

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO Y PREDICTIVO PARA MOTORES DE VEHÍCULOS DE
TRANSPORTE.

SIMÓN DANIEL BELTRÁN CHINOME
JORGE ISMAEL REDONDO SARMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2017

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO
PREVENTIVO Y PREDICTIVO PARA MOTORES DE VEHÍCULOS DE
TRANSPORTE.

SIMÓN DANIEL BELTRÁN CHINOME
JORGE ISMAEL REDONDO SARMIENTO

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director
JORGE LUIS CHACÓN VELASCO
PhD Ingeniera Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

A Dios, por darme la sabiduría y el conocimiento necesario para afrontar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Simón Beltrán y Clara Chinome por ser siempre mi ejemplo de vida, por todos sus consejos y sus orientaciones. Éste es el fruto de todo su esfuerzo y su dedicación.

A mi novia Johana Moya, quien durante estos años me ha brindado su amor incondicional, quien ha sabido apoyarme siempre para hacer realidad todos mis sueños.

A todos mis amigos y familiares, que creyeron siempre en mis capacidades y en mi deseo de salir adelante; ustedes son la motivación más grande para hacer las cosas de la mejor manera.

SIMÓN DANIEL BELTRÁN CHINOME

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	19
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2 OBJETIVOS GENERAL.....	21
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.4. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	23
2. COMPAÑÍA BAF & ASOCIADOS LTDA	24
2.1 DETALLE DE LA EMPRESA	25
2.2 MISIÓN DE BAF & ASOCIADOS LTDA	26
2.3 VISIÓN DE BAF & ASOCIADOS LTDA	26
3. EL MOTOR DIESEL	27
3.1 GENERALIDADES DEL MOTOR DIESEL.....	27
3.1.1 Funcionamiento..	27
3.1.2 Elementos constitutivos de un motor Diesel	29
3.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR DIESEL.....	32
3.2.1 Componentes del sistema de lubricación.....	32
3.2.2 Principio de funcionamiento del sistema de lubricación.....	35
3.2.3 Exigencias de lubricación en los motores Diesel.	36
3.3 TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN EN EL MOTOR DIESEL.....	37
3.3.1 Fricción.	37

3.3.1.1 Estados de la fricción.....	37
3.3.2 Desgaste.....	38
3.3.2.1 Clases de desgaste	38
3.3.3 Lubricación.....	39
3.3.3.1 Propiedades requeridas de los lubricantes en los motores Diesel.....	40
3.3.3.2 Clasificación de los aceites lubricantes para motores Diesel.....	42
3.3.4 Desgaste en los motores Diesel.	47
3.3.4.1 Desgaste de los anillos, pistones y cilindros.....	48
3.3.4.2 Desgaste del conjunto pistón – biela – cigüeñal.	49
3.3.4.3 Desgaste del mecanismo leva, impulsador, balancín, válvula.	50
4. METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO APLICADAS A FLOTAS DE TRANSPORTE	51
4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	51
4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	52
4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	52
5. MOTORES DE LA COMPAÑÍA BAF Y ASOCIADOS	58
5.1 SELECCIÓN DE MOTOR PARA EL ANÁLISIS.....	59
6. NORMA ISO 9001-2008 APLICADA AL MANTENIMIENTO	61
6.1. ESTRUCTURA DE LA NORMA ISO 9001-2008.....	61
6.1.1 Análisis de la sección 6.3 infraestructuras bajo la norma ISO 9001-2008. ...	63
6.2 PRACTICAS DE MANTENIMIENTO APLICADAS POR BAF Y ASOCIADOS LTDA.....	65

7. FALLAS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL MOTOR DIESEL.....	67
7.1 PRINCIPALES FALLAS EN EL MOTOR DIESEL.....	67
7.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	71
7.2.1 Analisis de resultados	74
8. PROGRAMA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	75
8.1 MONITOREO DE ACEITE EN LOS MOTORES DIESEL	78
8.1.1 Técnicas utilizadas en el análisis de aceite de los motores Diesel.	79
8.1.1.1 Técnicas para la determinación de la degradación del aceite.....	79
8.1.1.2 Técnicas para el análisis de la contaminación del aceite.....	80
8.1.1.3 Técnicas para la determinación de desgaste del motor	82
9. METODOLOGÍA PARA EL DIAGNOSTICO DE DESGASTE DEL MOTOR DIESEL	84
9.1 ANÁLISIS DE ACEITE	84
9.1.1 Control del proceso.....	84
9.1.2 Toma de muestras.	85
9.1.2.1 Información del equipo.....	85
9.1.2.2 Información de la muestra.....	86
9.1.3 Tipo de pruebas para análisis de aceite.	86
9.1.4 Progresión del desgaste en el aceite.	87
9.1.4.1 Determinación de la velocidad de desgaste.....	89
9.1.4.2 Concentraciones de referencia.	91
9.1.4.3 Concentraciones limite.....	92

9.1.5 análisis de fallas.....	93
9.1.6 Interpretación de los resultados de los análisis de aceite	96
9.1.7 implementación del análisis de aceite.....	96
9.2 CASO PARTICULAR MOTORES BAF Y ASOCIADOS LTDA.	97
9.2.1 Resultados de los análisis de aceite.	99
9.2.2 Interpretación de los resultados del análisis de aceite.....	101
9.2.3 Determinación de la velocidad de desgaste.....	107
10. SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DIESEL ENGINE	109
10.1 PROGRAMA DIESEL ENGINE.....	109
10.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN	110
10.2.1 MODELO MVC	111
10.2.2 CODEIGNITER.....	112
10.2.2.1 Características de CodeIgniter.....	113
10.2.3 MYSQL.	114
10.3 DISEÑO DE DIESEL ENGINE	115
10.3.1 Ingreso al sistema y exploración de menús	115
10.4 SISTEMA DE ANÁLISIS	119
10.5 SISTEMA DE DIAGNOSTICO	119
11. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE USO DEL ANÁLISIS DE ACEITE	122
12. CONCLUSIONES	124
13. RECOMENDACIONES.....	126
BIBLIOGRAFÍA.....	127

ANEXOS.....133

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Instalaciones de la empresa	19
Figura 2. Tractocamión de la empresa BAF Y ASOCIADOS LTDA.....	20
Figura 3. Funcionamiento del motor Diesel	28
Figura 4. Esquema interno del motor Diesel.....	29
Figura 5. Circuito de lubricación del motor Diesel.....	33
Figura 6. Productos de la combustión en los MCI.....	36
Figura 7. Endoscopia realizada a un motor marino.....	53
Figura 8. Termografía de un motor de combustión interna	54
Figura 9. Toma de muestras de aceite A. A.....	55
Figura 10. Configuración para llevar a cabo un análisis de vibraciones.	56
Figura 11. Curvas de funcionamiento del motor Cummins ISX 435.....	60
Figura 12. Análisis de Pareto fallas del motor Diesel.....	71
Figura 13. Matriz de criticidad.....	72
Figura 14. Progresión del desgaste en el motor Diesel	88
Figura 15. Toma de las muestras de aceite.....	98
Figura 16. ASTM D445-Viscosidad cinemática a 100 °C.....	101
Figura 17. Concentraciones de Hollín - Oxidación -Nitración -Sulfatación.....	102
Figura 18. Porcentaje de elementos contaminantes.	103
Figura 19. Concentración de metales por desgaste.....	104
Figura 20. Concentración de metales por contaminación.	105
Figura 21. Interfaz de inicio de Diesel Engine.....	110
Figura 22. Ingreso a Diesel Engine.....	116
Figura 23. Página principal de Diesel Engine	117
Figura 24. Menú de información del vehículo.	118
Figura 25. Ventana información del mantenimiento.....	119

Figura 26. Alertas resultantes del análisis de aceite..... 120

Figura 27. Diagnóstico y alertas resultantes del análisis de aceite 120

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones Norma SAE J300-201501.....	43
Tabla 2. Descripción de los vehículos de la compañía BAF	58
Tabla 3. Especificaciones técnicas del motor Cummins ISX	60
Tabla 4. Failure mode effects analysis (FMEA)	68
Tabla 5. Principales fallas presentadas en los motores Diesel	70
Tabla 6. Criterios del análisis de criticidad.....	73
Tabla 7. Resultados del análisis de criticidad	74
Tabla 8. Modelo de programa de mantenimiento propuesto.....	76
Tabla 9. Valores límites máximos permisibles para varios motores Diesel.....	81
Tabla 10. Valores condenatorios de concentraciones metálicas fabricantes de motores Diesel	92
Tabla 11. Procedencia de metales para algunos fabricantes de motores Diesel...	94
Tabla 12. Elementos contaminantes encontrados en el aceite	95
Tabla 13. Propiedades del aceite Terpel Maxter Progres 15W40.....	97
Tabla 14. Ferrografía	99
Tabla 15.. Resultados de Viscosidad y contenido de contaminantes	100
Tabla 16. Límites condenatorios para motores Cummins Vs muestras	106
Tabla 17. Velocidad de desgaste del motor.....	107
Tabla 18. Progresión del desgaste esperada	108
Tabla 19. Análisis Técnico - Económico del uso de A. A.....	123

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Formatos para registro de mantenimientos.....	134
ANEXO B. Reportes de laboratorio.....	136
ANEXO C. Análisis Signum de aceite. Fundamentos de la supervisión del estado del aceite.....	140
ANEXO D. Solicitud de servicio de análisis de laboratorio.....	160

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO PARA MOTORES DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE.*

AUTORES: SIMÓN DANIEL BELTRÁN CHINOME
JORGE ISMAEL REDONDO SARMIENTO**

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento, sistema de información, análisis de aceite, motor Diesel, desgaste, sistema de lubricación.

