilidad de repuestos, herramientas, etc. Después de transcurrido algún tiempo el vehículo estará disponible.

Por lo anterior, cuanto menor sea la necesidad de un mantenimiento correctivo, mejor; la importancia de un buen mantenimiento preventivo radica en gastar poco y ahorrar mucho, ya que la práctica demuestra que los costos de reparaciones correctivas imprevistas son extremadamente superiores a los de un buen mantenimiento preventivo; este nivel de mantenimiento requiere mayores inversiones y traen mayores costos, ya que su ejecución exige mayor uso de repuestos, personal especializado y también instalaciones sofisticadas, equipos y herramientas especiales.

De este modo dependiendo de la cantidad de vehículos de la flota infraestructura recursos financieros, los servicios de mantenimiento correctivo podrán ser efectuados por mantenimiento propio o talleres de terceros.

1.2.1. Estrategia del mantenimiento correctivo

La estrategia del mantenimiento correctivo de operar hasta fallar está basada en reparar o reemplazar el equipo cuando es requerido. En este tipo de mantenimiento no existen programas periódicos de mantenimiento y las reparaciones se realizan cuando el equipo deja de funcionar.

Esta práctica se aplica a aquellos sistemas en los cuales el costo de reparo o reemplazar, es menor que implementar un programa de mantenimiento preventivo o predictivo. El porcentaje de utilización de los vehículos a los que se les da mantenimiento, en ocasiones es más ventajoso usar una pieza de máquina hasta que se rompa que hacer un paro en el equipo durante un programa de trabajo muy cargado.

Esto es algo difícil de aceptar por el personal de mantenimiento, pero es importante incluirlo en las consideraciones de un programa de mantenimiento siempre y cuando no represente riesgo alguno en la seguridad del personal y de la máquina misma; este criterio se justifica siempre y cuando la demanda de la máquina es grande y que de su funcionamiento dependa en gran parte la producción de la empresa, máxime si el factor económico se ve afectado. En conclusión, se puede decir que el mantenimiento correctivo es reactivo, basado en reparación de falla.

1.3. Mantenimiento predictivo

Dado que el mantenimiento es el factor más importante para el funcionamiento de las máquinas, se debe encontrar una solución y ella descansa en que un alto porcentaje de todas las fallas están precedidas por ciertos signos o condiciones indicadoras de que éstas se van a producir.

Si se usan estos signos para determinar cuándo tomar acción de mantenimiento a la maquinaria, se podrían evitar ciertas fallas costosas que se presentan prematuramente; además no se producirán interrupciones imprevistas en el servicio. Después de todo, las máquinas y los equipos en general se fabrican para que funcionen y no para estarlos desarmando constantemente. Cuanto más tiempo se encuentre una máquina funcionando mayor será el número de horas-máquina que podremos obtener de ella.

El mantenimiento predictivo pretende actuar a priori, es decir antes de que el problema haya surgido. Esta característica de adelanto y previsión, permite aplicar en este tipo de mantenimiento las técnicas de planificación y organización, con lo cual se consigue que los paros de máquinas se produzcan en los momentos que menos perjuicio cause a la producción.

1.3.1. Factores del mantenimiento predictivo

El ingeniero de mantenimiento que quiera hacer un programa de mantenimiento predictivo, deberá tomar en consideración los siguientes factores de tipo general:

- a) Conocer y analizar los objetivos básicos de la empresa para poder definir y encausar el objetivo del mantenimiento.
- b) Conocer a fondo los equipos y tener conocimiento de las necesidades, planes, períodos y ritmos de viajes.

- c) Estudiar y tomar en cuenta la capacidad y habilidades de los operarios y personal de mantenimiento.
- d) Establecer programas de adiestramiento.
- e) Estudiar los diferentes planes de mantenimiento aplicables a cada vehículo en particular.
- f) Establecer los controles necesarios para que el plan o planes prefijados se cumplan.

Por otro lado, existen algunos criterios que afectan la magnitud de un programa de mantenimiento predictivo y que por lo tanto, hay que tomarlos en cuenta, por ejemplo, los costos donde habrá que hacer estudios comparativos entre lo que tendrá que invertirse para implantar un programa de mantenimiento predictivo y los gastos de un mantenimiento correctivo o preventivo.

Deberá tomarse en cuenta la reducción de costos y las mejoras en el rendimiento del equipo con el programa de mantenimiento preventivo.

1.3.2. Estrategia del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es basado en la condición de los equipos en la eliminación de la causa de falla; se realiza un estudio de diseño e historial de operación por sistema, para rediseñar el proceso de mantenimiento buscando mantener un máximo de seguridad.

1. El uso de tecnología nueva en conjunto con datos de fabricante e historial de los vehículos.
2. Convierte datos, en información útil.
3. Tomando una apropiada acción.
4. Basado en esta información, más un diagnóstico predictivo.
5. Un organizado programa de mantenimiento predictivo puede ser muy exitoso, reduciendo costos de mantenimiento al mínimo.

1.3.3. Elementos para un programa de mantenimiento predictivo

1. Metas definidas.
2. Matriz indicadora de condición del equipo.
3. Entrenamiento de personal involucrado.
4. Responsabilidades definidas de personal.
5. Programa de inspección, bien definido.
6. Formatos de comunicación, operador-coordinador.
7. Diagramas de flujo de trabajo.
8. Descripción de la tecnología a aplicar.
9. Reporte de mantenimiento predictivo.
10. Tablas de costo-inversión.
11. Cálculo de costo-beneficio.

1.3.4. Información en el reporte de mantenimiento predictivo

Para tener éxito en un programa de mantenimiento predictivo, se necesita tener diagnósticos periódicos y un monitoreo continuo de la condición de la máquina; un reporte de mantenimiento predictivo entre otras cosas deberá contener:

1. Condición de componentes críticos.
2. Rango de temperatura.
3. Análisis de causa.
4. Lista de equipos con problemas.
5. Informe de tiempo sugerido, para reparar cada equipo.

2. COMPONENTES PRINCIPALES DEL TREN MOTOR

2.1. Motor

El motor es la fuerza impulsora de cualquier vehículo, tanto los motores de dos tiempos como los de cuatro se utilizan en aplicaciones automotrices; independientemente del tipo de motor, las demandas colocadas en el mismo para el rendimiento son rigurosas; la velocidad y la carga se están cambiando constantemente durante la operación. Se encuentran temperaturas extremas en las estaciones del año y ciertas regiones, por lo cual también se debe considerar en la operación del motor.

Los motores a diesel operan en una relación mucho más amplia de aire-combustible, puesto que la admisión del aire no se regula en la mayoría de los motores a diesel. Las relaciones pueden estar en el rango de 20:1 y de 100:1. Este hecho, más la alta compresión del diesel, lo hace un motor muy eficiente.

2.1.1. Motor de combustión interna de cuatro tiempos

Al movimiento del pistón desde su posición más alta (TDC, punto muerto superior) a su posición más baja (BDC, punto muerto inferior) se le llama carrera.

La mayoría de los motores de automóviles operan bajo el principio de cuatro tiempos, una serie de fases constituyen los cuatro tiempos del pistón para completar un ciclo completo. Éstas son:

1. Carrera de admisión.
2. Carrera de compresión.
3. Carrera de expansión.
4. Carrera de escape.

Se requieren dos revoluciones del cigüeñal y una del árbol de levas para completar un ciclo.

2.1.2. Motor diesel

El motor a diesel se reconoce fácilmente por la ausencia de componentes tales como bujías, cables y bobinas de encendido, que son comunes en los motores a gasolina.

En el motor a diesel de cuatro tiempos, las cuatro carreras ocurren en la misma secuencia como en el motor a gasolina. Sin embargo, sólo el aire se toma del cilindro en la carrera de admisión. El aire se comprime en forma mucho más extensa en la carrera de compresión, alrededor de un veinteavo de su volumen original.

Esto crea una mayor fricción entre las moléculas de aire, lo cual eleva la temperatura del aire en la cámara de combustión aproximadamente de 800 a 1,200 °F (de 425 a 650 °C). Esto es suficiente calor para encender el diesel cuando se inyecta cerca del final de la carrera de compresión.

2.1.3. Elementos principales de desgaste del motor a combustión

2.1.3.1 El monobloque

El monobloque es la estructura de soporte principal en la cual se sujetan todas las partes del motor. Contiene los pistones, el cigüeñal y las bielas así como los conductos o cavidades de lubricación y enfriamiento. En muchos casos también contiene el árbol de levas, los cojinetes principales y las tapas soportan el cigüeñal y sus rodamientos. La parte inferior del monobloque forma la base superior del cigüeñal.

Los monobloques están contruidos de una aleación de hierro fundido o de aluminio; el hierro fundido es más pesado y más rígido que el aluminio necesario. El hierro fundido satisface los requisitos necesarios para tener una buena superficie en la pared del cilindro.

Los monobloques se fabrican por medio de un proceso de fundición. El metal fundido se vacía en un molde con núcleo a base de arena para formar los cilindros, el cigüeñal, las camisas de agua, las cavidades de los cojinetes, etc.

2.1.3.1.1. Cilindro y recubrimiento de cilindros (camisas)

Los cilindros se pueden fundir en forma integral con el monobloque, o se puede prever el reemplazo de las camisas del cilindro. En la mayor parte de los motores para automóviles y camionetas ligeras no tienen reemplazo las camisas del cilindro. Los motores más grandes normalmente cuentan con camisas de cilindro. Se utilizan las camisas del tipo húmedo como seco.

La camisa de tipo seco es de contacto completo de metal a metal con el monobloque, la camisa de tipo húmedo está en contacto con el monobloque sólo en la parte superior y en la inferior, donde se sellan para evitar fugas al cigüeñal o a las cámaras. Las camisas húmedas de cilindro normalmente se hacen de una aleación de hierro fundido, mientras que las camisas secas, de acero.

Los anillos del pistón empujan y se deslizan contra las paredes del cilindro a medida que el pistón asciende y desciende. Las pequeñas partículas de carbón y otros abrasivos que pueden entrar en el aceite lubricante pueden causar el desgaste.

El calor y la presión son más severos cuando el pistón está cerca del punto superior en la carrera de explosión. La lubricación en este punto y bajo estas condiciones es menos efectiva. Consecuentemente, resulta mayor desgaste del cilindro cuando tiene lugar un estrechamiento del mismo en la parte superior del recorrido del anillo en el cilindro. Este desgaste origina un surco en la parte superior de éste.

2.1.3.2. Función y construcción del cigüeñal

El cigüeñal convierte el movimiento recíproco de los pistones en movimiento giratorio. Toda la potencia producida por los cilindros se transfiere al cigüeñal, el cual la transmite al volante o al convertidor de par.

Los cigüeñales del motor a diesel están forjados más que fundidos. El proceso de forjado, aunque es un proceso de manufactura más costoso, es necesario para proporcionar mayor resistencia.

2.1.3.2.1. Rodamientos del cigüeñal

Los rodamientos principales y de las bielas reducen la fricción y el desgaste, proporcionan los medios para facilitar la reparación y simplificar el reemplazo. Los rodamientos principales del cigüeñal y los de las bielas son del tipo de inserción dividida de precisión.

Los rodamientos tienen respaldo de acero y tienen capas laminadas de materiales de revestimiento más suave. Las aleaciones, incluyendo materiales como el cobre, aluminio y plomo se utilizan como revestimientos de rodamientos.

Buenas características del rodamiento incluyen adaptabilidad, empotrabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión y vida prolongada. La holgura entre los muñones o apoyos y los rodamientos debe ser de dimensiones precisas para poder mantener una buena película de aceite y evitar así el contacto de metal a metal. Tan pronto como esta película se rompe, hay un rápido desgaste en los rodamientos y el cigüeñal.

2.1.3.3. Función y construcción del pistón

El pistón forma la parte inferior móvil del cilindro y la cámara de combustión, está diseñado para soportar cargas y temperaturas normales y proporcionar un prolongado servicio en estas condiciones. El pistón debe absorber todo el empuje que un cilindro es capaz de producir. La mayor parte de los pistones automotrices están fabricados con una aleación especial de aluminio debido a que es más ligero.

Tres o cuatro surcos o ranuras son para los anillos del pistón. Partes planas separan las ranuras de los anillos. Orificios redondos o ranurados están ubicados en o justamente debajo de la ranura del anillo inferior para permitir que el aceite se elimine de las paredes del cilindro por medio de los anillos y luego regrese al cigüeñal.

2.1.3.4. Función y construcción de los anillos de pistón

Los anillos de pistón proporcionan un sello dinámico entre el pistón y la pared del cilindro. Su propósito es evitar que las presiones de combustión entren al cigüeñal y que el aceite de éste entre a la cámara de combustión; también controla el grado de lubricación de la pared del cilindro.

Los tipos de anillos del pistón incluyen los anillos de compresión y los de control de aceite. La mayor parte de los motores automotrices cuentan con los anillos de compresión en la parte superior del pistón y un anillo de control de aceite justamente debajo de los anillos de compresión; los de compresión son de hierro fundido con revestimiento de cromo, el revestimiento de cromo proporciona una superficie muy suave y resistente al desgaste.

El anillo de control de aceite utilizado comúnmente consiste en un espaciador expansor ranurado y dos rieles de acero con revestimiento de cromo, uno en cada lado del espaciador expansor .

2.1.4. Aceites para motores diesel de vehículos pesados

Los aceites se clasifican por medio de un sistema de numeración para indicar el grado básico de viscosidad. Por ejemplo, nótese que el aceite de grado 15W40, es un lubricante de viscosidad múltiple.

El 15W indica que el aceite tiene una viscosidad 15 en tiempo frío (*W = winter = invierno*), el 40 indica que cuando se calienta el aceite, su aditivo le permite espesarse a una viscosidad equivalente de aceite de grado 40. Algunos aceites pueden identificarse como lubricantes de un grado como 30, 40 ó 50.

El grado recomendado de viscosidad del lubricante sigue siendo 15W40 para motores de camiones para trabajo pesado de alta velocidad, de carretera, construidos por los principales fabricantes de equipo original. Han aparecido diferentes letras en los recipientes de aceite durante años; estas letras han cambiado conforme han mejorado los aceites lubricantes.

Las letras en una lata de aceite como SA, SB, SC, SD, SE, SF o SG significan que el aceite ha sido diseñado con S (*Spark ignition = encendido por chispa*) para motores de combustión interna. Los recipientes de lubricante para motor diesel tienen las letras CA, CB, CC, CD, CD-11, CE o CF para indicar que el aceite sirve para motores diesel tipo C (*Compression ignition = encendido por compresión*).

2.2. Diferenciales para vehículos pesados

2.2.1. Principios de diferenciales

Los camiones de tracción trasera utilizan un diferencial para transmitir la potencia del eje de transmisión a los ejes traseros. Por el contrario, los automóviles de tracción delantera tienen un diferencial para transmitir la potencia del eje final de la transmisión al diferencial; en la mayor parte de las aplicaciones la acción del diferencial es similar. Este capítulo se ocupa de dar conceptos básicos de los diferenciales.

2.2.2. Funciones y componentes del diferencial

El ensamble del diferencial y del eje trasero lleva a cabo las funciones siguientes:

1. Transmite el par motor del eje de transmisión a los ejes motores y a las ruedas traseras.
2. Transmiten el par motor a un ángulo de 90 grados.
3. Proporciona una reducción de engranes entre el piñón propulsor y los ejes motores.
4. Dividen el par motor de la transmisión entre las dos ruedas.
5. Permiten que al tomar las curvas, las ruedas motrices giren a diferentes velocidades.

6. Sostienen la carrocería, los ejes motores y diferencial.
7. Proporcionan los medios de fijación del sistema de suspensión, ensambles de frenos y ruedas motrices.

Los componentes principales del ensamble del diferencial y eje trasero incluyen:

1. Yugo (brida) del piñón del diferencial: acopla el eje de la transmisión al piñón del diferencial.
2. Piñón de la transmisión: transmite el par motor del eje de la transmisión al engrane corona del diferencial.
3. Engrane corona: transmite el par motor del piñón propulsor a la caja o soporte del diferencial.
4. Caja o soporte del diferencial: transmite el par motor del engrane corona a la flecha de planetarios, los engranajes planetarios y los engranes laterales del eje.
5. Cojinetes laterales de la caja o soporte del diferencial: soportan la caja o soporte del diferencial en la carcaza del eje trasero.
6. Engranajes planetarios: transmiten el par motor de la caja o soporte del diferencial a los engranes laterales del eje; permiten que los engranes del eje giren a velocidades diferentes en virajes.
7. Flecha de planetarios: transmite el par motor de la caja o soporte del diferencial a los engranes planetarios.