DESCRIPCIÓN: el objetivo principal de este proyecto es el diseño de un sistema de información para el mantenimiento de motores de vehículos de transporte, así como un plan de mantenimiento aplicado a la empresa BAF & ASOCIADOS LTDA, que permitirá el control de las tareas de mantenimiento que se ejecutan a su parque automotor.

Inicialmente se realiza una identificación de las metodologías de mantenimiento que se aplican en la actualidad, respecto a los motores de vehículos de transporte, así como también una clasificación de los motores de los vehículos con los que cuenta la empresa, y de acuerdo a la normativa ISO 9001:2008 se hará una auditoría del mantenimiento que se lleva a cabo, a los motores de dichos vehículos.

Mediante un análisis de criticidad se logran reconocer cuales son los elementos más críticos para el funcionamiento del motor Diesel de uno de los vehículos seleccionado, para luego formular un programa de mantenimiento preventivo y predictivo. Para llevar a cabo las tareas de mantenimiento predictivo se utiliza la técnica de análisis de aceite para determinar el desgaste de las piezas del motor y el estado actual de las propiedades del aceite lubricante dentro del motor.

Por último, se diseña un sistema de información, en el cual se integran las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo que harán que se mejoren las prácticas de mantenimiento en la empresa, además se llevara a cabo un análisis técnico-económico en el cual se evidencia las bondades de la aplicación del análisis de aceite como practica de mantenimiento.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Jorge Luis Chacón Velasco, PhD Ingeniera Mecánica.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MANAGEMENT SYSTEM FOR PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE FOR MOTORS OF TRANSPORT VEHICLES.*

AUTHORS: SIMÓN DANIEL BELTRÁN CHINOME
JORGE ISMAEL REDONDO SARMIENTO**

KEYWORDS: Maintenance, information system, oil analysis, diesel engine, wear, lubrication system

DESCRIPTION: The main objective of this project is the design of an information system for the maintenance of transport vehicle engines, as well as a maintenance plan applied to the company BAF & ASOCIADOS LTDA, which will allow the control of the maintenance tasks they run their motor park.

Initially an identification is made of the maintenance methodologies that are currently applied, with respect to the engines of transport vehicles, as well as a classification of the engines of the vehicles with which the company has, and in accordance with the regulations ISO 9001: 2008 will be an audit of the maintenance that is carried out, to the engines of said vehicles.

Through a criticality analysis, it is possible to recognize which are the most critical elements for the operation of the diesel engine of one of the selected vehicles, to then formulate a preventive and predictive maintenance program. To carry out the tasks of predictive maintenance, the oil analysis technique is used to determine the wear of the engine parts and the current state of the properties of the lubricating oil inside the engine.

Finally, an information system is designed in which the activities of preventive and predictive maintenance are integrated, which will improve the company's maintenance practices, and a technical-economic analysis will be carried out. benefits of oil analysis application as a maintenance practice.

* Bachelor Thesis

** Physical-Mechanical Sciences Faculty. Mechanical Engineering School. Director: Jorge Luis Chacón Velasco, PhD mechanical engineer.

INTRODUCCIÓN

Por las carreteras colombianas hoy se transporta más del 95.29¹ por ciento de la carga transportada en la nación; razón por la cual hay que resaltar que, el transporte es uno de los pilares del desarrollo de la economía de nuestro país, así mismo es de considerar su importancia dentro del sector de la producción, debido al intercambio comercial del cual dependen las empresas; las crecientes demandas de importaciones y exportaciones, que representan en gran medida el potencial que tiene el sector dentro de la productividad y competitividad de los demás sectores de la economía.

El gran papel que juega el sector del transporte se debe en gran medida al factor humano y a las crecientes tecnologías en el desarrollo de los vehículos con los que se cuenta en la actualidad. Muchos de estos vehículos cuentan con sofisticados sistemas que facilitan el oficio del transportador; una muestra de ello es la revolución que ha tenido el motor Diesel en los últimos años, y que lo ha puesto hoy en día en la vanguardia, por ser uno de los más eficientes y rentables.

Desde su creación el motor Diesel se ha caracterizado por tener un mayor torque y un bajo consumo de combustible; con respecto al motor a gasolina, razón por la cual fue utilizado en vehículos de carga y transporte como; camiones, autobuses, maquinaria pesada, entre otros. Su buen rendimiento se debe a avances como el TDI (Turbo Diesel Intercooler) así como también el sistema de distribución Common Rail, que mejoran sustancialmente el consumo de combustible.

El propósito de este trabajo es suministrar una herramienta que facilite el mantenimiento de los motores Diesel, mediante el uso de prácticas de mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo; en especial mediante el análisis de aceite, el cual permite conocer el estado real del motor sin la necesidad que este entre en una parada o salga de servicio. Así mismo mediante los datos

¹ <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/transporte-sector-clase-mundial-214572>

obtenidos con el análisis de aceite se consigue predecir posibles fallos que puedan ocurrir en el motor, además de garantizar el correcto cambio del aceite, llegando a prolongar la vida útil y mayores beneficios económicos para las empresas.

Para el desarrollo del sistema de gestión de mantenimiento se ha contado con la colaboración de la empresa BAF & ASOCIADOS LTDA, quien ha facilitado el acceso a su flota de tractocamiones para que se lleve a cabo las pruebas, que se pretenden poner en práctica durante la ejecución de este proyecto. El motor seleccionado pertenece a un tractocamión de la compañía International Eagle, dotado con un motor Cummins ISX-435-EPA 98, el cual ha sido monitoreado durante su operación, empleando el análisis de aceite como herramienta para el mantenimiento predictivo acompañadas de otras rutinas de mantenimiento preventivo.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

BAF Y ASOCIADOS LTDA, es una empresa santandereana ubicada en la ciudad de Bucaramanga, con sede en el parque industrial Zimura en la ciudad de Floridablanca (ver figura1) dedicada a la instalación especializada de maquinaria y equipo industrial, así como al comercio al por mayor de otros equipos de maquinaria y equipo de la industria petrolera. BAF & ASOCIADOS LTDA da cumplimiento eficaz a las necesidades y requerimientos del cliente, ejecutando los trabajos en los tiempos y plazos acordados y estableciendo una política de cero reprocesos gracias a la planificación y control en la ejecución de cada uno de los trabajos. Lo anterior mediante el compromiso de cumplir con los requisitos legales y reglamentarios aplicables, manteniendo un talento humano competente y calificado en búsqueda del mejoramiento continuo de los procesos que permita brindar satisfacción total a todos los clientes y generar una rentabilidad para la empresa y sus accionistas. Para el normal desarrollo de las actividades de la compañía se cuenta con una flota de cinco (5) de vehículos, entre ellos dos (2) camionetas, dos (2) tractocamiones y

Figura 1. Instalaciones de la empresa



un (1) camión, cuya gestión de mantenimiento no es controlada en la actualidad y por ende han identificado una problemática derivada del no seguimiento adecuado y las averías repentinas de los vehículos con los que cuenta la empresa (ver figura 2).

Figura 2. Tractocamión de la empresa BAF Y ASOCIADOS LTDA.



Lo cual ha acarreado problemas en la entrega de algunos de los productos que vende la compañía, así como también la necesidad de contratar con un agente externo el transporte cuando los vehículos fallan, generando gastos económicos y pérdidas de tiempo, además de la molestia para algunos de los clientes al no poder cumplir con los acuerdos de entrega pactados.

1.2 OBJETIVOS GENERAL

Contribuir con el cumplimiento y misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, al hacer transferencia de los conocimientos adquiridos al diseñar un sistema de gestión para el mantenimiento preventivo y predictivo para motores de vehículos de transporte

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar e identificar las diferentes metodologías de mantenimiento aplicadas a flotas de transporte tanto a nivel nacional como a nivel internacional.
- Reconocer y clasificar los tipos de motores de cada uno de los vehículos de transporte de la empresa BAF Y ASOCIADOS LTDA, de acuerdo con su marca, potencia, capacidad de carga, funcionamiento, etc.
- Aplicar los estándares y la normativa para realizar auditorías de mantenimiento específicamente de acuerdo con la norma ISO 9001:2008 a la empresa BAF Y ASOCIADOS LTDA.
- Realizar un análisis de criticidad de los elementos y sistema de uno de los motores de la empresa BAF Y ASOCIADOS LTDA.
- Elaborar el programa de gestión de mantenimiento preventivo y predictivo del motor en la empresa BAF Y ASOCIADOS LTDA.
- Diseñar e implementar un sistema de información para el registro de datos, que permita la administración y seguimiento del mantenimiento preventivo y predictivo, mediante el uso de análisis de aceite en los motores de los vehículos

de transporte, con fácil adaptabilidad a requerimientos especificados por empresas que cuenten con flotas de transporte.

- Hacer un análisis técnico- económico que sirva de guía para la implementación de un programa de gestión del mantenimiento en una empresa de transporte.

1.4. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En vista de las pérdidas generadas por el daño en los vehículos que se presenta en la actualidad, derivados de una mala planificación en los mantenimientos sugeridos por los fabricantes, se ve necesario la creación de un sistema de gestión enfocado al mantenimiento de motores, permitiendo corregir falencias que se presentan rutinariamente, las cuales afectan directamente la disponibilidad y los costos de operación de los vehículos. Teniendo en cuenta que para la compañía BAF Y ASOCIADOS LTDA es una prioridad darle solución a esta problemática en su flota de vehículos, se hace necesaria la implementación de un sistema de gestión para el mantenimiento de los motores de los vehículos de la compañía, la cual satisfaga las necesidades que se presentan en la actualidad y que están cobrando utilidades para la empresa.