8. Engranés laterales del eje: transmiten el par motor de los engranes planetarios a los ejes motores y soporta además el chasis.
9. Ejes motores: transmiten el par motor de los engranes laterales del eje a las ruedas motrices.

Cuando el vehículo toma una curva, la rueda interna recorre una distancia más corta (un círculo más pequeño) que la externa, por tanto, el engrane lateral del eje de la rueda interna se ve obligado a reducir su velocidad. Esto hace que los pequeños engranes planetarios “caminen” alrededor del engrane del eje más lento.

Esto también da como resultado que los engranes planetarios giren sobre la flecha de planetarios, este par motor giratorio se transmite al engrane del lado de la rueda externa, haciendo que ésta gire más aprisa, pero conservando igual par de torsión en ambas ruedas.

El eje trasero es por lo general el origen de la fuerza motriz principal que empuja el vehículo hacia delante y soporta la mayor parte de la carga, aunque dependiendo de la cantidad de ejes motrices que se usen y si todos están vivos (motrices), la distribución de peso y la transferencia de potencia puede repartirse a uno o más ejes tanto delanteros como traseros.

Un diseño de camión de 4 x 2 simplemente significa que usa cuatro ruedas, con solamente dos motrices, como la unidad de eje trasero, en un camión de 6 x 2, se usan seis ruedas, con solamente dos motrices.

2.2.3. Lubricantes para ejes traseros

Los ejes traseros que incorporan un divisor de potencia o un conjunto de diferencial entre ejes, requieren lubricación de alimentación positiva a presión en todo momento durante su operación. El uso de una bomba de aceite del tipo de engranes o en los modelos más nuevos de eje, una bomba de aceite de auto cebado impulsada directamente por la flecha de entrada, elimina la necesidad de un engrane impulsor de la bomba, mejorando así su confiabilidad.

Este modelo de bomba más reciente proporciona aceite filtrado, presurización positiva tanto hacia delante como en reversa, para reducir grandemente la posibilidad potencial del giro sin control a todas las velocidades.

Contenido en el exterior de la caja del alojamiento de eje, hay una pequeña válvula respiradero que permite que el aire caliente que se desarrolla en el interior del alojamiento del eje, debido al calor friccional, escape para aliviar cualquier formación de presión. Si se obstruye la válvula del respiradero, es probable que se forme alta presión dentro del alojamiento del eje.

Esta presión podría forzar a que el aceite pasara por los sellos de aceite de la rueda trasera y saturar las balatas de freno, lo que provocaría que los frenos fueran inefectivos y la posibilidad de serios accidentes. El diseño de la válvula es tal que el aire caliente puede escapar del alojamiento, pero no puede entrar suciedad ni humedad. Como parte de un programa normal de mantenimiento preventivo, debe quitarse el respiradero del eje y limpiarse ocasionalmente para evitar los problemas mencionados.

2.3. Transmisiones estándar para vehículos pesados

Las transmisiones automotrices modernas, o cajas de velocidades, están diseñadas para transmitir potencia del conjunto de motor y embrague a través de varios engranes a la flecha de salida de la transmisión, la cual hace girar la flecha propulsora, el

diferencial del eje trasero las flechas y luego las ruedas. Por necesidad hay cajas de velocidades con apenas tres velocidades hacia delante, y otras hasta con 20 velocidades. Se puede extender el rango en ciertos vehículos usando un eje trasero de dos velocidades.

Muchos vehículos pueden tener una transmisión, mientras que otros usan una caja de velocidades principal como otra auxiliar, que pueden ir montadas más hacia atrás en el bastidor del vehículo para mejor distribución del peso y la torsión, y que se conectan a la transmisión principal por medio de una flecha motriz corta. Debido a esto, se encuentran dos palancas de cambios en la cabina del vehículo.

Con las cajas auxiliares unidas directamente a la parte trasera de la transmisión principal, se usa un arreglo de embrague separador operado por aire, que es controlado por el conductor y va montado en la palanca de cambios. Por tanto, la transmisión proporciona un medio por el que se puede variar la relación de engranes entre el motor y las ruedas, para poder hacer frente a las condiciones cambiantes de la carga y del camino.

Eaton fabrica modelos de transmisión de contraflecha tanto sencilla como doble, remachada al lado de la caja está una placa de identificación, donde se indican el par motor de entrada específico permisible, a que está diseñada la transmisión para manejar dentro de una clasificación de 50 lb.ft (68 N.m) o de más.

Las contraflechas dobles están diseñadas para flotar entre la flecha principal, proporcionando por tanto una distribución aún más uniforme del par motor a través de ambas contraflechas, una operación más silenciosa y larga duración entre reparaciones.

La cantidad de engranes y el número de dientes de las dos contraflechas es el mismo, con excepción de los engranes de desconexión de potencia agregados para

proporcionar una relación motriz diferente. Los engranes de desconexión de potencia también permiten que el técnico pueda identificar fácilmente la contraflecha derecha de la izquierda.

Este alojamiento auxiliar contiene un juego de engranes que permite que la combinación de engranes dentro de ambos alojamientos proporcione dos o tres rangos disponibles diferentes, como de baja (reducción profunda o cilindro separador) un rango directo y un rango de sobremarcha (*overdrive*).

En una transmisión convencional, la flecha principal de la sección delantera está conectada permanentemente con los engranes de la caja trasera. En las transmisiones de baja inercia *Eaton Fuller*, la flecha principal está desconectada de la caja trasera durante los cambios compuestos para facilidad y rapidez inigualables de cambio.

Estas transmisiones tienen la característica de una flecha principal sencilla que no está unida al engrane motriz auxiliar. Este diseño único elimina la masa, arrastre e inercia adicionales de toda la sección auxiliar.

Durante los cambios ascendentes, en los que la palanca y el botón divisor se mueven juntos, la flecha principal de baja inercia se pone rápidamente en sincronización, dando por resultado cambios rápidos y fáciles.

2.3.1. Aceite de lubricación de la transmisión

Se dispone de muchas marcas de aceite lubricante para usarse en las transmisiones manuales de cambio de engranes. Los aceites de transmisión que especifica un fabricante particular de equipo original están clasificadas en categorías por el Instituto

Americano de Petróleo (API) mientras que la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) es responsable de la clasificación de la viscosidad de los lubricantes.

Las recomendaciones de grado de viscosidad SAE para transmisiones pueden variar entre SAE 30, y SAE 90, con base en las condiciones de temperatura ambiente en que opera el vehículo. Por ejemplo, la tabla 1 da una lista de las recomendaciones de aceite para transmisión Rockwell en los modelos de contraflecha doble de trabajo pesado. Estas mismas especificaciones básicas de aceite lubricante son recomendadas y usadas por *Eaton Fuller, Spicer, Mack, Volvo, GMC* y *ZF*.

Los camiones de modelo reciente están diseñados aerodinámicamente, sin embargo el reducido flujo de aire alrededor y después de los alojamientos de la transmisión y el diferencial hace que los lubricantes con base de petróleo, trabajen de 20 a 30 grados más calientes que los lubricantes sintéticos. El uso de los motores diesel de alto par motor controlados electrónicamente también aumentan la carga en el engranaje de la transmisión; las transmisiones de diseño nuevo tienen tendencia a hacerse más compactas, reduciendo en algunos casos la cantidad de aceite que se requiere en la transmisión. Todos estos factores combinados han elevado la temperatura normal de operación del lubricante de la transmisión.

El intervalo de cambio que se recomienda para el aceite de la transmisión se basa en lo siguiente:

1. Tipo de lubricante que se use.
2. Temperatura de operación del medio ambiente.
3. Millas o kilómetros acumulados por mes.

4. Terreno geográfico (operación de transportación a largas distancias interestatales, en zonas montañosas, de corta distancia, de parada y de arranques frecuentes).
5. Promedio de cargas transportadas (peso bruto del vehículo o peso bruto combinado).
6. Par del motor y niveles de caballos de potencia.
7. Promedio de temperatura de operación de la transmisión (uso de un enfriador de aceite cuando la temperatura de operación de la transmisión está siempre arriba de 250 °F (121 °C) en operación continua, o 275 °F (135 °C) en operación intermitente, o si el motor está clasificado a 350 HP (261 kW) o más.

Se recomiendan los siguientes intervalos de cambio de aceite y de mantenimiento general para sus productos de transmisiones de trabajo pesado:

1. Vaciar y cambiar el aceite después de las primeras 5,000 millas (8,000 km.) de operación, ya sea aceite con base de petróleo o sintético, puesto que la cantidad de rebabas de metal se acumula durante el acoplamiento inicial del engranaje nuevo.
2. A cada 10,000 millas (16,000 km.) de operación.
3. Revisar el nivel de la transmisión.

No usar aceites de peso múltiple o de presión extrema, puesto que ambos tipos de lubricantes pueden dañar los componentes interiores de la transmisión si se permite que la temperatura sobrepase de 230 °F, esto se debe a que los lubricantes se deterioran y cubren los sellos, baleros y engranes de barniz y sedimento.

Tabla I. Recomendaciones de aceite de transmisión

Tipo de lubricante	Grado (SAE)	Temperatura exterior
Aceite de motor de trabajo pesado	50	Arriba de 10°F (-12°C)
MIL-L-2104B,C o D o API-SF, SG, CD	40	Arriba de 10°F (-12°C)
o CE (previa designación API aceptable)*	30	Arriba de 10°F (-12°C)
Aceite mineral de engranes con inhibidor	90	Arriba de 10°F (-12°C)
de herrumbre y oxidación (API-GL-1) *	80	Debajo de 10°F (-12°C)
Aceite sintético especificación Rockwell 0-81	50	Todas

* No se recomiendan los aceites de peso múltiple y para engrane EP. No mezclar aceites en la transmisión

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

3. LUBRICACIÓN

3.1. Sistema de lubricación

Un conocimiento básico del sistema de lubricación de los componentes no solamente ayuda a comprender cómo la contaminación y la degradación del aceite pueden deteriorarlos, sino que también ayuda a comprender por qué la falta de aceite puede tener un efecto igualmente debilitante.

La mayoría de fallas relacionadas con el aceite son producidas por el aceite contaminado o degradado que fluye a través del motor o por la falta de lubricación de un componente determinado. Si se sabe cómo el sistema lubrica, se simplifica el análisis de las fallas. Por ejemplo, si descubrimos un cojinete, situado cerca del suministro de aceite lubricante, que está deteriorado por falta de lubricación, sabremos que los cojinetes más separados del suministro de aceite, estarán aún más deteriorados.

El sistema de lubricación de cada máquina puede variar ligeramente aunque muchos principios son idénticos. Tal como se muestra en el esquema, la bomba de aceite envía aceite a través del enfriador y después a través de los filtros. Si hay una reducción en el flujo las válvulas de derivación del enfriador de aceite o los filtros de aceite protegen el sistema.

Al arrancar el motor con el aceite frío o si el enfriador o el filtro se obstruyen, las válvulas de derivación aseguran el flujo constante de aceite de motor a través de los pasadizos. El aceite fluye de los filtros del múltiple en el bloque y después vuelve a la bandeja colectora o aceitera.

3.1.1. Lubricación por película fluida

Cuando las velocidades de rotación del eje y la viscosidad del aceite se combinan de tal manera que tiende a formar una cuña de aceite bajo la carga, se obtiene una película de aceite de unas pequeñas milésimas de pulgada de espesor, lo suficientemente grande para evitar el contacto entre las asperezas del metal haciendo literalmente flotar el eje sobre la cuña de aceite.

Se dice entonces que está trabajando con lubricación hidrodinámica o de película fluida.

3.2. Definición de lubricantes

En los últimos años ha entrado en el vocabulario el termino tribología. La tribología puede definirse como la ciencia y la tecnología de las superficies interactuantes que se encuentran en movimiento relativo, incluyendo los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación.

La lubricación, se refiere a la modificación de las características relativas a la fricción y a la reducción del daño y el desgaste en la superficie de los sólidos al moverse uno en realización del otro. Cualquier cosa que se introduzca, entre dos superficies de ese tipo para realizar lo antes mencionado se llama lubricante.

Aunque las sustancias de uso más frecuente como lubricantes han sido aceites o grasas, pueden ser adecuados muchos otros materiales de naturaleza muy diferente. Los sólidos y los fluidos (aire u otros gases y también líquidos) se emplean como lubricantes; el lubricante desempeña, con frecuencia, funciones múltiples: puede ser un medio de transferencia de calor, protector contra la herrumbre y la corrosión, sellador o para arrastrar los contaminantes.

La aplicación particular, en múltiples aspectos, determina la selección del lubricante. Los lubricantes se fabrican a fin de que tengan ciertas características específicas o químicas o por su comportamiento.

El concepto del lubricante como parte de las consideraciones en el diseño, ha ayudado a dar la importancia que tiene los aspectos de la lubricación en el funcionamiento de los mecanismos y ha dado como resultado un rendimiento más satisfactorio. Los fabricantes y proveedores de equipo seleccionan los lubricantes aptos para las condiciones de operación que esperan para su equipo; se deben seguir sus recomendaciones.

Un lubricante sólido se puede definir como una película delgada constituida por un sólido o una combinación de sólidos introducida entre dos superficies en rozamiento con el fin de modificar la fricción y el desgaste.

El funcionamiento de mecanismos sometidos a temperaturas, presiones y ambientes severos, en los cuales los fluidos orgánicos no son adecuados, ha promovido el perfeccionamiento de lubricantes sólidos. Los lubricantes de película sólida incluyen numerosas variedades y tipos de materiales que pueden tener diferentes propiedades, límites de operación y métodos de aplicación o adherencia a las superficies que se van a lubricar.

Existen varias maneras de clasificar los lubricantes sólidos; una se relaciona con su manera de fijarse al material de asiento. La preparación de la superficie es importante en extremo para lograr la acción del lubricante sólido.

Los aceites grasos se obtienen a partir de la extracción de los aceites de muchas fuentes vegetales (semilla de algodón, palmeras, semilla de ricino, etc.) o bien de la grasa de animales domésticos (manteca, sebo) y también del pescado.

Estos aceites grasos tienen composiciones y propiedades físicas diferentes que dependen de su fuente, pero su característica común se basa en su estructura química glicérida, en oposición a la estructura de hidrocarburos común a los aceites del petróleo.

Aún cuando son lubricantes excelentes, en la actualidad raramente se utilizan en forma pura a causa de su tendencia a oxidarse con rapidez, lo que conduce a la formación de lodo, laca y ácidos potencialmente corrosivos.

En ocasiones se emplean como aditivos en aceites del petróleo en concentraciones de diferentes porcentajes, para mejorar la lubricidad (como en las aplicaciones de tornillo sin fin) o para contrarrestar el efecto de la humedad (como en las máquinas de vapor), cuando se utilizan de esta manera, a los aceites grasos a menudo se les menciona como compuestos. También se les emplea mucho para formar jabones que en combinación con los aceites producen estructuras de grasas.

3.2.1. Función de los lubricantes

El aceite de motor realiza varias funciones básicas para poder proporcionar una lubricación adecuada: mantiene el motor limpio y libre de herrumbre y corrosión, actúa como refrigerante y sellante, proporciona una película de aceite que reduce el contacto de metal contra metal, y por lo tanto, la fricción y el desgaste.

Estas son sólo las funciones básicas del aceite. Pero los esfuerzos de una aplicación determinada y las condiciones especiales en las que se utiliza el aceite son las que determinan en gran parte las otras funciones que debe realizar el aceite lubricante. Por eso es de gran trascendencia la selección del aceite apropiado para el trabajo.

La selección del aceite lubricante apropiado se debe basar en los requerimientos de la máquina, la aplicación en la que se va a utilizar y la calidad de combustible disponible. Por ejemplo, los motores diesel normalmente funcionan a velocidades más bajas pero a temperaturas más altas que los motores de gasolina y estas condiciones llevan a la oxidación del aceite, la formación de incrustaciones y la corrosión de los metales de los cojinetes.

Para que en estas condiciones el aceite pueda ejercer sus propiedades de lubricación y protección, hay que considerar también los aditivos en el aceite, pues las características finales de rendimiento dependen del aceite base y de los aditivos que se utilizan. La cantidad o tipo de aditivos varía según las propiedades del aceite base y el ambiente en donde se utilizará el aceite.

La función primaria de un aceite es lubricar las partes en movimiento, el aceite debe formar una película entre las superficies metálicas previniendo el contacto metal con metal, cuando esta película no es suficiente ocurre lo siguiente:

- a. Se genera calor a través de fricción.
- b. Ocurren soldaduras locales.

3.2.1.1. Limpieza

El aceite funciona como un agente limpiador eliminando los contaminantes de los componentes críticos, barnices y oxidación, en los anillos, válvulas de escape, y sellos; contribuirán a la falla inminente de la maquinaria si no son controlados por el aceite. Un aceite formulado con aditivos óptimos podrá mantener estos contaminantes en suspensión y los removerá por el sistema de filtración o durante el curso de un cambio de aceite.

3.2.1.2. Protección

El aceite provee una barrera protectora, aislamiento de elementos no metálicos, previniendo corrosión. La corrosión al igual que el desgaste, resulta en desprendimiento de material de las partes internas del motor. La corrosión trabaja como un actor lento de desgaste en los mecanismos.

3.2.1.3. Enfriamiento

Los motores requieren de enfriamiento interno de sus componentes que el sistema primario de enfriamiento no provee, el aceite lubricante provee un medio excelente para este efecto, el calor es transferido al aceite a través de contacto directo con varios componentes y luego transferido al sistema primario de enfriamiento en el enfriador de aceite.

3.2.1.4. Sello

El aceite actúa como un sello de la combustión llenando las pequeñas superficies de las paredes de los cilindros, pistones, válvulas y otros componentes internos del motor.

3.2.1.5. Acción hidráulica

El aceite actúa como un medio para realizar trabajo hidráulico entre el motor; un ejemplo de esto son los usos que tiene en operar el freno de motor.

3.2.2. Aditivos

Los aditivos son químicos que cuando se agregan al aceite afectan o mejoran las propiedades deseables de funcionamiento. Básicamente mejoran la lubricación, protegen los motores y equipo contra formación de lodos, desgaste, herrumbre, corrosión, oxidación y fricción. Dos de los paquetes de aditivos más comunes son los dispersantes y detergentes.

Los dispersantes son paquetes de aditivos químicos que separan el sedimento. El carbón y otros depósitos en el aceite, y los detergentes desplazan los depósitos de gomas del interior del motor.

Otros aditivos, los inhibidores de oxidación, evitan la oxidación del aceite cuando el motor funciona continuamente a temperaturas de operación elevadas. La oxidación del aceite lubricante conduce a aumentos de viscosidad, sedimentos y corrosión.

Los inhibidores también evitan la formación de barnices y sedimento. Se usan aditivos antidesgaste y para presiones extremas para formar una capa protectora en las superficies metálicas. Los mejoradores de viscosidad y los inhibidores de desgaste evitan espuma del aceite usando compuestos de silicona y también actúan como modificadores de la fricción.

- Aceites para fluido hidráulico de engranes de tractor del 4% al 7% por peso.
- Aceites para motor de automóviles y camiones: del 3% al 16% en peso.
- Aceites para motores marinos: del 10% al 30 % por peso.

Nótese que el petróleo crudo básico cuenta con menos del 1%, el paquete de aditivo del 5 al 10%, el mejorador del índice de viscosidad del 10% al 20%, y los diferentes inhibidores del 75% al 80% restantes.

Los aditivos fortalecen o modifican ciertas características del aceite para permitir que alcance ciertos requerimientos que están más allá de sus propiedades básicas. Los aditivos más comunes son: los detergentes, inhibidores de oxidación, dispersantes, agentes alcalinos, agentes antidesgaste, dispersantes del punto de fluidez y mejoradores de la viscosidad. Se da a continuación una breve descripción sobre qué es lo que hace cada aditivo y cómo lo hace.

3.2.2.1. Detergentes

Ayudan a mantener limpio el interior, mediante productos de oxidación que reaccionan químicamente para detener la formación e incrustaciones de compuestos insolubles.

3.2.2.2. Dispersantes

Ayudan a impedir la formación de sedimentos diseminando los contaminantes y manteniéndolos en suspensión.

3.2.2.3. Agentes antidesgaste

Reducen la fricción formando una película sobre las superficies metálicas.

3.2.2.4. Dispersantes del punto de fluidez

Mantienen al aceite fluyente a bajas temperaturas impidiendo la progresión y aglomeración de cristales de cera.

3.2.2.5. Mejoradores de viscosidad

Ayudan a impedir el desleimiento del aceite cuando se alcanzan altas temperaturas de operación.

3.3. Viscosidad

El primero que definió la viscosidad del aceite fue Isaac Newton, como medida de la resistencia que ofrece cuando una capa de fluido se mueve en relación con una capa adyacente; las letras AW indican un aditivo de desgaste adhesivo. Mientras mayor sea la viscosidad o espesor de una capa de fluido o aceite lubricante permanecerá constante si tanto la temperatura como la presión se mantienen constantes.

Sin embargo, dentro de un motor sujeto a condiciones de operación cambiantes, estas dos “constantes” están sujetas a cambios con regularidad. La mayor parte de los aceites lubricantes de un solo grado como el 30, 40 ó 50 se conocen algunas veces como newtonianos, mientras que los aceites multigrado no son newtonianos porque no obedecen la ley básica; varios factores afectan la viscosidad del aceite lubricante.

Probablemente la propiedad más importante de un lubricante es la viscosidad, es un factor en la película de lubricación en ambos, grosor y delgadez de la condición de la película. Afecta la generación de calor en cojinetes, cilindros y engranajes, controla el efecto de sellado del aceite, y el rango de pérdida o consumo de aceite, también determina la facilidad con la cual las máquinas pueden iniciar su operación bajo condiciones de climas fríos; para cada pieza de la maquinaria es esencial que el lubricante tenga los requerimientos de viscosidad que se necesita en la operación.

Una baja en el nivel de viscosidad puede indicar contaminación con algún solvente o combustible o con un grado de viscosidad más bajo de otro aceite. Un incremento de viscosidad puede indicar oxidación del aceite o contaminación con aceite que tenga un grado de viscosidad más alto.

3.3.1. Índice de viscosidad

La ASTM (*American Society for Testing and Materials* – Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) creó un método para proporcionar un número llamado el VI (*Viscosity Index* - índice de viscosidad). El VI se relaciona con la cantidad de cambio para un aceite dado comparado con dos aceites de referencia en un rango de 40 grados a 100 °C (104 a 202 °F).

En escala ASTM, la mayor parte de los aceites de motor tienen un VI de 90 o más, aunque no es raro que los aceites multigrado tengan un VI de cerca de 200, debido a los paquetes de aditivos que se usan en ellos.

Los aceites de grado único tienen más éxito en algunos diseños de motor que en otros, pero tienen la desventaja de contar con una resistencia mucho mayor al hacer girar el motor en el arranque en operación de tiempo frío. Los aceites lubricantes que no son de grado W están basados sólo en sus viscosidades a 100 °C (212°F).

Los aceites multigrado están formulados para llenar las condiciones del grado W de un aceite relativamente delgado a una temperatura baja particular y sin embargo, llenan las normas de un aceite más espeso, que no es de grado W, por lo general 100 °C (212 °F).

Por tanto, los aceites básicos que se usan en los aceites multigrado son de menor viscosidad que el aceite de grado único, pero el aceite de viscosidad múltiple está espesado con aditivos llamados mejoradores de índice de viscosidad.

Existen moléculas gigantes formadas por enlace químico junto con una gran cantidad de moléculas más pequeñas en un proceso llamado polimerización. Los polímeros pueden tener pesos moleculares de 1,000 veces o más que los aceites básicos del petróleo crudo.

Todos los motores diesel para trabajo pesado y alta velocidad, como *Caterpillar*, *Cummins*, *Detroit Diesel*, *Volvo*, recomiendan usar aceites de viscosidad múltiple 15W-40 en sus motores de cuatro tiempos.

Sin considerar si el motor es modelo de dos o de cuatro tiempos, cuando el aceite es demasiado viscoso, el arrastre del motor aumenta, especialmente durante el giro para el arranque a temperaturas de ambiente frío. Un aceite muy viscoso puede causar estos problemas:

- Arranque difícil (el motor no gira suficientemente rápido).
- Menor salida de potencia y enfriamiento reducido del aceite lubricante del motor.
- Mayor consumo de aceite.
- Mayor relación de desgaste durante el arranque inicial del motor, especialmente en tiempo frío.
- Mayores temperaturas totales de operación.

Si por otro lado, el aceite lubricante seleccionado es muy delgado, pueden ocurrir las siguientes situaciones:

- Mayor consumo de aceite que el normal.
- Aumento de fugas de aceite.
- Operación más ruidosa del motor.
- Contacto de metal a metal haciendo que aumente la fricción y una mayor velocidad de desgaste de los componentes lubricados.

Los lubricantes que llenan las especificaciones del fabricante del motor ya contienen un tratamiento balanceado de aditivos. Por lo general, no es necesario el uso de aditivos suplementarios como aceites rebajadores, aceites superiores, grafitizadores o compuestos para reducir la fricción, que pueden llegar a ser perjudiciales.

Los daños que resiente el motor por el uso de aditivos que no se recomiendan puede dar por resultado anular la garantía del motor.

3.4. Elemento filtrante

La operación normal del motor genera distintos contaminantes desde partículas microscópicas de metal a productos químicos corrosivos. Si el aceite del motor no se mantiene limpio mediante el filtrado, estos contaminantes entran en el motor con el aceite. Los filtros de aceite han sido diseñados para retener esas peligrosas partículas fuera del sistema de lubricación.

El filtro, si se utiliza por más tiempo que el debido, se puede obstruir y un filtro obstruido hará que la válvula de derivación se abra y permita que entre el aceite sin filtrar, cualquier partícula extraña que haya en el aceite llegará directamente al motor.

Si una válvula de derivación queda abierta, las partículas atrapadas anteriormente por el filtro también pueden llegar a entrar al sistema. La obstrucción del filtro puede producir también la deformación del elemento de filtro que ocurre cuando hay un aumento en la diferencia de presión entre la parte externa e interna de los elementos de filtro. La deformación puede llegar a romper o rasgar el papel y permitir que los residuos fluyan al motor y deterioren sus componentes.

3.5. Producción de los lubricantes

3.5.1. Refinación del petróleo crudo

Los aceites, que provienen principalmente del petróleo, constan de mezclas de hidrocarburos, que son compuestos sólo de carbón e hidrógeno y productos químicos escogidos cuidadosamente que se conocen como aditivos.

No todos los elementos del petróleo crudo son deseables en un motor, por lo que el petróleo crudo básico debe tratarse en una refinería, a través de un proceso llamado destilación fraccionaria. Este proceso divide el petróleo crudo en porciones de acuerdo con sus rangos de puntos de ebullición.

Los productos que normalmente se obtienen de un suministro de petróleo crudo son gasolina, el combustible jet, diesel y aceite lubricante, mismo que es una de las fracciones más pesadas.

3.5.2. División del petróleo crudo en productos

Después de la primera separación, otro procedimiento de la destilación, separa los aceites en fracciones que van desde delgado hasta espeso. Cada fracción se procesa entonces para eliminar las pequeñas cantidades de componentes indeseables. Uno de éstos, conocido como cera, es parte de la base de parafina del petróleo crudo, experimentar arranque difícil de un motor diesel en tiempo frío y los filtros de combustible estaban obstruidos con una formación cerosa-grasosa.

Partes del petróleo crudo se empezaron a hacer gel, que es la solidificación de cristales de cera, a bajas temperaturas ambientales. Este problema se conoce como el punto de oscuridad del combustible.

Demasiada cera haría que el aceite lubricante del motor se solidificara a una temperatura ambiente dada. Por lo tanto, la mayor parte de la cera se elimina durante el proceso de refinamiento del aceite lubricante. Una vez que el petróleo crudo ha pasado por la primera etapa de refinamiento, queda lo que comúnmente se conoce como aceites básicos.

Sin embargo, estos aceites básicos no son apropiados para las altas presiones y temperaturas de los motores actuales. Los aditivos para aceite lubricante deben mezclarse químicamente con los básicos para lograr las características de operación deseados.

3.6 Clasificación de los aceites

Cientos de aceites comercialmente disponibles se producen en todo el mundo y la terminología de identificación y los grados difieren entre proveedores.

Algunos comerciantes de aceites pueden decir que sus lubricantes son apropiados para todas las marcas de motores diesel, dichas afirmaciones deben comprobarse con las recomendaciones de un fabricante específico de motor.

Los motores fabricados en USA requieren un aceite lubricante que se seleccione con base en el grado de viscosidad de la SAE y las designaciones de servicio de la API, aunque las especificaciones de los fabricantes de equipo original y las militares americanas a menudo también se utilizan en Europa. Las especificaciones militares y el CCMC (Comité de Constructores del Mercado Común) representan los requisitos de los fabricantes europeos de aceite lubricante para la calidad del aceite de motor.

En Estados Unidos se ubican las normas tanto de la SAE como la API, solamente deben considerarse aceites que reúnan las propiedad que recomienda, como apropiados para un motor dado. El uso de un lubricante CG-4 no permite ampliar los intervalos normales de cambio de aceite.

El aceite lubricante CG-4 tiene varias ventajas, mejor control de los depósitos en el motor y prevención del desgaste corrosivo. Consumo de aceite reducido y mejor control de la viscosidad del aceite, control de la dispersión del hollín, oxidación y deterioro del aceite lubricante por la combustión.

3.6.1. Lubricantes sintéticos

Las ventajas de los lubricantes sintéticos sobre los aceites lubricantes con base de petróleo son tan grandes que en la actualidad todos los aviones a reacción (jet) y los vehículos espaciales son lubricados con aceites sintéticos.

Debido a estas ventajas, los aceites lubricantes sintéticos se recomiendan ahora y se usan en muchas marcas y modelos de transmisiones, siendo una clasificación CD50 ampliamente aceptada como estándar para los productos Eaton / Fuller. En realidad los aceites sintéticos han sido aceptados como lubricación de elección para transmisiones y diferenciales, llenando los fabricantes originales sus equipos con estos aceites. Además, algunos fabricantes de equipo original proporcionan una garantía más prolongada si se usa el lubricante adecuado en lugar de los aceites de petróleo.

Los lubricantes sintéticos se hacen de los materiales crudos existentes y por medio de procesamiento de refinería de petróleo producen más productos con base uniforme, con estructura más predecible y propiedades que los aceites con base de petróleo.

La parafina, el asfalto, el ácido sulfúrico y la bencina son cuatro sustancias indeseables que se pueden eliminar de los aceites sintéticos, pero que permanecen en el material del aceite con base de petróleo aún después de refinado.

Construyendo lubricante sintético desde su base, los químicos pueden arreglar o rearmar la estructura molecular para producir las materias base de lubricante que tienen características deseables. Los lubricantes sintéticos que se usan en la industria de trabajo pesado se basan en el polialfaolefón de hidrocarburo sintético y los ésteres orgánicos.

El polialfaolefón se deriva del gas natural, mientras que los ésteres se derivan de la grasa animal y del aceite crudo líquido. Estos dos materiales, o una combinación de ellos, forman el material base del aceite; los aditivos son una mezcla del material base.

Sobre una base comparativa, el lubricante sintético cuesta entre dos y seis veces más que un aceite de petróleo. Sin embargo, el aceite sintético que es igual en viscosidad al aceite de petróleo exhibirá una volatilidad mucho menor. Además, el aceite sintético tiene la capacidad de resistir la oxidación a temperaturas mayores evitando por tanto el barniz y el sedimento, que ocurre con los aceites de petróleo a temperaturas moderadas.

Se puede resumir las ventajas de un lubricante sintético como sigue:

1. Mejor fluidez a baja temperatura para mejorar la protección en el arranque.
2. Baja volatilidad para proporcionar un punto de ebullición mayor y resistencia mayor a la evaporación.
3. Mejorada resistencia a la oxidación y evaporización para evitar la formación de barniz y sedimento en los engranes y las partes.