Además de un sistema de información que les permita tener un control de los mantenimientos realizados, así como también de los gastos asociados a estos. Sin dejar a tras los beneficios que trae consigo la implementación de un sistema de información que permita el manejo de los datos del mantenimiento. Este sistema de gestión de mantenimiento se espera que sea de fácil implementación y adaptabilidad para cualquier modelo de vehículo de transporte, llegando a satisfacer todos los requerimientos según especificaciones dadas por las empresas según el vehículo transporte. Adicionalmente se busca mejorar la productividad de la empresa ya que actualmente algunos de los vehículos presentan fallas en algunos de los sistemas del motor, lo que ocasiona pérdidas económicas y atrasos en la logística de las actividades que la empresa desarrolla.

2. COMPAÑÍA BAF & ASOCIADOS LTDA

BAF & Asociados Ltda., creada bajo los principios de nuevas tecnologías, desde sus inicios en el año de 1996 ha venido investigando e introduciendo nuevos desarrollos tecnológicos en las áreas de reducción de pérdidas y prácticas de mejoramiento continuo para el mantenimiento de la industria petrolera, producción, refinación, petroquímica e industria en general.

POLÍTICA DE CALIDAD

BAF & ASOCIADOS LTDA da cumplimiento eficaz a las necesidades y requerimientos del cliente, ejecutando los trabajos en los tiempos y plazos acordados y estableciendo una política de cero reprocesos gracias a la planificación y control en la ejecución de cada uno de nuestros trabajos. Lo anterior mediante el compromiso de cumplir con los requisitos legales y reglamentarios aplicables, manteniendo un talento humano competente y calificado en búsqueda del mejoramiento continuo de nuestros procesos que permita brindar satisfacción total a todos nuestros clientes y generar una rentabilidad beneficiosa para la empresa y sus accionistas.

POLÍTICA DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y MEDIO AMBIENTE

BAF. & ASOCIADOS LTDA., durante sus actividades de desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para la reducción de pérdidas, mantenimiento, reparación y fabricación de partes de maquinaria industrial, ha implementado un sistema de gestión integral en SSTA con el cual se compromete con los siguientes aspectos:

- La implementación y mejoramiento continuo del Sistema de gestión de Seguridad, Salud en el trabajo y medio ambiente (SG-SSTA) para proteger la seguridad, salud de los trabajadores y el medio ambiente.

- Identificar peligros evaluar y valorar los riesgos y establecer los respectivos controles.
- Promoción de la calidad de vida laboral, prevención de daños a la propiedad, la prevención de enfermedades, accidentes laborales y ambientales de sus empleados, contratistas, subcontratistas, proveedores, visitantes y demás partes interesadas.
- La prevención, mitigación y control de los impactos socio ambientales provenientes de las actividades de la empresa para contribuir con la preservación del medio ambiente.
- El cumplimiento de la legislación colombiana y otros requisitos que haya suscrito la organización en materia de Seguridad, Salud en el trabajo y Ambiente.
- Promover y mantener una cultura de Seguridad, Salud en el trabajo y Medio Ambiente como valor y principio de actuación, es una responsabilidad por convicción de todos los empleados de BAF. & ASOCIADOS LTDA.

Para ello la organización cuenta con el compromiso, la participación y consulta de todo el personal; la asignación de los recursos humanos, tecnológicos y financieros necesarios mediante el apoyo de la Gerencia, para así lograr la eficacia del SG-SSTA.

2.1 DETALLE DE LA EMPRESA

El objeto social de BAF & ASOCIADOS LTDA es el mantenimiento, reparación, recuperación y comercialización de todo tipo de maquinaria industrial, compra y venta de maquinaria y equipo nuevo o usado, compra y venta de repuestos nacionales e importados, taller de mantenimiento, celebración de toda clase de

contratos civiles y comerciales que propendan al desarrollo social, desarrollo de las actividades de ingeniería de mantenimiento en: campos petroleros, industria petroquímica, maquinaria pesada y de la industria en general. Para tal fin BAF & ASOCIADOS LTDA, cuenta con un equipo calificado, personal idóneo y un completo taller ubicado en la vía Chimita.

2.2 MISIÓN DE BAF & ASOCIADOS LTDA

Mejorar la confiabilidad de los procesos productivos de nuestros clientes de la industria, petrolera, petroquímica, refinación, producción y la industria en general, mediante el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para la reducción de pérdidas, prácticas de mejora continua en el mantenimiento y la aplicación de la ingeniería inversa, para la fabricación, reparación y reconstrucción de partes para maquinaria y equipos.

2.3 VISIÓN DE BAF & ASOCIADOS LTDA

Para el 2020 BAF & ASOCIADOS LTDA. Será una empresa competitiva y en constante crecimiento, ofreciendo alternativas en el mejoramiento de procesos y la reducción de pérdidas dentro de las actividades productivas de nuestros clientes en la industria petrolera, petroquímica las industrias en general, y nuevos nichos de mercado en el sector del transporte dentro y fuera de Colombia.

3. EL MOTOR DIESEL

El motor Diesel es uno de los tipos de motor de combustión interna que tiene encendido por compresión; fue inventado por el ingeniero alemán Rudolf Diesel en el año 1893, este motor trabaja usando gasóleo o gasoil, así como aceites pesados derivados del petróleo y aceites vegetales. Para realizar la combustión el combustible se somete a altas presiones logrando con ello elevar su temperatura ocasionando así una auto-ignición sin la necesidad de utilizar una chispa como en el motor a gasolina, alcanzando eficiencias superiores que en el ciclo Otto. En la actualidad el motor Diesel es usado en muchas de las máquinas de la industria mundial, por lo que su protagonismo ha aumentado, así como también los avances tecnológicos que lo han desarrollado y que hacen que tenga una posición favorable en los motores de gran potencia.

3.1 GENERALIDADES DEL MOTOR DIESEL

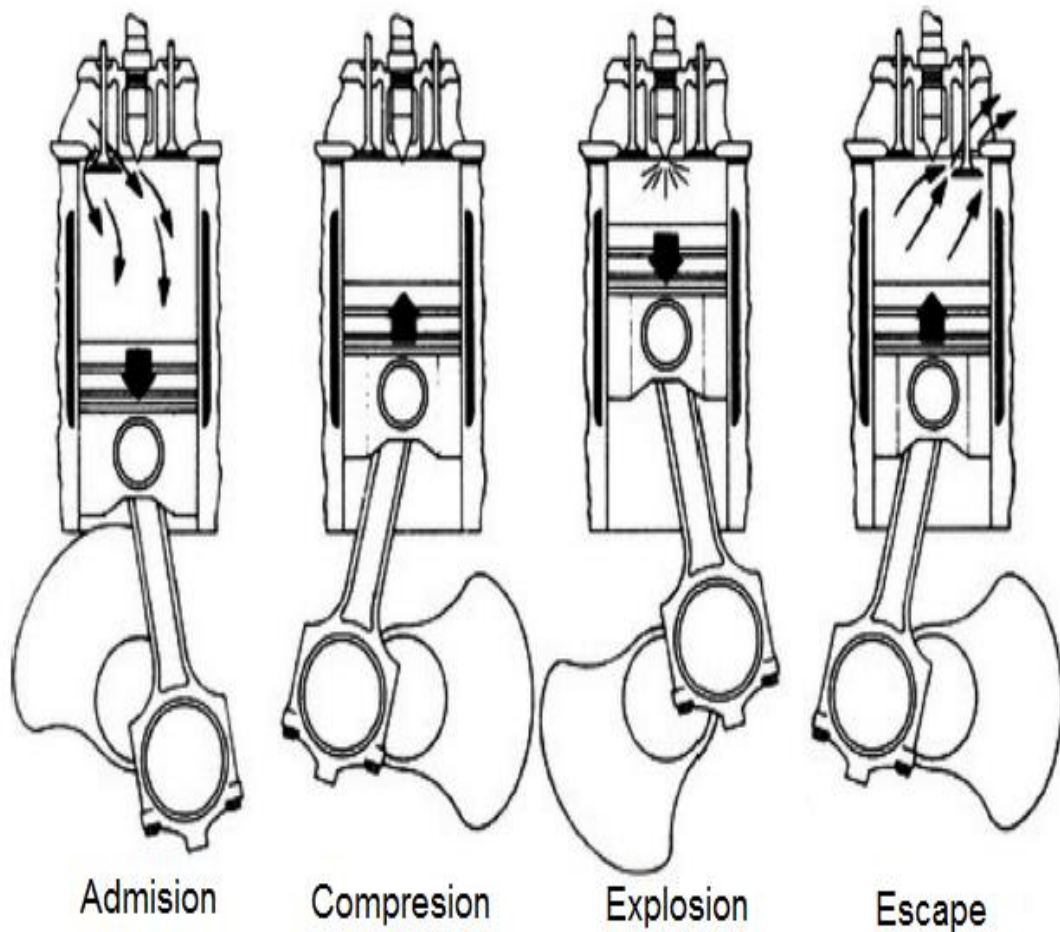
3.1.1 Funcionamiento. Básicamente el funcionamiento de un motor Diesel de cuatro tiempos (ver figura 3) consta de las etapas de Admisión, compresión, explosión y escape.

En la admisión el pistón desciende por el cilindro desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI), al iniciar la carrera la válvula de admisión se abre permitiendo que el cilindro se llene con aire y cuando se finaliza la carrera (PMI) está vuelve a cerrarse. En la compresión el pistón asciende desde el PMI hasta el PMS consiguiendo con ello comprimir el aire alcanzando temperaturas de 600 °C y presiones de 80 Bar, manteniendo las válvulas de admisión y escape cerradas.