4. Estabilidad térmica mejorada o mayor resistencia a la pérdida de rendimiento debido a cambio de temperatura del lubricante.
5. Protección mejorada contra desgaste y resistencia de la capa de aceite, puesto que las moléculas sintéticas de aceite son más uniformes en tamaño.
- 6.** Intervalos de cambio más extensos debido a la capacidad del aceite a resistir la degradación y deterioro térmico.

4. ANÁLISIS DE ACEITE

El análisis de aceite es una estrategia del mantenimiento predictivo ampliamente utilizada y de grandes beneficios económicos. Los avances en computación, programas e instrumentación han propiciado grandes cambios en el campo. Esta nueva tecnología hace que los programas de análisis de aceite sean más fáciles de administrar y asegurar un alto retorno del dinero invertido en mantenimiento.

Muchas compañías en Latinoamérica están utilizando software (ordenador) para dar seguimiento a la información de operación y desempeño de sus equipos. Hay algunos programas independientes de análisis de aceites que permiten desde la comunicación con los laboratorios, la administración de los resultados, impresión, gráficos, establecer límites de advertencia, tendencias y además también configuran módulos adicionales para registrar análisis de vibración.

Existe gran confusión y necesidad de aclarar lo referente al establecimiento de límites de alarma, donde se utilizan en muchas ocasiones metodologías generales enfocadas fundamentalmente al mantenimiento predictivo, es decir, a detectar cuándo estamos próximos a una falla para poder evitar paros y fallas catastróficas.

El nuevo enfoque del mantenimiento, nos permite utilizar límites de advertencia de tendencia, determinados para poder tomar acciones cuando alguna de las variables que provocan el desgaste se salga de los límites y de esa manera no sólo evitar la falla, sino evitar el desgaste y por lo tanto, prolongar significativamente la vida de los equipos.

La exactitud y control de calidad en análisis de aceite empiezan y terminan en el laboratorio, el aseguramiento de la calidad de los programas, generalmente audita sólo la exactitud de los procesos de los laboratorios; sin los propios controles en el lugar de trabajo antes de enviar los análisis.

Las pruebas pueden ser menospreciadas por no estar bien etiquetadas, con atraso en la fecha de recepción y esto resulta en malas acciones correctivas adicionado también a los costos del análisis; si ninguna acción correctiva es tomada en tiempo, los equipos pueden fallar o incrementarse el daño.

Los controles que deben ser llevados antes de envasar las muestras al laboratorio incluyen:

- a) Almacenamiento del aceite nuevo.
- b) Muestrear el aceite nuevo.
- b) Etiquetar las muestras.
- d) Conocer técnicas de muestreo.
- e) Usar el correcto método de extracción.
- f) Acciones correctivas.

Los controles de calidad empiezan después que el aceite es puesto en los vehículos y todas las variables que puedan afectar la integridad de los datos deben ser reguladas.

4.1. Manejo de lubricantes nuevos

Los depósitos de lubricantes vírgenes deben ser fácilmente identificables con el tipo de lubricante y su grado. Almacenar el contenedor en un lugar limpio y seco ayudará a que el lubricante no sea contaminado con polvo y agua, si es posible este contenedor debe ser guardado en un ambiente controlado para protegerlo de calor o frío excesivo.

Es posible recibir lubricante no etiquetado o contaminado del proveedor, periódicamente, el lubricante nuevo debe ser muestreado y analizado por el laboratorio como parte de un programa de calidad de lubricación. Transferir lubricante de un lugar a otro puede contaminarlo, si no es usado directamente de su depósito original es importante cuidar que no se agregue humedad.

4.2. Propósitos del análisis de aceite

Los principales propósitos del análisis de aceite usado son:

- a) Definir los intervalos óptimos para el cambio de aceite por medio del cuidadoso monitoreo de la condición de las muestras de aceite usado.
- b) Asistir en la programación del mantenimiento, basado en los resultados del análisis realizado en las muestras de aceite.
- c) Monitorear las condiciones de operación de los componentes muestreados.

Un programa de mantenimiento predictivo no se limita únicamente a los motores como parte de un buen programa predictivo de mantenimiento, el muestreo debe incluir transmisiones, impulsores finales, diferenciales y el sistema hidráulico para así proporcionar un análisis completo de toda la unidad.

De esta manera se podrán prevenir fallas innecesarias, reducir los costos de operación y aumentar las ganancias. El aceite para motor es el artículo de menor costo en que se incurre en los gastos de operación y mantenimiento de una flotilla: únicamente tres milésimas de pulgada por milla.

Muchas veces cuando se piensa en el aceite de motor para una flotilla, solamente consideramos el precio por galón. Se cree que el aceite para motor, es aceite para motor, que es igual a decir que un ladrillo es un ladrillo. En vez de seleccionar el aceite para motor con la mayor calidad posible decidimos cortar costos comprando de acuerdo al precio del aceite.

4.3. Características que debe incluir un análisis de aceite

El análisis de aceite permite al jefe de mantenimiento medir las propiedades críticas del aceite y monitorear cierta cantidad de contaminantes y otros constituyentes.

Comparando los resultados de las pruebas con aceites nuevos del mismo tipo se puede:

1. Identificar cambios físicos que han ocurrido.
2. Identificar contaminantes y otros constituyentes por tipo, cantidad y origen.

Una evaluación del significado de lo anterior asiste en mediciones de la condición interna del motor o componente tratado y de la serviciabilidad del lubricante, nótese el

uso de la palabra “asiste”, un buen ingeniero de mantenimiento usa el análisis de aceite en conjunto con otras técnicas de información incluyendo el historial de mantenimiento, inspecciones visuales etc., para hacer mejores juicios sobre la condición del componente.

Una serie de pruebas sobre el aceite de motor debe generar la máxima cantidad útil de información al menor costo posible. La mayoría de compañías y otras fuentes que ofrecen análisis de aceite están de acuerdo con las características del aceite, contaminantes y otros constituyentes que deben ser monitoreados por un programa .

4.4. Costo del análisis

Antes de proceder con un programa de análisis de aceite se deberá considerar el costo de tal programa. Se debe contactar varios laboratorios y obtener costos envueltos para establecer el programa.

Asegurarse de comparar servicios y procedimientos de prueba, algunos laboratorios ofrecen niveles de servicio, si se está de acuerdo con los costos involucrados y se cree que la ganancia superará el costo de tal programa, se pasará a la selección del laboratorio.

Como se espera, los ajustes económicos por fallas están de acuerdo con los costos de la falla, esto pudiera doblar la frecuencia de muestreo, pero pudiera incrementar diez veces el portafolio si esto fuera alto. Los costos por la falla deben ser considerados dentro de las cuentas que incluyan costos por paros de los equipos, costos de reparación o reconstrucción, de la interrupción de la actividad económica.

4.5. Selección del laboratorio

Cuando se seleccione un laboratorio de análisis de aceite se deben buscar atributos tales como garantía de calidad, tiempo mínimo de entrega de resultados, capacidad y buen servicio al cliente; un laboratorio debería tener un programa para garantizar la calidad con un certificado ISO, cuestionar por copias de auditoría, el laboratorio necesita de información acerca del equipo, tipos de lubricante utilizado, condiciones del ambiente y prácticas de mantenimiento, en respuesta el laboratorio debe proveer una profunda interpretación y recomendar las acciones pertinentes en el reporte del análisis

Una vez el reporte ha sido recibido del laboratorio es importante actuar rápidamente con cualquier recomendación, con el tiempo se incrementará la productividad, se extenderá la vida útil de los vehículos y el costo de mantenimiento bajará.

Construir una buena relación con el laboratorio puede ser muy ventajoso para el programa de análisis de aceite, siempre que sea posible se debe realizar visitas al laboratorio, comunicarse directamente con su asistente técnico o quien tomará las muestras, esto da la oportunidad de ver de primera mano la forma en que las muestras son manejadas y cómo las pruebas son realizadas. También se puede recibir copias de auditorías o uno mismo puede auditar el laboratorio.

Es crucial dar las indicaciones del tipo de análisis que se va a requerir para las muestras. Se necesitará seleccionar una frecuencia de muestreo y un juego de prueba por cada diferente tipo de equipo, por ejemplo, las muestras de motores se deberán probar por refrigerante y contaminación, pero esta prueba no será aplicable para lubricantes tomados de un equipo hidráulico.

4.6. Principales métodos de análisis de aceite

4.6.1. Análisis de partículas de desgaste por ferrografía

La ferrografía es una técnica que provee un análisis microscópico de partículas separadas de todos los tipos de fluidos. Desarrollada a mediados de los años setenta como una técnica de mantenimiento predictivo, fue inicialmente usada como una precipitación ferrosa de partículas de los aceites lubricantes.

Esta técnica fue usada exitosamente para monitorear la condición de motores de aviones militares, cajas de engranajes y transmisiones. Este éxito se fue rápidamente desarrollando en otras aplicaciones, incluyendo modificaciones del método de partículas no magnéticas.

Esta técnica separa las partículas de desgaste del aceite por medio de magnetismo y las deposita en una placa de vidrio conocida como ferrograma. La observación al microscopio permite la identificación del modo de desgaste y las probables fuentes de desgaste de la maquinaria.

Una versión completamente automática de esta técnica de separación magnética es la ferrografía de lectura directa (DR), que mide la relación entre las partículas grandes y pequeñas en la muestra y la información puede ser utilizada para calcular la concentración de partículas de desgaste y el índice de severidad; estos dos parámetros nos ayudarán a construir tendencias del comportamiento de los equipos.

No está disponible para materiales de desgaste no ferrosos; este tipo de resultado es de mayor valor una vez que se ha establecido una línea de tendencia.

4.6.2. Método de análisis elemental espectrométrico

Esta técnica se utiliza para detectar y cuantificar elementos metálicos en un aceite usado como resultado del desgaste, contaminación y aditivos del aceite (aunque en ocasiones se utiliza para aceites nuevos, no es muy común). La muestra de aceite es energizada para hacer que cada elemento emita o absorba una cantidad cuantificable de energía, lo cual indica la concentración de elementos en el aceite.

Los resultados reflejan la concentración de elementos metálicos disueltos como los aditivos y también partículas muy finas de desgaste. Esta prueba es la columna vertebral de la mayoría de los laboratorios de análisis de aceite en el mundo, ya que proporciona información de la máquina, la contaminación y la condición del desgaste relativamente rápido y preciso.

Su limitación principal es que su eficiencia de detención es muy baja para partículas de tamaño de 5 mic. (micrones) o mayores. Las partículas con diámetros mayores de 10 mic., son generalmente las partículas resultantes de desgaste normal y esas partículas deberán ser cuantificadas para determinar la ocurrencia del desgaste. Esta técnica tiene una exactitud promedio del 10%, aunque hay equipos nuevos que actualmente reportan 3%.

Los métodos espectrométricos incluyen la absorción atómica, la emisión espectroscópica atómica y el plasma espectrométrico acoplado por inducción, el de plasma y el de emisiones atómicas son los más populares por el bajo costo, rapidez y otros factores.

Virtualmente todos los laboratorios de análisis de aceite proporcionan a sus clientes algún tipo de análisis espectrográfico para desgaste de metal y otros elementos. El número de metales reportado puede variar de 6 a 20 o más, pueden ser: hierro, cromo, molibdeno, aluminio, cobre, plomo, níquel y plata.

Como contaminantes se acostumbra medir el contenido de sílice, sodio y boro, algunos laboratorios también reportan de cuatro a seis elementos aditivos, esto no le dice al usuario cuántos aditivos están aún en el aceite, sin embargo, actúa como una herramienta de control de calidad en determinar si se está utilizando el tipo correcto de aceite. El análisis espectrográfico asiste en identificar desgastes anormales, fugas de refrigerante y contaminación por suciedad, los resultados son reportados en partes por millón, por peso.

Un conocimiento de la metalurgia del componente de sus mecanismos, así como las propiedades del lubricante utilizado permite al analista, hacer las mediciones e identificar los tipos y cantidades de desgaste de metales en el aceite usado y detectar áreas de desgaste internos anormales. Como dos componentes no tienen los mismos patrones de desgaste, el método óptimo para determinar un desgaste interno anormal es a través del “análisis de la tendencia”, comparando los desgastes de metal sobre un motor dado contra una historia previa, desviaciones del patrón normal pueden ser detectados y diagnosticados.

Comparar los resultados espectrográficos de dos o más laboratorios sobre una muestra de aceite puede mostrar una gran diferencia de concentración de desgaste de metales, esto puede deberse a los tipos de instrumentos y técnicas de análisis utilizadas; por esto y otras razones el usuario debe tener los límites de desgastes para sus propios componentes del laboratorio que se estén usando, algunos fabricantes de motores, petroleras y otros proveen al cliente los límites de desgastes en metales.

4.7. Métodos para muestreo

Para poder asegurar el cumplimiento de los objetivos de un programa de mantenimiento predictivo, es necesario obtener una muestra representativa del aceite usado, pero no del que se encuentra en el fondo de la aceitera sino del que circula a través de la unidad. Basta con dos onzas en la mayoría de los casos, las muestras representativas se toman en el momento programado para realizar el cambio de aceite. El motor debe haberse calentado previamente para alcanzar la temperatura de operación adecuada y la muestra debe tomarse poco después de que se haya apagado el motor.

Cuando se necesite muestrear algún componente se deben usar técnicas que provean muestras representativas, los procedimientos de muestreo deben asegurar que la técnica utilizada es consistente, cada vez que una muestra es extraída y enviada al laboratorio. Esto garantizará que el seguimiento y los valores de tendencia recibidos del laboratorio son consistentes y representativos.

Cuando se use tubo para extraer muestra se debe cortar el largo exacto para que la muestra sea extraída en el punto medio de la aceitera. Cada pieza de tubo debe ser utilizada una sola vez y desechada, se debe tener extrema precaución cuando se utilice tubo para obtener la muestra de una unidad que esté en operación, el tubo puede ser enganchado por piezas en movimiento del motor.

La rotulación de los botes debe incluir, pero no limitarse a identificación del vehículo, fecha de muestreo, horas del lubricante y horas de trabajo o kilometraje, una vez extraída la muestra ésta debe ser enviada inmediatamente y el laboratorio deberá enviar los resultados de igual forma.

Tomar una muestra de aceite de la aceitera es una mala idea ya que puede estar contaminada y esto se reflejará en los resultados del análisis de la prueba. Sin embargo, si el motor o cualquier otra parte ya falló y el aceite ya se ha sacado, una muestra de aceite puede mostrar alguna indicación sobre el fallo de esta parte. Si la muestra ha sido tomada de la aceitera, se debe indicar al enviar la muestra, de esta manera se ayudará a hacer el análisis más acertado.

Tampoco es una buena idea el obtener la muestra de aceite del filtro del aceite. Sin embargo, es mejor que nada, si se está tratando de resolver un problema; si se obtiene la muestra del filtro de igual forma se debe indicar, entre más precisa sea la obtención de la muestra de aceite usado, más exactos serán los resultados.

4.7.1. Método de drenado

El método menos recomendado para obtener muestras es el de drenado, si este procedimiento debe ser usado, se tiene que dejar salir una adecuada cantidad de aceite usado, para que partículas de agua no sean tomadas en la muestra. Todas las muestras deben ser recolectadas en botes especialmente limpios que nunca han sido utilizados, dependiendo del tipo de análisis, los botes pueden ser certificados que tienen un nivel específico de limpieza, los rótulos o etiquetas deben ser puestos en los botes inmediatamente después de haber extraído la muestra para evitar confusiones.

Debe limpiarse el rededor del tapón de drenado para eliminar los escombros que puedan caer en el frasco en donde se depositará la muestra para evitar la contaminación del mismo. Retirar el tapón y permitir que cerca de la mitad del aceite fluya y se asiente en el crisol, luego insertar el frasco en la corriente del aceite y llenar el frasco, asegurar la tapadera del frasco fuertemente antes de limpiar el frasco para evitar cualquier posibilidad de contaminación de la muestra.

4.7.2. Método con pistola de succión

Esta pistola puede obtenerse con cualquier proveedor de lubricantes a un costo nominal y está diseñada para adaptarse de manera segura al frasco proporcionado por cualquier programa de muestreo de aceite usado. Se requiere del uso de esta pistola cuando se necesita tomar una muestra de aceite y no se va a realizar un cambio de aceite.

Cuando esté listo para utilizarlo, corte la punta del tubo plástico que será insertada en el lugar en donde se coloca la varilla para medir el nivel del aceite. Esto permitirá que el tubo pueda penetrar fácilmente en el motor. Inserte el tubo de manera de tenga el mismo largo que la varilla, esto evitará que el mismo tope con el crisol. Algunas personas utilizan una nueva medida para el largo del tubo plástico cada vez que toman una muestra, esto no es necesario si se hace una muestra de depuración anteriormente.

Se recomienda mantener un frasco de muestreo adherido a la pistola de succión siempre que ésta no se esté utilizando. Utilice este frasco como su frasco de depuración. Llene el frasco y deslíguelo de la pistola, deseche el aceite de manera apropiada. Esta muestra de depuración elimina cualquier escombros que pudo haberse recogido mientras se insertaba el tubo plástico, adhiera un nuevo frasco a la pistola y asegure el frasco con su tapón correspondiente.

4.8. Establecimiento de la frecuencia de muestreo

El establecimiento de una estrategia de análisis de aceite en una industria es fundamental, cualesquiera que sea la actividad de ésta. Sin embargo, cada máquina es única en sus características, localidad, medio ambiente y programas de mantenimiento y estas singularidades deben ser reflejadas en el programa de análisis de aceite diseñado.

Por lo anterior, la frecuencia de muestreo debe ser específicamente para una máquina en particular. Cada frecuencia es asignada como un valor fijo que puede ser referenciado con una máquina similar en otra industria, pero si es basada sobre un factor crítico de aquellos parámetros que afectan a una máquina en específico se debe manejar las bases caso por caso.

Una de las preguntas más prominentes en la mente de una persona discutiendo un programa de análisis de aceite es: ¿Qué tan frecuente debe tomar muestras? Mientras no es una respuesta simple la que se está buscando, la respuesta correcta es: ¿Qué tan confiable es el sistema que se necesita?

No se puede ofrecer una opinión sin estar entendiendo un número de factores, tales como la edad del aceite o de la máquina, los objetivos específicos de cada parámetro, el medio ambiente y el propósito de la máquina y lo más importante, el valor de la máquina para el negocio y los riesgos de seguridad asociados con eventuales fallas de la máquina.

Con un pensamiento proactivo, la estrategia clave debe estar enfocada en buscar y monitorear la causa raíz de los problemas, parámetros tales como contaminación o degradación del aceite. En este caso la frecuencia de muestreo va a depender de la criticidad de la unidad, las aplicaciones y la severidad del medio ambiente, edad del lubricante y de la máquina y de qué tan fuertes sean los objetivos de proactividad que hayan sido establecidos.

Lo mejor de la estrategia proactiva es que la ocurrencia de fallas en condiciones anormales será menos frecuente que sobre un régimen de mantenimiento preventivo porque la pro actividad esencialmente busca la raíz de los problemas, a largo plazo.

Usualmente esto reduce el costo de las muestras prolongando el período de muestreo solventando las causas de los problemas de raíz y con menos tiempo de paro por fallas. El primer paso en establecer un programa de análisis de aceite es seleccionar el método de muestreo a ser utilizado, y el establecimiento de la frecuencia de muestreo.

4.9. Intervalos de muestreo recomendados

Cuando seleccione una frecuencia de muestreo, es muy importante considerar cualquier estrategia de mantenimiento predictivo a ser usada. Hablando de predicción, el programa se dirige a buscar signos de fallas inminentes, como tal ninguna señal de aviso es tan pronta, esto sugiere que una estrategia predictiva de análisis de aceite puede significar un muestreo más frecuente.

4.9.1. Intervalo regular

Éste es el método más común utilizado y preferido para obtener muestras de aceite usado, usando este método, una muestra es tomada en bases regulares, usualmente como parte de un programa de mantenimiento preventivo.

Analizando el aceite con un período de intervalo establecido, se puede comparar resultados pasados con los resultados actuales y construir un historial, el cual es comúnmente llamado “Línea de tendencia del análisis”, usando la línea de tendencia del análisis, se estará en la disponibilidad de seguir el desgaste de metales y contaminantes sobre la vida del componente y ayudar en establecer los intervalos del mantenimiento y resolver problemas puntuales.

4.9.2. Intervalos sobre la revisión de la muestra

Usando este método, solamente un porcentaje predeterminado de un grupo de vehículos es muestreado, del resultado de las pruebas de las muestras de estos vehículos, la condición de la flotilla entera es juzgada. Este método tiene sus limitaciones porque no se puede señalar un problema específico, no toma en cuenta las diferencias en el análisis de cada uno de los vehículos, tampoco permite utilizar la línea de tendencia del análisis.

4.9.3. Muestreo por problemas

Usando este método de muestreo, las muestras solamente son tomadas cuando un problema salió a luz. Usando este método es posible detectar alto porcentaje de contaminantes tales como combustible, agua y silicio, pero es difícil juzgar algún nivel excesivo de desgaste de metales; este método puede ser usado en conjugación con el método rutina en problemas puntales entre intervalos de muestreo.

El análisis de aceite es usado para determinar toda la condición del lubricante y asistir en monitorear la condición del motor. Por esta razón, es sumamente recomendado que la muestras se tomen sobre intervalos regulares y la tendencia de análisis sea usada.

4.10. Pruebas realizadas a los aceites

Una serie de pruebas para el aceite de motores diesel son realizadas, el aceite debe generar la máxima cantidad de información utilizable al menor costo posible.

La mayoría de compañías petroleras que ofrecen servicios de análisis de aceite están en común acuerdo con las características del aceite, contaminantes y otros constituyentes que deberán ser monitoreados por programas de análisis de aceite.

4.10.1. Viscosidad

En el análisis de aceite la prueba es presentada para determinar si el aceite se ha engrosado o adelgazado excesivamente con relación a un aceite nuevo. Un resultado anormal indica que el aceite no puede realizar su trabajo efectivamente y que algún defecto operacional o de mantenimiento existe y debe ser corregido.

Adicionalmente esta prueba puede señalar la causa del cambio de viscosidad, hay buena cantidad de procedimientos usados para medir la viscosidad, siendo el más aceptado el método cinemática ASTM D-445. Esta prueba debe ser realizada a 100 °C o a 212 °F en aceites para motor.

Esta temperatura estándar cercanamente aproximada a la temperatura de la aceitera del motor resulta ser normalmente reportada in centistokes (cSt) o *Sybolt Universal Seconds* (SUS) la prueba de la viscosidad cinemática determina la degradación de la viscosidad del aceite, y varias pruebas químicas que determinan la alcalinidad o la acidez (TAN & TBN), o de destilación para determinar el contenido de agua.

4.10.1.1. Causas de la variación en la viscosidad

4.10.1.1.1. Delgadez del aceite

La dilución por combustible es la causa más común de la delgadez del aceite, al igual que la separación de la cadena de moléculas (polímeros) usadas en aceites de viscosidad múltiple, también contribuyen en presentar delgadez anormal, agregar aditivos de viscosidad no adecuada .

4.10.1.1.2. Dureza del aceite o engrosamiento

Una excesiva cantidad de sólidos insolubles en el aceite o de fluidos, son la principal causa para incrementar la viscosidad. Agua y refrigerantes, forman emulsiones en el aceite e inhiben su habilidad de fluir. La causa más común de incremento de viscosidad en los motores diesel es la presencia de cantidades excesivas de carbonilla y productos de los procesos de combustión, otros engrosadores sólidos encontrados en motores diesel incluyen productos de oxidación, suciedad, fibras de filtros, etc.

4.11. Teoría básica de refrigerantes

El motor en el proceso de combustión genera gran cantidad de calor, parte del cual es necesario eliminar para evitar que los metales que lo conforman se distorsionen o derritan.

Para ello, se hace circular un líquido que lo absorbe de los cilindros y de la cámara de combustión, y lo lleva a un intercambiador, el radiador, donde el fluido se enfría y la alta temperatura es expulsada fuera del sistema.

El agua es una obvia elección, porque es uno de los materiales más abundantes y con una gran capacidad para enfriar; pero presenta tres desventajas:

- a) Hierve a 100 °C.
- b) Se congela a 0° C y se expande al pasar al estado sólido.
- c) Corroe los metales.

Para no desaprovechar las cualidades de transferencia de calor del agua, se han enfrentado los inconvenientes mencionados, mezclando con ésta otro elemento que cambia sus propiedades de ebullición y congelación. Inicialmente se hacían mezclas con alcohol, pero se pasó luego al uso de etilenglicol o propilenglicol, sustancias que tienen puntos de ebullición más altos y de congelación más bajos, que el H₂O, con la ventaja adicional de ser perfectamente miscibles con ella.

Adicionalmente, los sistemas de enfriamiento modernos son sellados y presurizados a 15 psi, lo que incrementa la temperatura de ebullición del agua, o de la combinación con el citado etilenglicol, para constituir lo que llamamos el líquido refrigerante (*coolant*) o anticongelante (*antifreeze*).

Si bien en la latitud en las que nos encontramos, apenas 15 grados arriba del ecuador, la congelación no es probable, se recomienda utilizar al menos 33% de etilenglicol en mezcla con agua. La proporción recomendada por los fabricantes de vehículos (y por los fabricantes de los anticongelantes) para climas en los que no hay congelación, es de 50% de agua y 50% de refrigerante a base de etilenglicol, lo que eleva la temperatura de ebullición hasta 112 grados centígrados, cuando se utiliza una tapa de presión de 15 libras.

Para resolver la tercera desventaja -la corrosión- los fabricantes han combinado una serie de sustancias químicas que evitan la oxidación por diversos mecanismos.

4.11.1. Refrigerante (glicoletileno) en el aceite de motor

Se puede encontrar agua dentro de la aceitera del motor proveniente del medio ambiente, como un producto de la combustión o debido a fugas de refrigerante. La contaminación del agua es rara vez encontrada en muestras de aceite de motores diesel. Los motores que operan por períodos suficientemente grandes de tiempo crean suficiente cantidad de calor para evaporar agua contaminada. Las pruebas de agua no pueden ser utilizadas para señalar o verificar fugas de refrigerante.

La mayoría de laboratorios usan una prueba con un indicador químico sensible al glycoetileno o un análisis espectrográfico por sodio y boro (constituyentes de un aditivo encontrado virtualmente en todos los anticongelantes) o ambos para revisar la presencia de refrigerante en el aceite de lubricación. Algunos aceites nuevos contienen glicol o derivados como parte de su compuesto.

Esto puede causar resultados positivos en la prueba química realizada. Otros aceites contienen relativamente grandes cantidades de sodio o boro, esta información es necesaria para el analista, para tener un conocimiento detallado del contenido del aceite nuevo antes de evaluar los resultados del aceite usado. Los resultados deben ser reportados como un porcentaje por peso o por volumen.

4.11.2. Límites permisibles de refrigerante en el aceite

La mayoría de fabricantes de motores ponen un límite máximo de 0.2% por contaminación de agua en sus motores, la mayoría de pruebas sobre la presencia de etilenglicol en la aceitera debe tener una acción correctiva inmediata.

4.12. Total de sólidos

La cantidad de sólidos o materiales insolubles es un buen indicador general del nivel de contaminación del lubricante. Toda materia sólida en el aceite, incluyendo productos de combustión, oxidación, desgastes y contaminantes del medio ambiente, son medidas y reportadas como un porcentaje por peso o volumen. A una cantidad más grande de sólidos, un nivel de contaminación más alto. En los aceites de motores diesel, la carbonilla por combustible no quemado normalmente cuenta como el material más medido en las pruebas de sólidos.

Algunos laboratorios sustituyen la prueba por infrarrojo que mide la carbonilla específicamente en lugar de una prueba no específica. Los procedimientos y pruebas varían de un laboratorio a otro, por esta razón los límites de esta prueba deben ser establecidos individualmente por los laboratorios.

4.13. Número base total (TBN)

Si el análisis de aceite está siendo utilizado para determinar y establecer el intervalo correcto de cambio de aceites o si la calidad del combustible diesel es sospechosa, el TBN de un porcentaje representativo (aproximadamente 10-15 %) de las muestras de la flota deben ser revisados, en otros casos el TBN no es un costo efectivo como una rutina de pruebas.

4.14. Número total de acidez (TAN)

Acidez indica la extensión de la oxidación de un lubricante y este índice indica la capacidad que tiene el lubricante de neutralizar estos ácidos provenientes de fuentes externas, tales como los gases de combustión.

La acidez de los lubricantes es medida por la cantidad de hidróxido de potasio requerido para la neutralización (mg KOH/g) el número resultante es llamado TAN (*Total Acid Number*). Los aditivos en la mayoría de nuevos aceites contribuyen a cierto TAN o acidez, por esto es crítico determinar y monitorear cambios tomando como referencia los aceites nuevos.

Un incremento en el TAN puede indicar oxidación del lubricante, o contaminación con un producto ácido. Un lubricante severamente degradado indicando un TAN alto puede ser muy corrosivo.

Tabla II. Valores de referencia no metales

VALORES DE REFERENCIA NO METALES

COMBUSTIBLE	2.00%	OXIDACIÓN	0.20%
	2.01% - 15.00 %		0.40%
	15%	NITRACIÓN	0.20%
AGUA*	0.10%		0.40%
CARBONILLA	0.30%	SULFATACIÓN	0.20%
	1%		0.40%
TIERRA (SI)	30 PPM	*INDICACIÓN DE ANÁLISIS CUALITATIVO	
	100 PPM		

RANGOS DE VISCOSIDAD (cSt)

VALOR OBJETIVO (cSt)

RIMULA X 15W 40	12.5 - 16.5	14.00
SPIRAX 85W 140	11.0 - 42.0	31.00
SPIRAX 80W 90	7.0 - 22.0	17.00
DONAX TC SAE 50	16.0 - 22.5	18.00

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

5. ELEMENTOS DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Reportes presentados

Los reportes presentados por los laboratorios varían, según sean las consideraciones de la información que se considere fundamental para éste y los requerimientos del cliente o el ingeniero encargado de la flotilla, o generalmente es fácil de entender por la información tipo semáforo:

Semáforo con luz verde: sin problemas.

Semáforo con luz amarilla: es necesario tener precaución.

Semáforo con luz roja: indica que es necesario tener una acción correctiva inmediata.

Normalmente el reporte del análisis se divide en tres partes:

Desgaste de metales del equipo.

Contaminación del aceite con agentes extraños.

Estado y degradación del aceite, utilizando la combustión del motor.

5.2. Desgaste metálico

Se debe a piezas metálicas que han sufrido desgaste al chocar. Es normal que ocurra desgaste entre piezas metálicas, pero se recomienda usar el análisis de aceite para controlar dicho desgaste y evitar aumentos fuera de control.

5.2.1. Desgaste por abrasión

En las superficies deslizándose una sobre la otra con diferente dureza de material, los cuerpos abrasivos duros son los que provocan el desgaste. También se puede dar la abrasión de tres cuerpos cuando hay materiales metálicos involucrados.

5.2.2. Desgaste por fatiga

En este caso el mecanismo de desgaste es el contacto de un rodamiento cíclico, la ruptura se propaga por debajo de la superficie hacia afuera.

5.2.3. Desgaste por partículas metálicas

Haciendo referencia al tamaño de las partículas contaminantes, encontramos que con un microscopio se pueden observar: Bacterias de 3 mic., Glóbulos rojos de 5 mic. Polvo tipo talco de 10 mic., polvo de suelo de 40 mic., y con el ojo humano se puede observar el pelo con un diámetro de 80 micrones, los granos de sal con 120mic., y la arena con 20. Entonces todas las partículas de 10 micrones para arriba tienen el tamaño promedio para ser partículas destructivas y éstas se mencionan a continuación.

Tabla III. Valores máximos de metales por componentes

NOTA: LOS VALORES DESCRITOS A CONTINUACIÓN SE CONSIDERAN VALORES GUÍAS DESGASTE. NO SON LÍMITES PUNTUALES, YA QUE EL DESGASTE ES INDIVIDUAL PARA CADA UNIDAD, DEBE SER CONSIDERADO DEPENDIENDO DE LA TENDENCIA QUE MUESTRE LA MAQUINARIA.