En la explosión el pistón se encuentra en el PMS donde se le inyecta el combustible pulverizado, alcanzando con ello que al contacto con el aire arda de manera instantánea; debido a la explosión y a la expansión de los gases el cilindro es obligado a trasladarse hasta el PMI donde se inicia el último y cuarto tiempo el

escape. El cilindro asciende desde el PMI hasta el PMS y la válvula de escape se abre al iniciar la carrera (PMI) permitiendo evacuar el producto de los gases de la combustión y cerrándose de nuevo cuando se alcanza el PMS logrando así que el ciclo se termine y que vuelva a reiniciarse de nuevo.

Figura 3. Funcionamiento del motor Diesel

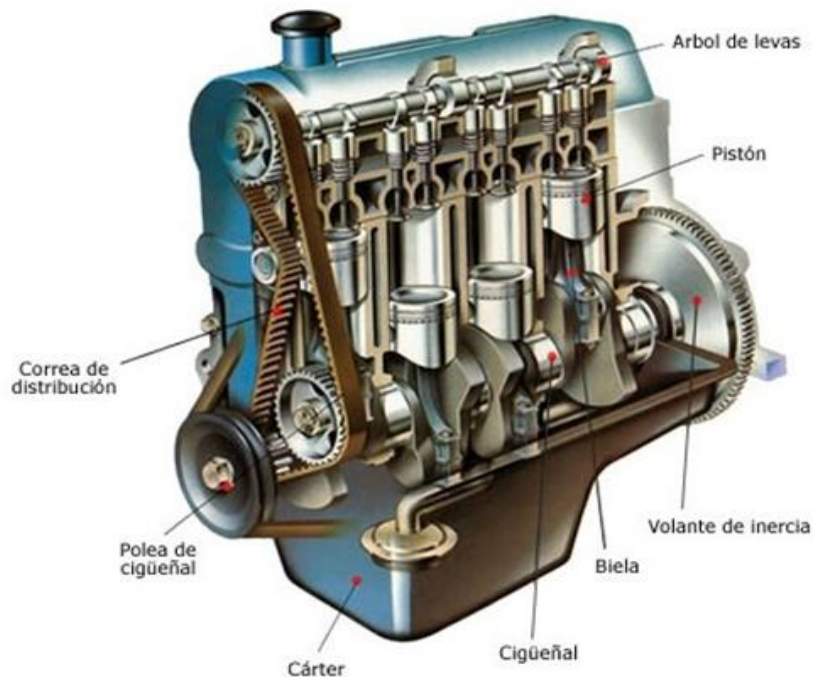


Fuente: CLEVELAND, Cutler J. Encyclopedia of Energy. En: Transportation and Energy, Overview. No. 27 (17 junio, 2004); 179–188p. ISBN: 978-0-12-176480-7

3.1.2 Elementos constitutivos de un motor Diesel. Esencialmente se distinguen dos tipos de elementos constitutivos en los motores Diesel, los elementos fijos y los elementos móviles. Dentro de los elementos fijos encontramos:

Bloque del motor: Es la pieza principal del motor, está hecha de fundición o aluminio; Se encarga de alojar los cilindros y la bancada para alojar el sistema de distribución del motor.

En los cilindros se insertan las camisas, las cuales son utilizadas como recamaras donde el pistón hará su carrera con un movimiento lineal alternativo desde el PMS hasta el PMI.



Fuente: COMO FUNCIONA UN AUTO. La guía definitiva sobre cómo funcionan los coches. [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.comofuncionaunauto.com>

La bancada es la parte inferior del bloque destinada a alojar el cigüeñal, en esta se instalarán los rodamientos que permitirán que el cigüeñal gire de acuerdo a las necesidades del motor.

El bloque del motor cuenta con orificios que permiten que el aceite circule a través de estos logrando así la lubricación de las partes móviles y la refrigeración de estas.

Culata: La culata es la tapa superior del bloque de los cilindros, con ella se consigue que se forme una recámara sellada disponible para que el pistón realice su trabajo. Está hecha de fundición o de aluminio y diseñada para soportar las altas presiones y temperaturas originadas por la combustión. En la culata se ubican las válvulas de admisión y de escape, en cargadas del ingreso del aire y salida de los gases productos de la combustión, así como también los inyectores de combustible. Al igual que el bloque cuenta con orificios para refrigeración y circulación de agua.

Cárter: Tiene como misión aislar y cerrar el bloque, así como también contener el aceite de lubricación del motor, por lo que posee un orificio desde donde se puede vaciar todo el contenido de aceite del motor y facilitar el cambio.

De acuerdo con su funcionamiento encontramos ahora los elementos móviles, los cuales están encargados de transformar la energía térmica en energía mecánica, transformando el movimiento alternativo en movimiento circular.

Pistón: Realiza un movimiento alternativo desde el PMS hasta el PMI en el interior de las camisas de los cilindros. Por lo general está hecho de aluminio o de aleaciones ligeras; debe soportar grandes temperaturas y presiones, además de velocidades y aceleraciones altas propias del motor. Por lo general tienen 2-4 segmentos encargados de evitar la fuga de los gases al igual que limpiar las paredes del cilindro del aceite utilizado para la lubricación. Posee en su centro un bulón que sirve de unión entre la biela y el pistón. Su función además de mantener la recámara de combustión sellada, es la de transmitir la fuerza producida en el interior del cilindro.

Biela: Es la encargada de unir al pistón con el cigüeñal, así como también de transmitir la fuerza recibida por el pistón al cigüeñal, transformando el movimiento alternativo lineal del pistón en movimiento rotativo en el cigüeñal.

Cojinetes: Este elemento mecánico de deslizamiento, reduce la fricción y da soporte al movimiento rotativo; generalmente lo encontramos en los puntos de apoyo de la bancada, las bielas, el árbol de levas y el cigüeñal. Están formados por dos medias lunas bimetálicas o trimetálicas.

Cigüeñal: Conformado junto con el pistón y la biela el mecanismo encargado de transformar el movimiento lineal alternativo en movimiento rotacional; se puede considerar como un eje acodado en el cual sobresalen una serie de muñequillas (por cada uno de los pistones del motor) las cuales albergaran las cabezas de las bielas para lograr el movimiento deseado. Posee unos muñones de apoyo alineados con respecto al eje de rotación, los cuales están soportados sobre los rodamientos de la bancada del bloque del motor, además de unos contrapesos que permiten compensar los efectos de fuerza centrífuga evitando así las vibraciones en el giro del eje. El cigüeñal tiene una serie de orificios comunicados entre sí, especialmente diseñados para mantener lubricados los muñones y las muñequillas durante su funcionamiento.

Volante de inercia: Básicamente el volante de inercia es un disco pesado el cual va unido al cigüeñal. Su función principal es la de acumular energía cinética debido a su gran peso, regularizando el giro del motor. El volante tiene un dentado en todo su exterior por lo que permite así acoplar el piñón el motor de arranque; el peso del volante debe ser calculado de acuerdo con las características del motor, por lo que un peso excesivo impedirá que el motor tenga una buena aceleración.

Sistema de distribución: Consta de un conjunto de elementos sincronizados entre sí, encargados de la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y de escape.

El sistema recibe el movimiento del cigüeñal y lo trasmite a los árboles de levas y estas a su vez a las válvulas de admisión y escape. El rendimiento del motor dependerá de la correcta sincronización de este sistema, por lo que lo hace un sistema fundamental y complejo.

3.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR DIESEL

Gran parte de la energía generada por el motor de combustión interna se disipa en calor proveniente del proceso de combustión y en pérdidas mecánicas; así como de la fricción que se presenta entre los elementos móviles que intervienen en el funcionamiento del motor. El sistema de lubricación está encargado de evitar el desgaste de las piezas móviles del motor, mediante la creación y la conservación de una película de lubricante la cual disminuye el rozamiento, el deterioro y el calentamiento de las piezas del motor.

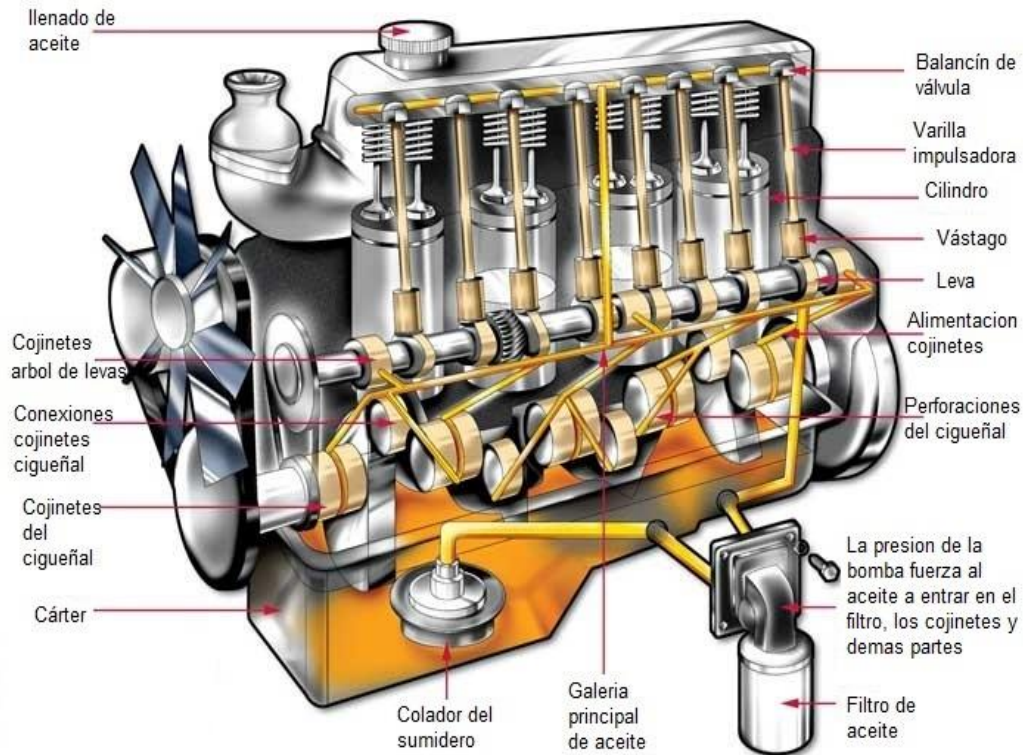
De acuerdo con lo anterior el sistema de lubricación del motor Diesel debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Lubricar las partes móviles del motor
- Bajar la temperatura al lubricar las partes móviles
- Limpiar las piezas del motor, arrastrando consigo las impurezas
- Servir como agente sellante entre los acoplamientos mecánicos
- Absorber impactos en los rodamientos