A PARTIR DE LOS SIGUIENTES VALORES SE CONSIDERA DESGASTE ANORMAL

	Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al
MOTOR DIESEL	75	10	45	45	45	20
MOTOR GASOLINA	100	15	50	60	60	25
MANDO FINAL	300	10	60	75	75	10
DIFERENCIAL	400	15	75	60	60	20
TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA	100	10	150	75	75	25
TRANSMISIÓN	300	15	50	50	50	20
ENGRANAJES INDUSTRIALES	60	5	35	50	50	20
HIDRÁULICO INDUSTRIAL	10	5	10	10	10	5
HIDRÁULICO AUTOMOTRIZ	15	5	15	15	15	5
COMPRESOR TORNILLO	30	5	20	35	35	5
TURBINA DE GAS	20	5	5	15	15	5

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

5.2.3.1. Partículas esféricas

Parecen elementos de rodamiento de cojinetes, generadas por fatiga, generalmente menores de 10 micrones.

5.2.3.1.1. Partículas laminares

Asociadas con elementos de rodamiento o movimiento irregular causado por desgaste excesivo de piezas.

5.2.3.3. Partículas no ferrosas

5.2.3.3.1. Metales blancos: éstos son típicos del aluminio, plata, cromo.

5.2.3.3.2. Aleación de cobre: partículas no magnéticas con azul, gris o superficies café óxido.

5.2.3.3.3 Plomo / estaño: partículas gris oscuro, color óxido. También con puntos azules o naranja.

5.3. Contaminación

El mantenimiento predictivo identifica y mide varios contaminantes en el aceite que pueden deteriorar el motor o cualquier componente que lo contenga. Por ejemplo, una alta concentración de cobre indica el desgaste de un buje o una arandela de empuje; una alta concentración de cromo indica anillos de pistón deteriorados, con excepción de los anillos cubiertos con plasma. El mantenimiento predictivo permite inspeccionar las condiciones de dichas piezas y si es necesario tomar acción para evitar daños posteriores. A continuación se indican algunos contaminantes típicos y los efectos que producen sobre los componentes.

5.3.1. Silicio

Indicaciones de presencia de silicio superiores a las normales pueden señalar un problema importante, el aceite cargado con silicio se convierte en un compuesto abrasivo que puede desgastar el metal de distintas piezas durante la operación.

Tabla IV. Valores de desgaste metálico

ELEMENTO	MOTOR	VALOR DE DESGASTE	TRANSMISION	VALOR DE DESGASTE	DIFERENCIAL	VALOR DE DESGASTE
HIERRO (FE)	CILINDROS ENGRANAJES CIGÜEÑAL EJE DE LEVAS	65 PPM 130 PPM	ENGRANAJES DISCOS	350 PPM 600 PPM	ENGRANAJES EJE HOUSINGS	350 PPM 600 PPM
CROMO (CR)	ANILLOS VÁLVULAS ESCAPE	5 PPM 15 PPM	COJINETES	15 PPM 35 PPM	COJINETES	15 PPM 35 PPM
PLOMO (PB)	SUPERFICIE DE COJINETES	40 PPM 100 PPM	ALEACIÓN <i>BUSHINGS</i> ADITIVO DE LUBRICANTE	45 PPM 120 PPM	ALEACIÓN DE BRONCE	45 PPM 120 PPM
COBRE (CU)	BUSHINGS CIGÜEÑAL COJINETES BOMBA DE ACEITE	30 PPM 100 PPM	CLUTCH <i>BUSHINGS</i> DISCOS DE DIRECCIÓN	40 PPM 100 PPM	BUSHINGS	40 PPM 100 PPM
ESTANO (SN)	ALEACIÓN DE COJINETES ALEACIÓN DE <i>BUSHINGS</i>	40 PPM 100 PPM	JAULA DE COJINETES BRONCE	30 PPM 100 PPM	COJINETES BUSHINGS	30 PPM 100 PPM
ALUMINIO (AL)	PISTONES TURBO	20 PPM 50 PPM	BOMBAS	20 PPM 50 PPM	BOMBA DE LUBRICAR ENGRANAJES	20 PPM 50 PPM
NIQUEL (NI)	ASENTAMIENTO DE VÁLVULAS	10 PPM	EN ALEACION DE ACERO INOXIDABLE. OCASIONALMENTE COMO COMPONENTE DE BOMBAS.			
PLATA (AG)	BUSHINGS DEL MUNON	10 PPM	OCASIONALMENTE EN COJINETES.			

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

5.3.2. Aluminio

La presencia de aluminio puede ser crítica, la concentración de aluminio sugiere desgaste de los cojinetes, aun aumentos relativamente pequeños de los niveles de este elemento deben recibir atención inmediata porque una vez que empieza el desgaste rápido, el cigüeñal puede originar partículas de metal más grandes que quedarán atrapadas en los filtros de aceite.

5.3.3 Carbonilla

El alto contenido de carbonilla no es generalmente una causa directa de fallas, pero como partícula insoluble, el hollín puede obstruir los filtros de aceite y disipar los aditivos dispersantes, la carbonilla indica un filtro de aire sucio, sobrecarga del motor, entrada excesiva de combustible o una aceleración repetida con un ajuste inadecuado del limitador del gobernador.

También puede indicar combustible de baja calidad, residuos de carbón provenientes de la cámara de combustión que se pegan en las paredes de cilindros, anillos y pistón. Una de las características más comunes de un motor con una mala relación de combustión produciendo carbonilla es el humo negro por el escape.

5.3.4. Productos de oxidación

La oxidación es una reacción química entre el aceite y el oxígeno, tal como la herrumbre es una reacción química entre el hierro y el oxígeno. La oxidación se controla mediante aditivos inhibidores, pero siempre que el aceite esté en contacto con el aire, se produce oxidación; los agentes de oxidación en los gases de combustión de los motores diesel, la temperatura y ciertos contaminantes (como el cobre y el glicol), aceleran la oxidación. Al aumentar la oxidación del aceite, disminuye las propiedades lubricantes del mismo, se espesa el aceite, se forman ácidos orgánicos y se obstruyen los filtros conduciendo, por último, al atascamiento de los anillos, formación de incrustaciones y barnizado en los pistones.

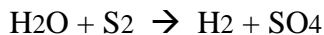
5.3.5. Productos de nitración

La nitración se produce en todos los motores pero únicamente representa un problema en los motores de gas natural. Los compuestos del nitrógeno, resultantes del proceso de combustión hacen que el aceite se espese, pierda sus propiedades y lleve a la obstrucción del filtro, extensa formación de incrustaciones y barnizado.

5.3.6. Agua

El agua combinada con el aceite crea una emulsión que obstruye el filtro, el agua y el aceite también forman un ácido peligroso que corroe el metal. Casi siempre la contaminación del agua es el resultado de la condensación en el cárter, fugas en el sistema de refrigeración, sellos, empaques, tapones o respiraderos en mal estado. Se producen contaminaciones aún más serias cuando hay fugas en el sistema de enfriamiento que permiten que el agua entre desde el exterior al sistema lubricante del motor.

El segundo contaminante más peligroso después de las partículas sólidas, reacciona con aditivos antioxidantes y antidesgaste, lo que permite rápida oxidación y degradación del lubricante, forma lodos precipitados, con diesel / *fuel oil*, reacciona con el azufre formando ácido sulfúrico y corroe el motor.



5.3.6.1. Consecuencias de una contaminación con agua

Rompe la película de lubricante permitiendo fricción metal / metal, una gota de Agua a 180 °F destruye completamente el aditivo ZDDP, promueve crecimiento bacteriano, promueve la formación de espuma y entrada de aire en el aceite, acorta la vida de los filtros, válvulas obstruidas con cristales de hielo.

5.3.7. Combustible

La contaminación con combustible disminuye las propiedades lubricantes del aceite, la película de aceite pierde la firmeza necesaria para impedir el contacto del metal contra metal y puede llevar al deterioro de los cojinetes y el agarrotamiento del pistón.

5.3.8. Azufre

La presencia de azufre es peligrosa para todas las piezas y componentes del motor. El tipo de desgaste corrosivo atribuido a un alto contenido de azufre también puede acelerar el consumo de aceite. Además, cuanto más combustible se consume durante un intervalo de cambio de aceite, más óxido de sulfuro se forma y éstos pueden producir ácidos. Por lo tanto, un motor que trabaja bajo cargas pesadas se debe verificar e inspeccionar con más frecuencia. Los daños del azufre en el combustible pueden hacer que los anillos se atasquen y que haya desgaste corrosivo en la superficie de metal de las guías de válvula, en los anillos de pistón y en las camisas de cilindro.

Las condiciones de operación del motor también juegan un papel importante en el tipo y grado de contaminación del aceite. Un ambiente seco, por ejemplo, afecta las indicaciones de presencia de silicio. Otro ejemplo son los motores que no se usan durante largos períodos de tiempo. Las camisas de dichos motores se herrumbran en forma inusualmente rápida y las muestras de aceite indicarán la presencia de altas proporciones de hierro.

5.4. Estado y degradación del lubricante

Aparte de la contaminación hay otras causas de deterioro. Estas causas son también motivos potenciales de degradación del aceite. Se describen brevemente algunas de las causas identificadas.

5.4.1. Baja temperatura

La temperatura de salida del agua de las camisas del motor influye en la formación de ácidos corrosivos en el motor. Primero, aun con un contenido de azufre en combustible inferior a 0.5%, cuando la temperatura es inferior a 79 grados centígrados (175 °F), se forman fácilmente vapores ácidos y empieza la corrosión. Segundo, la temperatura baja aumenta el contenido de agua en el aceite que puede hacer reacción con ciertos aditivos, disipándolos y reduciendo la protección proporcionada por el aceite. Esto puede producir incrustaciones, formación de sedimentos, barnizado y carbonización que, a su vez, aumentan el escape de gas, el pulido de las perforaciones para camisas y atascamiento de los anillos.

5.4.2. Humedad alta

En aplicaciones en donde la humedad alcanza el 85% o más, es más fácil que se formen ácidos gaseosos debido al contenido adicional de agua en el aire. Esto también puede aumentar los efectos corrosivos.

5.4.3. Consumo de aceite

La proporción de consumo de aceite puede dar una información valiosa respecto al motor. Los cambios en el consumo, así sea en forma gradual o imprevista, señalan el desgaste de los anillos de pistón o el atascamiento de los anillos de pistón.

Es crítico que haya suficiente aceite con un nivel de TBN adecuado, para que llegue a la zona de los anillos de pistón y neutralice el ácido.

5.4.4. Relación incorrecta de carga / velocidad

La carga del motor tiene un papel muy crítico en la degradación del aceite. Los sistemas de lubricación y enfriamiento de los motores que funcionan a la velocidad de régimen y alta carga operarán a una máxima eficiencia. Si se reduce la carga con el motor funcionando todavía a la velocidad clasificada, los sistemas de lubricación y enfriamiento siguen operando eficientemente pero el motor está demasiado frío y se produce condensación. Esto puede afectar las camisas de cilindro y los anillos de pistón y aumentar los gases de escape.

5.4.5. Combustible inadecuado

Los motores para servicio pesado normalmente traen recomendaciones del fabricante en cuanto al combustible adecuado que se debe utilizar; por ejemplo, algunos motores Caterpillar están diseñados para utilizar combustible diesel ASTM 975 No. 2 que es un combustible de las siguientes características:

Contenido de azufre inferior a 0.5%.

Número cetano mínimo a 40.

Viscosidad 1,9 a 4,1 centistokes a 40 °C (104 °F).

Noventa por ciento de temperatura final de destilación: mínima a 282 °C (540 °F) y máxima a 338 °C, los combustibles con temperaturas finales de destilación más altas pueden deteriorar los motores porque los materiales destilados más pesados no se quemar completamente en un ciclo de alta velocidad de un motor diesel.

El motor está sujeto a concentraciones altas de hollín y otros productos de combustible sin quemar o parcialmente quemados, que aceleran la formación de depósitos.

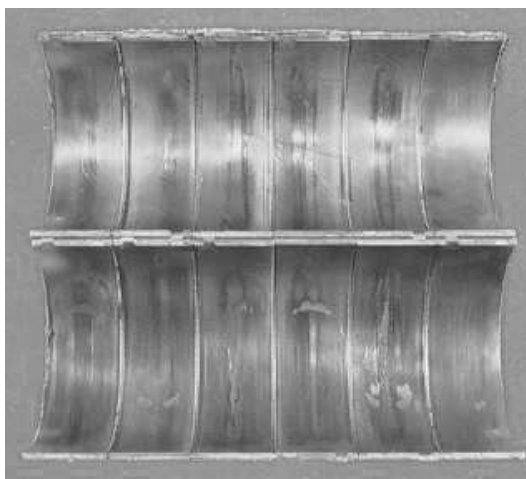
5.4.6. Mantenimiento inadecuado

Los intervalos de cambio de filtro y aceite prolongados, entre otras prácticas inadecuadas de conservación, fomentan la creación de incrustaciones extensas que los subsiguientes cambios de aceite “normales” no pueden eliminar. Por lo cual, al establecer el intervalo correcto de servicio se debe respetar para así evitar daños irreversibles de los componentes mayores.

5.5. Fallas en cojinetes

Las fallas de los cojinetes relacionadas con el aceite lubricante se atribuyen generalmente a dos causas: la falta de lubricación o tierra en el aceite.

Figura 1. Patrón de desgaste en cojinetes



Fuente: Robert Brady. Manual de reparación de camiones para trabajo pesado.

5.5.1. Falta de lubricación

El agotamiento del aceite lubricante significa que la película de aceite entre el muñón del cigüeñal y el cojinete es insuficiente. El funcionamiento prolongado del motor con una insuficiente película de aceite causará que el deterioro del cojinete aumente rápidamente yendo desde un rozamiento a un desgaste excesivo para llegar finalmente al agarrotamiento del cojinete.

La primera etapa es el “rozamiento”, se puede ver el desplazamiento de la capa de plomo-estaño, normalmente en el centro del cojinete. En la segunda etapa, “desgaste excesivo”, se desplaza el aluminio en el centro del cojinete. Y la etapa final es el “agarrotamiento” total. En las tres etapas, el giro del muñón desplaza parte del material del cojinete desde la corona hacia la superficie de contacto de cada mitad de cojinete. La cantidad de material desplazado depende de la severidad de la falta de lubricación.

5.5.2. Contaminación con tierra

La contaminación en el aceite produce abrasión y su resultado es la rayadura de la superficie del cojinete al desaparecer la película de aceite. Las partículas de hierro, acero, aluminio, plástico, madera, tela, etc., también pueden deteriorar la superficie del muñón. Al irse desgastando las superficies del cojinete y del muñón, aumentan los espacios libres y cambia el espesor de la película de aceite dando como resultado el apoyo desigual de las superficies.

Una de las causas principales del aceite contaminado es un filtro de aire obstruido. Los filtros obstruidos permiten que el aceite sin filtrar conteniendo partículas de desgaste, tierra y residuos, alcance a los cojinetes, rayándolos y deteriorando sus superficies.

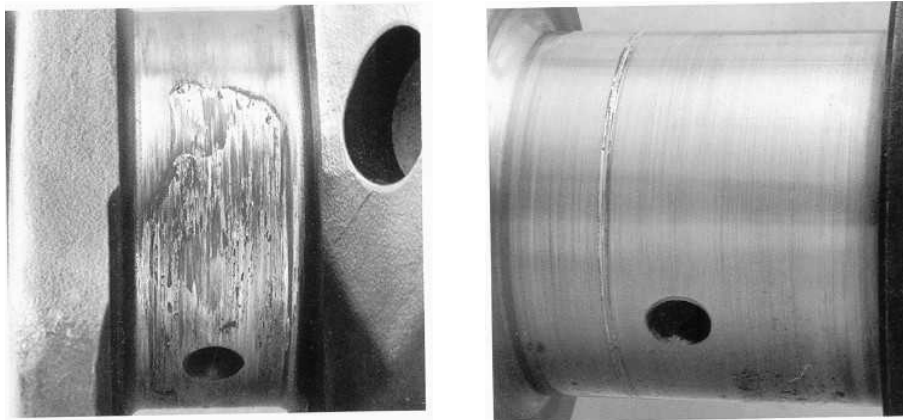
Un aceite excesivamente sucio puede producir deterioros aún después de cambiar el aceite. Parte de los abrasivos anteriores pueden haber quedado incrustados en el cojinete y hacer que el cojinete actúe como esmeril en el cigüeñal.

5.6. Fallas en cigüeñales

El aceite que fluye a los cojinetes forma una película entre el muñón del cigüeñal y el cojinete. Durante una operación normal la rotación del muñón del cigüeñal impulsa el aceite que está debajo del muñón entre el muñón y las dos mitades del cojinete , impidiendo el contacto de metal contra metal.

La carencia de lubricación o “agotamiento” del aceite permite el contacto de metal contra metal, produce calor debido a la alta fricción y puede ocasionar que los cojinetes de aluminio se agarroten en el eje. En casos extremos, la superficie del cojinete ha llegado a quedar adherida de tal forma que la superficie del cigüeñal quedó destruida por completo. El aceite contaminado puede producir un desgaste excesivo del cigüeñal causado casi siempre por la contaminación de abrasivos incrustados en el cojinete.

Figura 2. Desgaste en muñones de cigüeñal



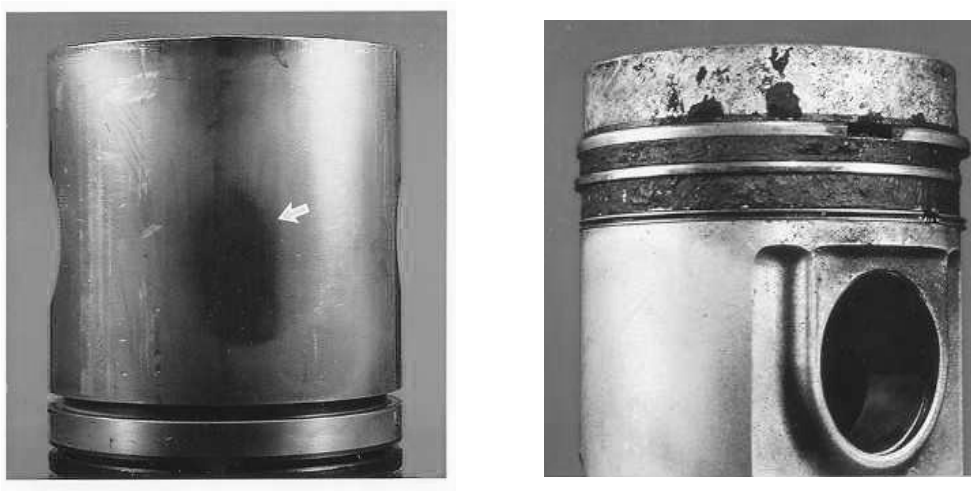
Fuente: Robert Brady. Manual de reparación de camiones para trabajo pesado.

5.7. Fallas en pistones, anillos y camisas de cilindro

Las fallas del pistón relacionadas con el aceite se producen comúnmente por la acción abrasiva del aceite contaminado que desgasta la falda del pistón. Algunas indicaciones son: el color gris opaco de la falda del pistón, las superficies de cromo gastadas en todos los anillos, los rieles del anillo de aceite desgastado, ranuras muy desgastadas y cierto desgaste de la camisa. El desgaste abrasivo del pistón, que aparece en bandas en la falda del mismo, especialmente en la zona de la perforación del pasador, el poco o ningún desgaste abrasivo en el primer resalto puede ser producidos por la lubricación inadecuada de las camisas de cilindro.

Los anillos de pistón pueden mostrar desgaste en la ranura del resorte, pero si se descuidan los cambios de aceite se producirá el “trabado” del anillo cuando el resorte quede atrapado en una ranura gastada y que no se pueda expandir por completo.

Figura 3. Daños en pistones



Fuente: Robert Brady. Manual de reparación de camiones para trabajo pesado.

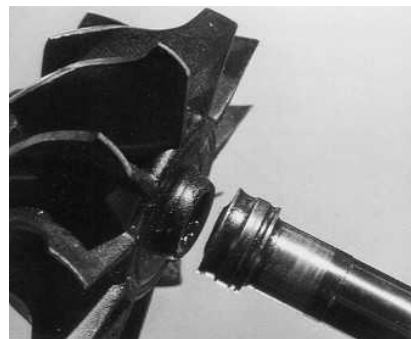
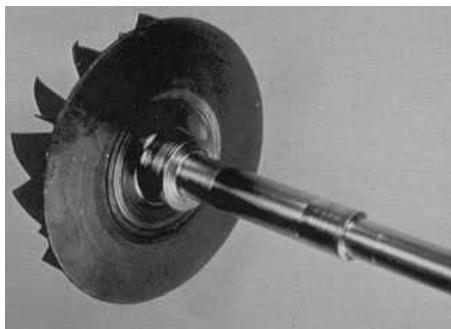
5.8. Turboalimentadores

Los deterioros del turboalimentador relacionados con el aceite lubricante se producen por la contaminación de aceite o la falta del mismo. Si el aceite tiene abrasivos, el desgaste aparece generalmente en varias partes. La contaminación del aceite puede producir erosión en las perforaciones de aceite de las arandelas de empuje. Los cojinetes del muñón mostrarán casi siempre el deterioro producido por las materias abrasivas.

El desgaste por falta de lubricación probablemente va acompañado por decoloración debida al calor. El metal parece como frotado o raspado. El calor puede producir picaduras, asperezas y en casos severos, la rotura del material.

El arranque y la parada inadecuados pueden agravar las fallas de los cojinetes del turboalimentador. Para evitarlas se debe permitir que el motor se enfríe impidiendo que el aceite entre en ebullición y forme costras en el cojinete del turboalimentador después de una parada “caliente”.

Figura 4. Daños producidos en turbos



Fuente: Robert Brady. Manual de reparación de camiones para trabajo pesado.

Tampoco se debe acelerar el motor en tiempo frío después del arranque hasta que el aceite se haya calentado y pasado por los filtros. Si se acelera demasiado pronto, el aceite sin filtrar pasará a los cojinetes.

La contaminación raya y desgasta los cojinetes del turboalimentador siguiendo la misma progresión de deterioro que la producida por la falta de lubricante, permitiendo el movimiento del eje y deterioro secundarios, tales como el contacto de la rueda con la caja o que el eje se doble o se rompa .

El deterioro de los cojinetes del turboalimentador debido a la contaminación o a la falta de lubricación permite el movimiento del eje que hace que la rueda del compresor toque su caja. El deterioro típico por contacto producido por el movimiento del eje estará indicado por el rozamiento de la superficie con algunos de los álabes en el extremo inductor. En la parte posterior de la rueda a 180 grados en donde aparece la superficie rozada, habrá señales de contacto con la caja central.

En los turboalimentadores se puede ver el problema de falta de lubricación cuando hay una decoloración producida por el calor junto con el deterioro del casquillo del cojinete del eje en el extremo de la turbina. La falta de lubricante y el aceite contaminado causan el desgaste de los cojinetes de empuje haciendo difícil identificar el motivo de la falla. Sin embargo, ayuda el observar las condiciones del cojinete del eje, la decoloración por el calor de los anillos de empuje también señala falta de lubricación.

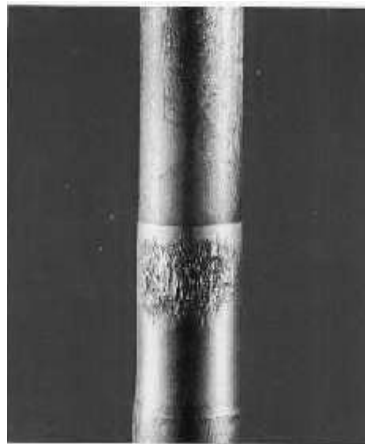
El deterioro del cojinete y el movimiento excesivo del eje producido por la falta de lubricación o abrasivos en el aceite, pueden llegar a causar que el eje se doble o rompa. Generalmente, las piezas gastadas por los abrasivos estarán erosionadas. Como regla general, las superficies del cojinete no mostrarán señales de rozamiento ni las piezas tampoco aparecerán con decoloración por calor.

5.9. Fallas en válvulas

La mayoría de las fallas de las válvulas relacionadas con el aceite son debidas a la formación de depósitos o agotamiento del aceite. La causa más usual del agarrotamiento del vástago de la válvula, es el depósito acumulado entre el vástago de la válvula y la guía; el agarrotamiento está causado indirectamente por la acumulación de depósitos debidos a contaminación en el aceite.

Es decir, por los depósitos acumulados debidos a descomposición de los productos lubricantes en residuos oxidados y los residuos normales generados por el proceso de combustión. La acumulación progresiva de estos depósitos acelera el acampanado de la guía. El rozamiento y / o agarrotamiento del vástago de la válvula y la guía de válvula.

Figura 5. Daños en vástagos de válvulas



Fuente: Robert Brady. Manual de reparación de camiones para trabajo pesado.

5.10. Análisis de casos prácticos

5.10.1. Casos con motor

5.10.1.1. Problema número uno

Componente afectado: Motor marca Cummins de 350 HP modelo 1993.

Diagnóstico del análisis de aceite: combustión en límite normal, tendencia al aumento de carbonilla que es resultado de una mala combustión.

Causa probable: la causa de producción de carbonilla es una mala combustión originada de una mezcla inapropiada de aire y combustible, las posibles causas que originan este problema es por filtros de aire obstruidos, sistema de inyección defectuoso, sobrecarga del vehículo, mucho tiempo de marcha o marcha lenta (tiempo en que el motor está en marcha, pero el vehículo está parado), o que no se ha hecho el servicio de cambio de aceite y filtros del motor.

Acciones correctivas: con la experiencia del comportamiento de estos motores y el análisis de rendimiento de los kilómetros recorridos por galón de diesel consumido y recorrido, se concluye que a este motor se le tiene que realizar un servicio mayor de inyección y descarbonización. De no realizarse ninguna corrección, el aceite se contaminará rápidamente de carbonilla, aumentará la viscosidad y producirá desgastes de hierro en las camisas. Esto provocará que tenga que hacerse una reparación general (*overhaul*).

5.10.1.2. Problema número 2

Componente afectado: Motor marca Cummins de 350 HP modelo 1993.

Diagnóstico del análisis de aceite: combustión en límite normal, tendencia al aumento de carbonilla que es resultado de una mala combustión. Se observó que en el resultado del análisis un porcentaje de carbonilla de 0.43 aumentó la viscosidad a 14.64% y esto provocó un aumento en el desgaste de hierro de 36 ppm. También, se notó que el problema de carbonilla se viene arrastrando en análisis anteriores

Causa probable: la causa de producción de carbonilla es una mala combustión originada de una mezcla inapropiada de aire y combustible. Las posibles causas que originan este problema son filtros de aire obstruidos, sistema de inyección defectuoso, sobrecarga del vehículo, mucho tiempo de marcha o marcha lenta (tiempo en que el motor está en marcha, pero el vehículo está parado), o que no se ha hecho el servicio de cambio de aceite y filtros del motor.

Acciones correctivas: en este caso, la carbonilla fue producto de malos hábitos de conducción. Es una costumbre habitual de muchos pilotos de transporte pesado el no apagar el motor del vehículo cuando lo abandonan para hacer algún tiempo de comida, trámites de papelería o cualquier otra actividad. En un período de cambio de aceite se pueden acumular hasta 300 horas o más de marcha. Se habló con el piloto, explicándole que apague el motor del vehículo 3 minutos después de concluir su recorrido. Los vehículos modernos cuentan con un dispositivo llamado cierre (*Shut Down*), el cual apaga el motor después de 5 minutos de marcha.

Nota: La marcha lenta provoca que el motor no tenga una temperatura adecuada para que se produzca una buena combustión. Esto daña las válvulas, camisas y pistones directamente, además de contaminarse rápidamente de carbonilla, aumento de la viscosidad del aceite y desgaste de hierro, provocará que tenga que hacerse una reparación mayor.

En este problema se ilustran dos reportes. El resultado de posteriores análisis indica valores normales de operación. El problema se resolvió con las acciones correctivas tomadas.

5.10.2. Casos con transmisión

5.10.2.1. Problema número uno

Componente afectado: transmisión marca *Eaton* de un cabezal de 20 toneladas, marca *International*, modelo 1996.

Diagnóstico del análisis de aceite: el análisis de laboratorio, con un recorrido de 435,000 kilómetros indicó que había un desgaste de hierro de 71 ppm, contaminación con sílice y aditivos de aceite diferentes.

Causa probable: al investigar se encontró que se utilizó un lubricante con contenidos de aditivos no especificados para este componente: boro, fósforo, molibdeno y zinc. El aceite erróneo y la contaminación de sílice provocaron un aumento en el desgaste de hierro.

Acciones correctivas: se cambió el aceite, se agregó el especificado para transmisiones Eaton, SAE 50 sin aditivos EP (extrema presión que corroen los componentes de cobre).

En la muestra tomada posteriormente se encontraron los aditivos correctos, no hay contaminación de sílice y el desgaste de hierro bajó de 71 ppm a 19 ppm.

Nota: es frecuente que la persona encargada de lubricación añada por ignorancia aceites de viscosidad o marcas no adecuadas para componentes modernos. Si no se tiene un análisis se puede dañar un componente seriamente, y tendría un costo de Q20,000 aproximadamente, más el costo ocioso de tener un vehículo parado.

5.10.2.2. Problema número dos

Componente afectado: transmisión mecánica vehículo de 10 toneladas.

Diagnóstico del análisis de aceite: contaminación con tierra que produce desgaste en engranajes. La tendencia del desgasté de hierro (Fe) aumentó de 27 a 73 ppm y de sílice aumentaron de 5 ppm a 70 ppm.

Causa probable: sellos, empaques o respiradero defectuosos.

Acciones correctivas: se cambió aceite y se cambiaron algunos retenedores.

Nota: de no haberse tomado las acciones correctivas, el aceite nuevo que se utilizará en la transmisión rápidamente se contaminaría con tierra y paulatinamente produciría desgaste de engranajes hasta que el componente se dañara completamente y produjera una falla mayor.

5.10.3. Casos con diferenciales

5.10.3.1. Problema número uno

Componente afectado: los diferenciales delantero (DD) y trasero (DT).

Diagnóstico del análisis de aceite: el análisis de aceite reveló una tendencia clara al aumento de ppm (partes por millón) de hierro.

Causa probable: arandelas desgastadas del sistema de engranajes del diferencial.

Acciones correctivas: se cambió el juego de arandelas y engranajes, en muestras analizadas posteriormente se encontró que la tendencia de desgaste de hierro había decrecido, dando un resultado de 76 ppm, el cual es un desgaste considerado normal.

Nota: en este caso, el desgaste de hierro trabaja como material abrasivo y afecta todas las partes internas del componente, con la reparación preventiva que fue realizada en tiempo, no existe ninguna contaminación que produzca desgastes.

5.10.3.2. Problema número dos

Componente afectado: diferencial delantero (DD) .

Diagnóstico del análisis de aceite: el análisis de lubricante reveló un desgaste de 118 ppm de hierro y una contaminación de sílice (Si), de 37 ppm. Esto significa una admisión de tierra en el sistema que se comporta como material abrasivo.

Causa probable: la tierra (Sílice), ingresa a los diferenciales por medio del respiradero, cuando éste está defectuoso. La función del respiradero en el diferencial, es aliviar la presión de los gases formados por la temperatura de operación.

Acciones correctivas: cambio de respiradero. El costo de un respiradero está alrededor de Q10.00 (sumamente bajo). Es una parte que se puede averiar por algún golpe u obstrucción de tierra, lodo o cualquier basura. No es evidente el problema, pero si no se realiza ningún análisis puede provocar un daño severo al diferencial y una reparación mayor cuesta alrededor de Q20,000.00.

5.11. Análisis de costos

Tabla V. Reducción de costo cuando las fallas son detectadas tempranamente

		COSTO SI NO SE TOMA MEDIDA CORRECTIVA	SUB TOTAL	COSTO AL TOMAR MEDIDAS CORRECTIVAS	SUB TOTAL	AHORRO
UNIDADES CON PROBLEMAS SEVEROS	3	Q 50,000.00	Q 150,000.00	Q 10,000.00	Q 30,000.00	Q 120,000.00
UNIDADES CON PROBLEMAS MENORES	23	Q 20,000.00	Q 460,000.00	Q 1,237.00	Q 28,451.00	Q 18,763.00
INVERSIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE 305 MUESTRAS * Q50.00						Q 15,250.00
AHORRO POTENCIAL AL TOMAR MEDIDAS						Q 123,513.00

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

Tabla VI. Reducción de costos con la extensión del período de servicio. Costo del servicio tipo I.