Es importante que todos los componentes del sistema de lubricación funcionen adecuadamente para garantizar que el aceite cumpla la función para la cual fue seleccionado, evitando que el motor llegue a fallar.

3.2.1 Componentes del sistema de lubricación. Aun cuando existen varios sistemas de lubricación como son; el de engrase por presión, engrase por

salpicadura, de cárter seco, etc. Gran parte de ellos tiene componentes similares que se describirán a continuación (ver figura 5).



Fuente: LUBRITA. How The Lubrication System Works In An Engine? [En línea].
 Figura 5. Circuito de lubricación del motor Diesel
 (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en:
<http://www.lubrita.com/news/78/671/How-The-Lubrication-System-Works-In-An-Engine/>

Bomba de aceite: Es la encargada de suministrar la presión al aceite succionándolo desde el depósito o cárter, haciendo que el suministro sea constante y de acuerdo con las condiciones necesarias del motor. Normalmente está ubicada dentro del cárter y toma su movimiento del sistema de distribución por medio de una banda o de una cadena, usualmente se utilizan bombas de engranajes, de paletas y de lóbulos. El aceite es tomado del cárter filtrándolo por una rejilla que impide el paso

de partículas contaminantes de gran tamaño, luego de salir de la bomba el aceite es llevado por los ductos a todas las partes móviles del motor.

Válvula limitadora de presión: También se suele llamar válvula de descarga, esta válvula mantiene la presión del sistema de lubricación en un rango constante, de modo que se asegure la lubricación en todas las piezas que necesitan de ella, cuando el sistema supera la presión deseada la válvula se abre liberando la presión en el sistema. Consiste en un embolo o esfera que se mantiene apoyado contra su asiento mediante un muelle ajustado a la presión máxima del circuito.

Enfriador de aceite: Debido a las altas temperaturas en el aceite se hace necesario la refrigeración del aceite, y este puede darse por dos métodos:

Refrigeración en el cárter y la utilización de un intercambiador de calor, el cual debe garantizar que el aceite lubricante permanezca en la temperatura optima de funcionamiento sin ver alteradas sus propiedades de operación.

Filtro de aceite: Debido al desgaste por el funcionamiento del motor el aceite se contamina con partículas provenientes del producto de la combustión, de la degradación y corrosión de las piezas del motor y demás partículas contaminantes; es por eso que se hace necesario la utilización de elementos que filtren el aceite tales como: una rejilla o filtro desde el punto de succión de la bomba, el cual atrapa las partículas gruesas y un filtro a la salida de la bomba, conocido como el filtro de aceite; el cual será el encargado de atrapar las partículas contaminantes más pequeñas.

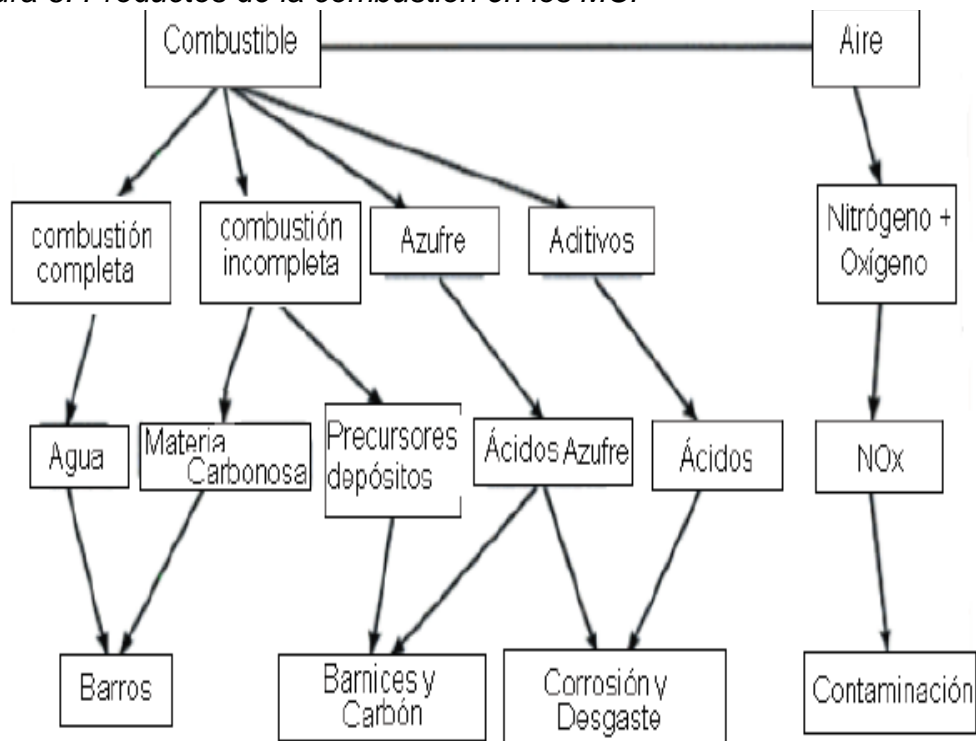
Indicadores de presión y de nivel: El indicador de presión indica la presión del sistema durante la operación del motor, viene acompañado de un mono contacto de presión el cual activa una luz cuando la presión del circuito es muy baja. El indicador de nivel consta de una varilla ubicada en el bloque del motor, la cual indica la cantidad de aceite contenida en el cárter.

3.2.2 Principio de funcionamiento del sistema de lubricación. El contenido de aceite es alojado en el cárter, en donde se enfría y se almacena. Cuando el motor se pone en funcionamiento, el aceite es succionado desde el cárter por la bomba de aceite al circuito de lubricación, luego de pasar por la bomba el aceite es enfriado por un intercambiador de calor y ahí pasa por unos ductos al filtro de aceite; el cual es el encargado de filtrarlo de los residuos de la combustión, de las partículas metálicas procedentes de la abrasión y demás contaminantes. En el interior del filtro se encuentra una membrana filtrante que atrapa casi todas las partículas contaminantes logrando limpiar el aceite, una vez sale del filtro el aceite es enviado a presión al ducto principal, el cual atraviesa el bloque del motor alimentando los cojinetes del cigüeñal, las bielas, y los pistones; así como también al sistema de distribución.

Cuando el aceite llega al cigüeñal es dirigido a los muñones y cojinetes por los orificios internos que este posee, asimismo a las muñequillas de las bielas. En algunos motores los pistones y las paredes de los cilindros son lubricados por salpicadura, gracias al movimiento del cigüeñal o por unos ductos independientes que aseguran que cada cilindro sea lubricado correctamente. En el sistema de distribución el aceite llega a los árboles de levas por los canales centrales que poseen, lubricando los cojinetes y los asientos; mientras a los trenes de válvulas se les lubrica por goteo directo, garantizando el funcionamiento de las válvulas de admisión y escape. El aceite retorna al cárter por gravedad donde se acumulará y se enfriará para retornar de nuevo al ciclo de lubricación.

3.2.3 Exigencias de lubricación en los motores Diesel. La vida del motor depende de la calidad del aceite que use, igualmente de la correcta utilización de este, asegurando la durabilidad del motor dentro de los estándares de rendimiento. Las exigencias de lubricación en el motor Diesel radican como consecuencia de la combustión, debido a la calidad del combustible utilizado, **y a la cantidad de azufre** que este contenga, determinando la cantidad de ácidos que se producirán, además de los restos producidos en la combustión (ver figura 6), que se agregaran al aceite; por lo que este verá afectado sus propiedades y composición, tales como: degradación, aumento o pérdida de viscosidad, incremento en la acidez, formación de lodos, emulsiones y diluciones debido a presencia de agua o combustible.

Figura 6. Productos de la combustión en los MCI



Fuente: TORMOS MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España. Editorial Reverte S.A. 2005. 9p

No todos los residuos de la combustión son desechados por la válvula de escape, por lo que algunos residuos e impurezas pueden permanecer en el interior del motor contaminando consigo el aceite.

3.3 TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN EN EL MOTOR DIESEL

Aun cuando los desarrollos tecnológicos alcanzados por el motor Diesel han sido muchos, siempre se habla del desgaste y la degradación del mismo, por el uso continuo y las horas de trabajo. Es por eso la importancia de la tribología como una de las ciencias en mayor desarrollo, la cual estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, que se encuentran en contacto y los fenómenos asociados a estas. La tribología encierra todos los procesos concernientes a la naturaleza de los materiales, a la fricción, la rugosidad, el desgaste y la lubricación.