FILTROS Y	UNIDAD	CANTIDAD	VEHÍCULO 20 TON
FILTRO DE	UNIDAD	1	Q 143.81
FILTRO DE	UNIDAD	1	Q 60.40
FILTRO DE	UNIDAD	1	Q 51.73
FILTRO DE	UNIDAD	1	Q 250.00
ACEITE DE	Lt	42	Q 367.08
MANO DE			Q 500.00
TOTALES			Q 1.373.02

Tabla VII. Costo de servicio tipo II

FILTROS Y LUBRICANTES	UNIDAD	CANTIDAD	VEHÍCULO 20 TON
FILTRO DE ACEITE	UNIDAD	1	Q 143.81
FILTRO DE AGUA	UNIDAD	1	Q 60.40
FILTRO DE DIESEL	UNIDAD	1	Q 51.73
FILTRO DE AIRE	UNIDAD	1	Q 250.00
ACEITE DE MOTOR	Lt	42	Q 367.08
ACEITE DE TRANSMISIÓN	Lt	6	Q 201.06
ACEITE DE DIFERENCIAL	Lt	16	Q 291.84
MANO DE OBRA			Q 1,000.00
TOTALES			Q 2.365.92

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

Tabla VIII. Políticas de servicio según kilometraje

POLÍTICA -A-: SERVICIOS CADA 5,000 KILÓMETROS

	CANTIDAD	NÚMERO DE VEHÍCULOS DE 20 TONELADAS	COSTO	TOTALES
SERVICIOS	13	32	Q 744.0	Q 309,512.3
SERVICIOS	5	32	Q 1,236.9	Q 197,907.2
TOTALE	18		Q 1,980.9	Q 507,419.5

POLÍTICA -B-: SERVICIOS CADA 7,000 KILÓMETROS

	CANTIDAD	NÚMERO DE VEHÍCULOS DE 20 TONELADAS	COSTO	COSTO
SERVICIOS	9	32	Q 744.0	Q 214,277.7
SERVICIOS	4	32	Q 1,236.9	Q 158,325.7
TOTALE	13		Q 1,980.9	Q 372,603.5

RESUMEN ANUAL	POLÍTICA -A-	POLÍTICA -B-	DIFERENCIA
VEHIC. 20 TON	Q 507,419.00	Q 372,603.52	Q 134,815.48
AHORRO			Q 134,815.48
MUESTRAS DE ACEITE			Q 50,600.00
AHORRO			Q 185,415.48

Fuente: información proporcionada por Shell de Guatemala.

5.12. Gráficas de tendencias de desgastes metálicos

5.12.1. Organización de la información

T1700

Período de cambio recorrido Kms		8820	9280	8168	10272	7418	8489	
	93369	102189	111469	124541	134813	142231	150720	
Fecha	18-Abr	29-Abr	23-May	10-Jun	16-Jul	09-Ago	27-Ago	
Contaminación								
Tierra/silice	5	2	4	3	2	3	4	
Desgaste metálico								
Hierro (Fe)	Camisas de Cilindro	33	27	27	19	15	15	16
Cromo (Cr)	Anillos, eje levas,	10	7	9	5	2	3	5
Plomo(Pb)	Tejas Ctr y biela	12	17	18	15	23	8	9
Cobre (Cr)	Bujes, eje de levas, biela	6	4	5	5	3	3	3
Estaño (Sn)	Tejas Ctr y biela	12	12	10	12	9	6	8
Aluminio (Al)	Pistones	1	1	4	4	0	1	4
Níquel (Ni)	eje levas, eje Cigüeñal	3	3	2	4	4	3	2
Plata (Ag)	Rev Tejas Ctr y biela	0	0	0	0	0	0	0
Propiedades aceite								
Viscosidad 100 C	medida a 100c	16	15.4	15.5	15.5	14.7	14.7	14.7
Período de cambio recorrido Kms	3652	11896						
	154372	166268						
Fecha	30-Sep	23-Oct						
Contaminación								
Tierra/silice	4	11						
Desgaste metálico								
Hierro (Fe)	Camisas de Cilindro	8	25					
Cromo (Cr)	Anillos, eje levas,	2	11					
Plomo(Pb)	Tejas Ctr y biela	14	39					
Cobre (Cr)	Bujes, eje de levas, biela	2	6					
Estaño (Sn)	Tejas Ctr y biela	18	23					
Aluminio (Al)	Pistones	5	16					
Níquel (Ni)	eje levas, eje Cigüeñal	4	5					
Plata (Ag)	Rev Tejas Ctr y biela	1	3					
Propiedades aceite								
Viscosidad 100 C	medida a 100c	15.2	15					

Figura 6. Gráfica de propiedades del aceite

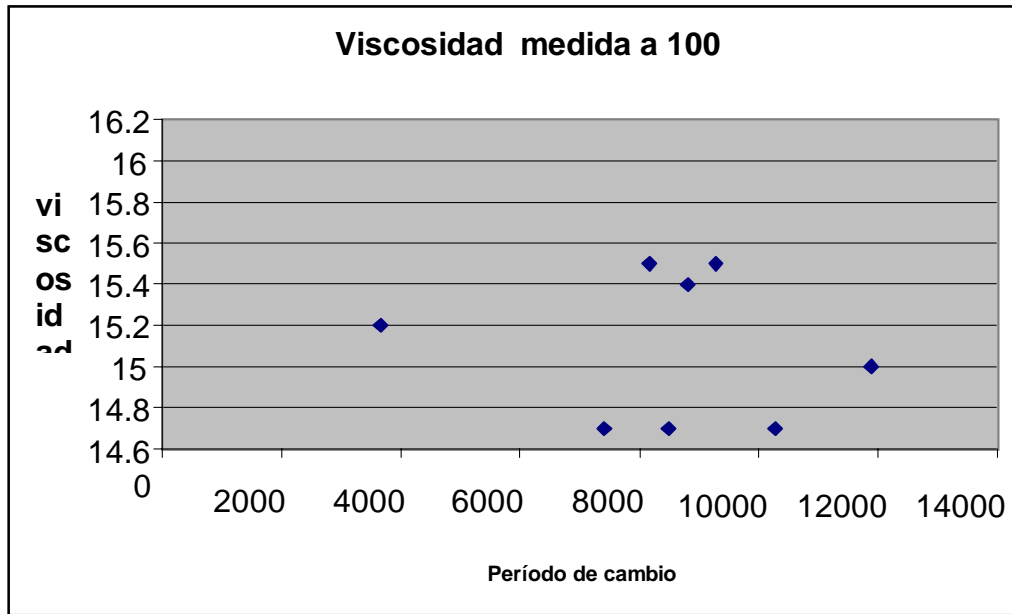


Figura 7. Gráfica de desgaste del hierro

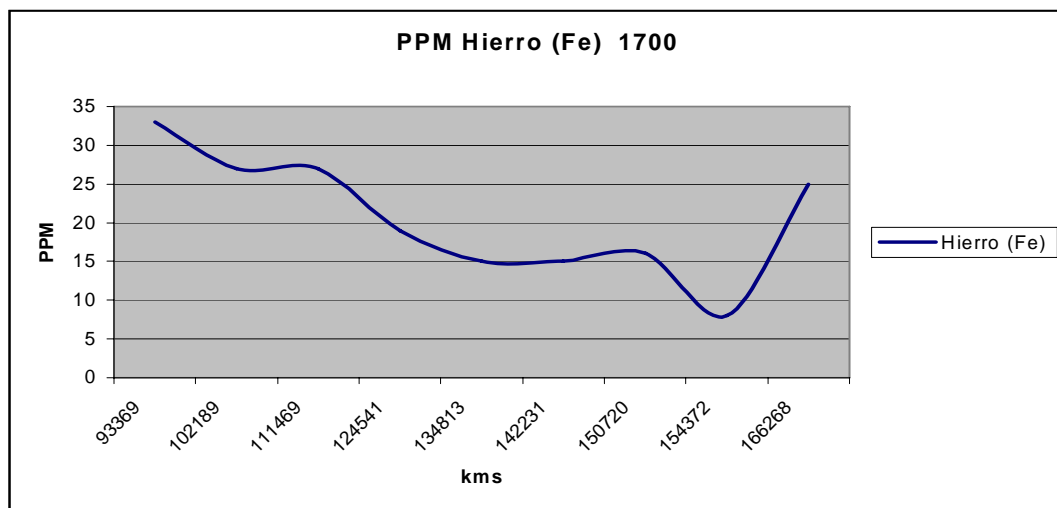


Figura 8. Gráfica de desgaste del estaño

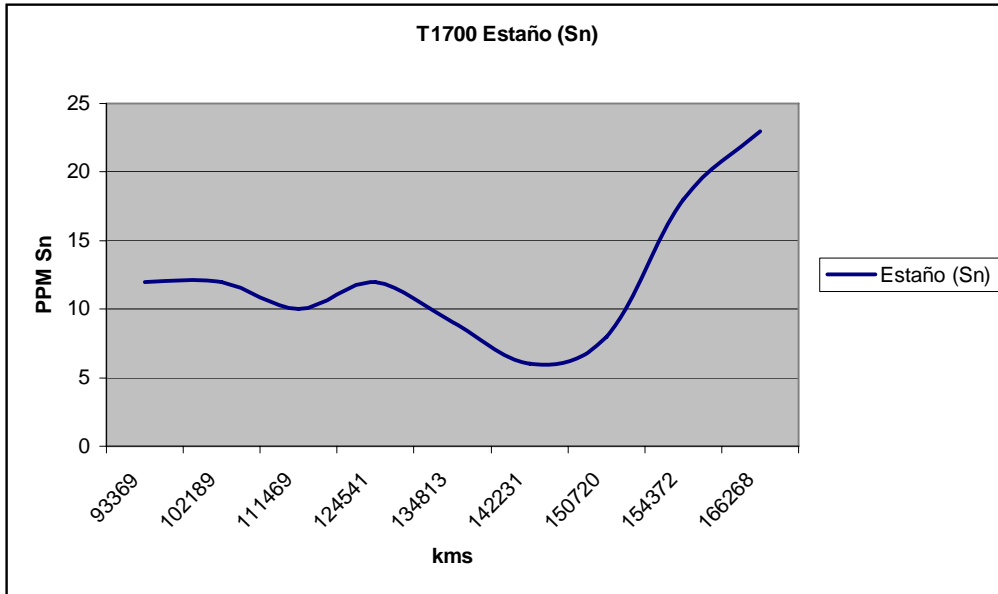
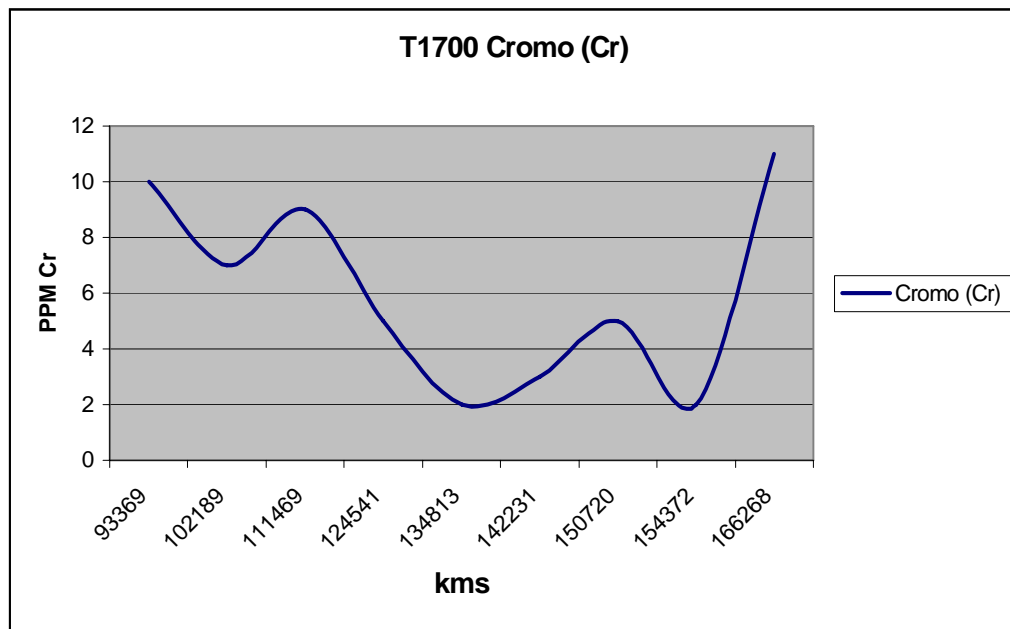


Figura 9. Gráfica de desgaste del cromo



CONCLUSIONES

1. Mediante la implementación de un programa de mantenimiento predictivo basándose en análisis de aceite se puede predecir fallas eventuales en componentes mayores de vehículos de una flota, las cuales resultan ser las más onerosas y afectan directamente la utilización de los vehículos, el costo de oportunidad de tener vehículos en desuso no se compara a los costos que genera tener un control de análisis de aceite, ya que esto último ayuda al ingeniero de mantenimiento a planificar las paradas por servicio y a que las reparaciones representen costos mínimos en comparación a realizar la reparación hasta que el vehículo se quede en ruta, esto incrementa los costos y genera costos ocultos desde pérdidas de tiempo hasta crear una mala imagen con los consumidores.
2. La última función del análisis de aceite es lograr que los componentes de los vehículos estén bajo control, en algunos casos se puede encontrar valores que están fuera de control, pero al tomar medidas correctivas vuelven a estar en la zona verde o de operación normal, de lo anterior se puede concluir que uno de los objetivos principales de la gerencia de mantenimiento es aplicar técnicas de mantenimiento de última generación, tener bajo control el mayor número de componentes y de esta forma garantizar un programa de mantenimiento económico.

3. Conocer los principales componentes del tren motor en cuanto a su diseño, metalurgia y construcción, así como todos los conceptos relacionados a los lubricantes como su producción, especificaciones, aditivos, los contaminantes que les puedan afectar y las causas que los puedan degradar. Esto ayuda al ingeniero de mantenimiento para crear las estrategias de mantenimiento que le permitan asegurar la continuidad del flujo de la operación de distribución.

4. En el nuevo enfoque mundial de rapidez y eficiencia en operaciones de transporte terrestre, ya se puede prescindir del mantenimiento preventivo, ya que se limita a realizar revisiones de rutina con lo cual no se logra diagnosticar problemas que se estén gestando internamente en los componentes mayores, debido a la utilización de lubricantes inapropiados, mala operación o malas prácticas de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Trabajar en el desarrollo de un programa (software) que permita la descarga, organización e interpretación de los resultados de los análisis de aceite en una forma automática y confiable, que permita trazar gráficas de tendencias de desgaste metálico acumulado, así como de dispersión de viscosidad.
2. Trabajar intensamente en el desarrollo del personal encargado del mantenimiento de la flotilla tanto en la parte administrativa y operativa, dándoles capacitación sobre lubricantes, técnicas de muestreo, manejo de información, interpretación de resultados, etc.
3. Utilizar el análisis de aceite como herramienta para monitorear el estado de los lubricantes, de esta forma determinar el intervalo adecuado de cambios de aceite y basado en estos resultados lograr la extensión de éste, estudiar los beneficios de los lubricantes sintéticos para poder incluirlos en operaciones donde los parámetros de carga, geografía de los caminos y temperaturas de operación son extremos.
4. Solicitar constantemente a los proveedores de lubricantes se provea de información actualizada de lo que sucede en el medio para poder estar actualizados en todo lo relacionado con nuevos requerimientos, en el uso de lubricantes.

5. Concertar con todas las partes involucradas en la operación para que el objetivo del cumplimiento del mantenimiento de la flotilla sea un objetivo común, logrando que se respeten las normas de los intervalos establecidos para servicio y que esto redunde en beneficios para la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brady, Robert N. **Manual de reparación de camiones para trabajo pesado.** México: Editorial Prentice Hall, 1999.
2. Spectro Incorporate, **Manual de monitoreo de la condición del lubricante para extender la vida útil de los equipos.** E.U.A. s.e. s.a.
3. Carterpillar International, **Manual del aceite lubricante y su motor.** E.U.A. s.e. 1983.
4. Frank J. Thiessen, Davis N. Dales. **Manual técnico automotriz, operación, mantenimiento y servicio.** 4^a ed. (tomo 1) México: Editorial Prentice-Hall, 1996