3.3.1 Fricción. El rozamiento o fricción es uno de los factores más importantes a resolver en el funcionamiento del motor Diesel, siendo el punto de partida para el uso de la lubricación en los motores de combustión interna. La fricción es la resistencia que presenta un cuerpo sólido a moverse sobre otro sólido o líquido y generalmente está acompañada de pérdida de energía mecánica, así como incremento en la temperatura sobre las superficies; transformando esa energía mecánica en energía térmica la cual ocasiona un daño en las propiedades elásticas de las superficies, propiciando su fractura y el deterioro.

3.3.1.1 Estados de la fricción. Fricción pura: ocurre cuando las dos superficies interactúan sin la presencia de algún agente o de algún elemento.

Fricción Inter metálica: se presenta cuando la película de lubricante se ha roto por lo que las dos superficies metálicas interactúan sin la presencia de un tercer elemento.

Fricción sólida: este estado de fricción supone que entre las dos superficies metálicas está adherida una capa límite de lubricante, se presenta cuando los mecanismos están detenidos.

Fricción fluida: esta ocurre en las capas de un lubricante líquido, el cual separa las dos superficies metálicas lubricadas.

Fricción mixta: ocurre cuando se presentan dos estados de fricción simultáneamente, fricción sólida y fricción fluida.

Fricción gaseosa: se presenta entre dos superficies metálicas cuando el agente lubricante es un gas, como por ejemplo aire.

3.3.2 Desgaste. El desgaste puede ser definido como el deterioro que sufren las piezas al contacto. Asimismo, el desgaste puede ser descrito como la degradación de la superficie por pérdida de material al contacto con otra superficie deslizante. El desgaste puede llegar a ser crítico cuando hay una elevada pérdida de material, por lo que se hace necesario que estas pérdidas sean lo más mínimo posibles.

3.3.2.1 Clases de desgaste. Dentro de los tipos de desgaste que podemos encontrar en los motores de combustión interna, tenemos:

Desgaste abrasivo: hace referencia al desgaste producido por partículas que penetran la otra superficie, ocasionando deformaciones plásticas o erosión. El efecto abrasivo puede presentarse por partículas del mismo material o partículas sueltas.

Desgaste adhesivo: este desgaste se presenta cuando las superficies están en contacto deslizante. Al contacto entre las superficies, estas sufren fluencia plástica por lo que ocurre soldadura en frío y una vez se da el movimiento se rompen por cizalladura, por lo que el material más duro desprenderá material a la superficie más blanda.

Desgaste corrosivo: se presenta cuando por acción mecánica de fricción se desprende material de las superficies, debido a que un agente químico corrosivo o la misma degradación del aceite afecta las superficies causando corrosión.

Desgaste por fatiga: ocurre cuando hay cargas repetitivas que acumulan esfuerzos sobre las capas superficiales de las caras, por lo que se producen fisuras que al extenderse terminan ocasionando desprendimiento de material.

Erosión por cavitación: sucede cuando se produce la implosión de las burbujas contenidas en el lubricante sobre una superficie metálica; es ocasionada cuando se producen presiones por debajo de la presión de vapor del lubricante. Las burbujas generan pequeña zona picada por fatiga que después crearan erosión sobre la superficie afectada.

3.3.3 Lubricación. Nace con la necesidad de proteger las superficies del desgaste ocasionado por la fricción que se genera en el funcionamiento del motor Diesel y de cualquier máquina. Los lubricantes están diseñados para prolongar la vida del motor asimismo para disminuir los costos de mantenimiento; siendo la función principal de los lubricantes, ya que con el continuo movimiento entre las piezas móviles del motor se crea una fricción la cual trae consigo un deterioro de las partes; por lo que se debe mantener una película de aceite constantemente. Algunas de sus principales funciones son:

Refrigeración: aun cuando el sistema de refrigeración del motor se encarga de controlar la temperatura y de enfriar el motor, pero parte de esta temperatura es transferida a los componentes que intervienen en la combustión; por lo que se hace necesario que el aceite lubricante posea propiedades refrigerantes.

Limpieza: durante la combustión se crean productos de desecho, los cuales se acumulan en las piezas, asimismo partículas producto del desgaste y de la abrasión; por tal motivo el lubricante debe ayudar a limpiar estas impurezas trasportándolas desde el interior de los cilindros y de las piezas móviles y llevándolas al filtro, quien en últimas terminara atrapándolas.

Sellado: el lubricante debe cumplir como agente sellante entre el pistón y la camisa de los cilindros, mediante la estanqueidad evitando la perdida de gases y de potencia del motor.

Evitar la corrosión: ante las condiciones de la combustión y de los productos corrosivos de la misma, el lubricante debe proteger del deterioro de los materiales.

3.3.3.1 Propiedades requeridas de los lubricantes en los motores Diesel. En muchos de los entornos el aceite se ve sometido a ambientes extremos en donde se incrementada su temperatura, además de soportar cargas elevadas como las presentadas en los cojinetes de las bielas, en los seguidores de las levas y en las válvulas, asimismo debe ser capaz de soportar condiciones de operación difíciles; por lo que se requiere que posea las siguientes propiedades:

Viscosidad: es la propiedad más importante del aceite; ya que este tiene que ser lo suficientemente viscoso para mantener la película de lubricación a velocidades, temperaturas y cargas a las que funciona el motor. Así mismo si el aceite es muy viscoso provocará un arrastre excesivo lo que traerá consigo calentamiento de las superficies además de pérdida de potencia.

Índice de viscosidad: relaciona la viscosidad de un aceite con la temperatura. La viscosidad de los aceites disminuye al aumentar la temperatura, por lo que los aceites que tengan alto índice de viscosidad muestran una menor variación de la viscosidad con la temperatura. Es por eso que muchos de los aceites que operan en los motores Diesel utilizan aditivos que mejoran este índice; por ejemplo, los aceites multigrados son lo suficientemente delgados a bajas temperaturas, cuando el motor no se ha encendido y lo suficientemente viscoso cuando el motor se encuentra en operación.

Estabilidad a la oxidación: cuando el aceite es calentado y entra en contacto con el oxígeno se espesa y oscurece; estos cambios en el aceite son consecuencia de la oxidación, por lo que el aceite formara ácidos orgánicos, lacas y lodos. Así mismo la presencia de humedad y las altas temperaturas, los productos de desecho de la combustión y la degradación de los metales, pueden producir oxidación. Los

efectos de la oxidación son indeseables, los lodos pueden bloquear los ductos y filtros de la circulación del aceite, los ácidos pueden causar corrosión, las lacas incrementar la fricción entre los anillos del pistón etc. Por tal razón el aceite debe contar con una buena estabilidad a la oxidación que garantice unas condiciones óptimas de operación, adicionalmente aditivos son agregados al aceite para mejorar las reacciones a la oxidación.

Estabilidad térmica: aun cuando los aceites son resistentes a altas temperaturas su estabilidad térmica no, por lo que al alcanzar una temperatura elevada se descomponen. Con el uso de aditivos se puede mejorar un poco la estabilidad térmica, pero se corre el riesgo de la formación de depósitos que pueden ser perjudiciales.

Resistencia a la corrosión: los efectos de la combustión traen consigo la formación de ácidos, que aun en presencia del aceite suelen ser corrosivos. Estos ácidos son altamente dañinos para los componentes del motor, por lo que el aceite integra inhibidores de corrosión que son capaces de neutralizarlos, estos agentes alcalinos contenidos en el aceite suelen expresarse en TBN (Numero Base Total) lo cual da un indicio de la habilidad del aceite para neutralizar los ácidos y proteger el motor contra la corrosión.

Detergencia: los detergentes son agentes que vienen incorporados en los aceites y ayudan a la limpieza del motor, ya que no permiten la formación de depósitos sólidos, lacas y barnices; adicionalmente algunos son alcalinos por lo que protegen el motor contra la corrosión producida por los ácidos, asimismo impiden la aglomeración de hollín y otros contaminantes, manteniéndolos en suspensión sobre el aceite.

Propiedades anti desgasté: en algunos motores sometidos a altas cargas la película de lubricante se rompe, por lo que el contacto metal-metal es inevitable, lo

cual genera alta fricción y desgaste; esto hace necesario que el aceite posea aditivos anti desgaste o de extrema presión, los cuales crean una película química sobre las superficies que las hace soportar altas cargas.

Propiedades antiespumantes: cuando el aceite retorna al cárter suelen formarse espumas, debido a los contaminantes y a la agitación durante el ciclo de lubricación. Esta espuma puede causar un mal funcionamiento de la bomba lo que traería consigo daños en el sistema. Por esta razón hace necesario la adición de a agentes antiespumantes al aceite que impidan la creación de espuma y de problemas asociados a esta.

3.3.3.2 Clasificación de los aceites lubricantes para motores Diesel. En la actualidad son muchos los tipos de aceite que se fabrican, por lo que se ha hecho necesario la implementación de normas que limiten la aplicación de muchos de estos aceites y que los clasifiquen de acuerdo con su uso específico. Esta clasificación se realiza de en base a dos aspectos importantes:

Clasificación por viscosidad

Dependiendo del grado de viscosidad de los aceites utilizados en motores y de acuerdo a la temperatura del motor siendo la más importante la clasificación SAE (Society of Automotive Engineers). Establece una escala numérica de acuerdo a la norma SAE J300, que inicia con SAE 0, como indicativo de la mínima viscosidad o de la máxima fluidez; conforme el grado va aumentando, el aceite aumenta su viscosidad y se hace más espeso. (ver tabla 1).

La escala está dividida en dos grupos. Para el primer grupo la viscosidad se mide a -18 °C, lo que supondría el arranque del motor en frío, y está dividido en los siguientes seis grupos: SAE 0W, SAE 5W, SAE 10W, SAE 15W, SAE 20W, SAE 25W. Estos grados indican la temperatura mínima de utilización de los aceites; y la

letra W hace referencia a los aceites que se utilizan en invierno (Winter). Para el segundo grupo la viscosidad se mide a 100 °C, lo que supondría el motor trabajando en caliente, y está dividido en los siguientes nueve grupos: SAE 8, SAE 12, SAE 16, SAE 20, SAE 30, SAE 40, SAE 50, SAE 60. Estos grados hacen referencia para uso en verano.

Tabla 1. Especificaciones Norma SAE J300-201501

Viscosidad SAE	Arranque en Frio (cP)	Bombeabilidad en Frio (cP)	Mínima Cinemática (cSt)	Máxima Cinemática (cSt)	Cizallamiento en alta temperatura (cP)
0W	6,200 a -35°C	60,000 a -40°C	3.8	-	-
5W	6,600 a -30°C	60,000 a -35°C	3.8	-	-
10W	7,000 a -25°C	60,000 a -30°C	4.1	-	-
15W	7,000 a -20°C	60,000 a -25°C	5.6	-	-
20W	9,500 a -15°C	60,000 a -20°C	5.6	-	-
25W	13,000 a -10°C	60,000 a -15°C	9.3	-	-
8	-	-	4	<6.1	1.7
12	-	-	5	<7.1	2.0
16	-	-	6.1	<8.2	2.3
20	-	-	6.9	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 monogrado)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

Fuente: SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE). Engine oil viscosity classification [en línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: http://standards.sae.org/j300_201501

Considerando a cada uno de los grados SAE mencionados anteriormente, para invierno y verano, podemos ver que solo aplican para un solo grado de viscosidad y un rango de temperaturas de funcionamiento, por lo que este tipo de aceites recibe el nombre de aceites **monogrado**; como, por ejemplo:

- SAE 10W- usado en climas con temperaturas menores a 0°C
- SAE 30-usado en climas cálidos

Los aceites monogrado son apropiados para sitios en donde los cambios de temperatura no son considerables, y si llegara a presentar un cambio de clima más frío durante el año, se necesitaría cambiar el aceite por uno para invierno. Ante esta situación los fabricantes de aceites crearon los aceites **multigrados**, que permiten que la viscosidad se mantenga estable frente a los cambios de temperatura en una zona de un país, por lo que este aceite tendrá dos rangos de viscosidad; como, por ejemplo:

SAE 10W40- se comporta como un SAE 10W cuando el motor opera en bajas temperaturas y como un SAE 40 cuando el motor está en operación.

Con lo anterior, es muy fácil ver que los aceites multigrado tienen más ventaja sobre los aceites monogrado, ya que pueden operar en un rango de viscosidades, llegando a ser viscosos en condiciones frías; lo cual facilita el arranque de los motores, y manteniendo una viscosidad adecuada a altas temperaturas.

Clasificación por las condiciones de servicio

De acuerdo a las condiciones que tiene que someterse el motor, al tipo de combustible que esté emplea, al cumplimiento de las normas de contaminación etc. Estas condiciones de operación y demás son puestas a prueba en el laboratorio utilizando bancos de prueba de motores. Dentro de esta clasificación encontramos las clasificaciones API, ACEA, JASO y demás.

Clasificación API (American Petroleum Institute): Básicamente maneja dos clasificaciones de acuerdo con el tipo de combustible que manejan los motores; los

motores encendidos por chispa y los motores encendidos por compresión. Por lo que denota con una S a los motores encendidos por chispa (Spark) y con una C a los encendidos por compresión (compression). A continuación, se mostrará la guía para la selección de aceites para motores Diesel:

CA: Servicio Típico de motores Diesel operados en trabajo ligero, proveen protección contra la corrosión de cojinetes y formación de depósitos en las ranuras de los anillos, protección contra el desgaste. Usados entre los años 40 y 50.

CB: Servicio Típico de motores Diesel operados en trabajo moderado, combustibles de más baja calidad que los utilizados en la clasificación anterior, protección contra el desgaste y la formación de depósitos, corrosión de cojinetes. Usados en 1949.

CC: Servicio Típico de motores Diesel de aspiración natural, turbocargados o supercargados, proveen protección contra depósitos a alta temperatura y corrosión de cojinetes, la herrumbre. Usados en 1961.

CD: Servicio Típico de motores Diesel de aspiración natural, turbocargados o supercargados, proveen protección contra la corrosión, control efectivo contra el desgaste y depósitos. Usados en 1955.

CD-II: Servicio Típico de motores Diesel de 2 tiempos que operan en condiciones severas. Cumplen los requisitos de la categoría CD y pasan la prueba 6V-53T de Detroit Diesel.

CE: Servicio Típico de motores Diesel de trabajo pesado turbocargados y sobrecargados fabricados desde 1983 y operando bajo condiciones de baja velocidad y alta carga y de alta velocidad y alta carga.

CF: Aceites para servicio típico en motores Diesel con inyección directa e indirecta. Con alto contenido de azufre (sobre 0,5%). control efectivo de depósitos y desgastes del pistón y del cobre producido por la corrosión de rodamientos, motores de aspiración natural, turbocargados o supercargados. Usados en 1994, pueden ser usados cuando se recomienda la categoría CD.

CF-II: Aceite de servicio típico para motores Diesel de dos tiempos, control efectivo de depósitos en anillos y ralladuras en los cilindros. Usados desde 1994 y pueden ser utilizados con la categoría CD II.

CF-4: Servicio Típico de motores Diesel de 4 tiempos, turbocargados y sobrecargados fabricados desde 1990, usados en tractocamiones, camiones y autobuses. Exceden los requerimientos de los aceites de categoría CE. Pueden utilizarse en reemplazo de las anteriores categorías CD y CC, provee mejor control de consumo de aceite y depósitos en los pistones.

CG-4: Aceites para uso en motores Diesel de 4 tiempos de alta velocidad usados en vehículos de servicio pesado (0.05% en peso de azufre en el combustible). Proveen control de depósitos del pistón, desgaste, corrosión, espumación, estabilidad a la oxidación y acumulación de hollín. Cumple con los estándares de emisión de gases de 1994 y pueden ser usados en motores que requieren de servicio CD, CE y CF-4.

CH-4: Aceites para los motores Diesel de 4 tiempos de alta velocidad, diseñados para cumplir los estándares de emisión de gases de 1998. Formulados para el uso con combustibles Diesel con azufre en el rango de hasta 0.5 %.

CI-4: Motores Diesel de última Generación: aceites diseñados para cumplir con los requerimientos de lubricación de los nuevos motores norteamericanos desde el año 2002, especialmente aquellos con recirculación de gases de escape (EGR).

Requiere un mejor dispersante, una mayor protección del desgaste producido por el hollín, un TBN más efectivo para neutralizar la mayor cantidad de ácidos y finalmente una mayor capacidad antioxidante.

CJ-4: Para motores Diésel de cuatro tiempos de alta velocidad. Aceites formulados en uso con combustibles Diesel con un contenido de azufre de hasta 500 ppm (0,05% en peso). Superan los criterios de rendimiento de API CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4.

CK-4: aceites para motores Diesel de cuatro tiempos de alta velocidad que cumplen las normas de emisiones de 2017, combustibles Diesel con un contenido de azufre de hasta 500 ppm (0,05% en peso). Mantienen la durabilidad del sistema de control de emisiones, proporcionan una mayor protección contra la oxidación del aceite, la pérdida de viscosidad debida a la cizalladura, Y la aireación del aceite, así como la protección contra el envenenamiento del catalizador, el bloqueo del filtro de partículas, el desgaste del motor, los depósitos del pistón, la degradación de las propiedades de baja y alta temperatura y el aumento de la viscosidad relacionada con el hollín.

En la actualidad los grupos **CA, CB, CC, CD, CD-II, CE, CF, CF-II, CF-4, CG-4** de la clasificación para aceites API están obsoletos, por lo que ya no se usan.

3.3.4 Desgaste en los motores Diesel. Todo tipo de desgaste es perjudicial en los motores, pero hay límites permisibles que mediante periodos de uso son normales, en cierto alcance de desgaste es recomendable un ajuste o cambio de piezas para no llegar a tener daños catastróficos mediante planes y programas de mantenimientos para que no llegue a generar paradas inesperadas, a continuación, describiremos desgastes comúnmente hallados en el motor:

3.3.4.1 Desgaste de los anillos, pistones y cilindros. Debido a los principios de los motores a combustión interna, estas son las piezas que están sometidas a la mayor carga de trabajo, elevadas temperaturas, altas velocidades de deslizamiento, corrosión por los productos de la combustión, así como también elevadas presiones de operación.

En la zona camisa-anillos-pistón se presenta desgaste adhesivo debido al contacto metal-metal que existe, cuando la película de lubricante se rompe durante las anulaciones de velocidad relativa, es decir en los puntos muertos; por lo que se evidencia en los perfiles de desgaste que se ocasionan en el cilindro en estos puntos específicamente. El perfil de desgaste presenta un escalón abrupto a la altura del anillo de fuego, en el PMS aun en ausencia de abrasión y o corrosión; ya que es precisamente este punto el que soporta la mayor parte de la presión de compresión, después del ciclo de explosión, lo que agrava el desgaste adhesivo. Adicionalmente debido a la elevada temperatura se presenta una deformación del anillo de fuego lo que agrava el desgaste.

Otro tipo de desgaste que se presenta en este conjunto mecánico es el desgaste corrosivo, debido a la naturaleza de los subproductos de la combustión y al contenido de azufre de algunos combustibles; se han observado desgaste corrosivo en los anillos, por la puesta en marcha del motor debido al dióxido de azufre concentrado en los anillos durante la parada, además de las bajas temperaturas durante los primeros minutos de funcionamiento del motor que posibilitan la condensación de agua proveniente de la combustión. En cuanto al desgaste abrasivo se puede ver que es producido por partículas aisladas provenientes del exterior o del interior, como por ejemplo en motores que trabajan bajo ambientes de polución, o de la industria minera y en donde por fallos de los filtros se presentan el ingreso de partículas contaminantes al motor provenientes del aire atmosférico.

Las consecuencias por el desgaste en los anillos del motor provocan problemas de estanqueidad por lo que el motor pierde potencia, adicionalmente el paso de los gases de combustión contaminará el aceite disminuyendo su vida útil y creando consigo depósitos que contribuirán al desgaste de otras piezas del motor.

3.3.4.2 Desgaste del conjunto pistón – biela – cigüeñal. Parte del desgaste que se presenta en el conjunto pistón – biela – cigüeñal recae sobre los cojinetes, debido a la deficiencia de aceite sobre el muñón del cigüeñal y el cojinete, por lo que ocurre desgaste adhesivo, abrasivo y erosión por cavitación, aumentando la fricción y la temperatura, trayendo consigo la destrucción de la superficie del cigüeñal. Muchos de los daños de los cojinetes que se encuentran en el motor Diesel se deben a la presencia de partículas de suciedad en el circuito de aceite, por lo que se encontraran restos de material contaminante incrustados en la superficie interna y externa de los cojinetes.

Este desgaste en los cojinetes puede ocasionar una desalineación en las bielas, por lo que tienden a doblarse y torcerse, afectando consigo todo el mecanismo lo que hará que el pistón sufra desgaste. El desgaste en el cigüeñal se produce generalmente por el desgaste de los cojinetes o de la lubricación, debido a que los muñones son rayados por la abrasión de materiales contaminantes contenidos en el aceite y que se han incrustados en los cojinetes.

3.3.4.3 Desgaste del mecanismo leva, impulsador, balancín, válvula. De la correcta sincronización de este mecanismo dependen muchas de las prestaciones de rendimiento del motor Diesel, ya que es el encargado de controlar los procesos de intercambio de gases. El contacto existente entre la leva en el árbol de levas y el impulsador es el más expuesto al desgaste de este mecanismo; debido a que combina movimiento de rotación y lineal. Por esta razón se presenta desgaste adhesivo, asimismo por las elevadas velocidades de desplazamiento de las levas, se genera desgaste por fatiga causado por la vibración de los resortes de las válvulas.

El conjunto vástago-balancín también presenta desgaste adhesivo producto del contacto que se presenta entre estos elementos; aunque existe un contacto con holguras leves debido a las dilataciones térmicas presentadas cuando el motor opera a altas velocidades; ocasionalmente se puede presentar desgaste por abrasión debido a los depósitos que se crean, cuando parte del aceite se carboniza por el aumento del paso de los gases de escape como consecuencia de problemas de sellado en las válvulas.

Para la unión entre la válvula y el balancín se presenta desgaste adhesivo, debido a la lubricación insuficiente, aunque no es comparable con los conjuntos mencionados anteriormente.

4. METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO APLICADAS A FLOTAS DE TRANSPORTE

Desde hace unos años las metodologías de mantenimiento han tenido un cambio de acuerdo con las necesidades que han surgido de las nuevas tecnologías con las que funcionan los motores Diesel, las cuales se enfocan en su mayoría en el desarrollo de un mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo que permita que el motor siga en operación sin la necesidad de tener que intervenir durante su operación.

Debido a que el motor Diesel es utilizado hoy en día en muchos de los procesos industriales así como también en el sector del transporte por sus buenas características como: su alto rendimiento, su bajo consumo de combustible y la posibilidad de trabajar en condiciones hostiles, se hace necesaria la atención de un programa de mantenimiento que permita el buen desempeño de los motores, ya que cualquier inconveniente o falla afectara de manera significativa la producción de la planta, además de ocasionar problemas con las entregas y el incumplimiento de los compromisos de las empresas. Por lo que en la actualidad el mantenimiento ha evolucionado desde un punto de vista dedicado netamente a la solución de fallos a un punto de vista de la eliminación de causas y efectos de fallas.

4.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Es la reparación que se realiza una vez que el motor ha fallado, lo cual ocasiona una parada total o parcial del motor; se suele presentar cuando no se cumplen programas de mantenimiento preventivo o predictivo, por lo que se espera a que el motor presente una falla para así poder aplicar acciones correctivas en aras de corregirla. Las acciones correctivas impiden el diagnostico fiable de las causas de las fallas, por lo que es difícil identificar que componente desencadeno la avería. Este tipo de mantenimiento no es recomendable debido a que tiene muchas

desventajas como, por ejemplo: costos elevados, la vida útil de los motores se acorta, la falla podría ocasionar riesgo para los conductores, poca confiabilidad etc.

4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Esta clase mantenimiento está enfocado a disminuir las paradas repentinas ocasionadas por el mantenimiento correctivo, así como también disminuir los costos derivados del mismo. Utiliza como estrategia rutinas periódicas de inspección y conservación que garanticen el buen funcionamiento del motor, llegando a sustituir algunas de las partes de acuerdo con el número de horas de funcionamiento del motor.

Las rutinas de inspección deben realizarse dentro de los periodos programados, previo a la puesta en marcha de los motores.

Para la determinación de los procedimientos de mantenimiento a seguir, se debe tener en cuenta cuales son las condiciones reales de operación del motor, es decir bajo que ambientes está expuesto; ya que un ambiente polvoriento tendrá más efecto en el deterioro de los filtros y componentes del motor.

4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Dentro de las metodologías más utilizadas para el mantenimiento de motores Diesel se destacan las técnicas de seguimiento de estado² o monitoreo de condiciones descritas a continuación:

Técnicas de seguimiento no destructivas: se emplean en el uso de detección de averías al determinar la inspección de parámetros que pueden ser determinados por instrumentos, como podría ser una inspección visual de una fisura al ser medida

² FYGUEROA S, Simón J. Técnicas de seguimiento de estado de motores Diesel. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada: Pamplona, Colombia. 2005, vol. 1, no. 5. ISSN: 1692-7257

antes y después de un tiempo determinado, o la utilización de instrumentos, por ejemplo, endoscopios (ver figura 7) dotados con cámaras de video para verificar el estado de los asientos de las válvulas y pistones; permitiendo obtener imágenes nítidas de zonas inaccesibles, así como demás datos que, se pueden almacenar de manera digital para ser usados luego en análisis posteriores.

Figura 7. Endoscopia realizada a un motor marino

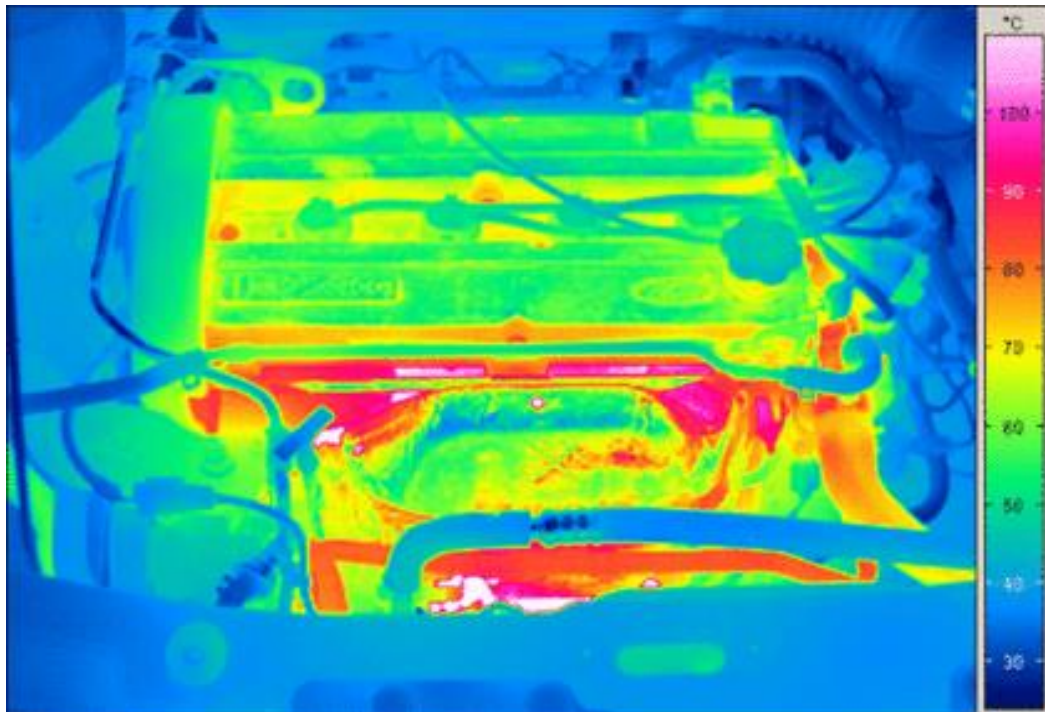


Fuente: KORCZEWSKI, Zbigniew. Endoscopic image processing and analysis of pistons' service failures of marine Diesel engines. Gdansk university of technology. Journal of polish CIMAC. Polonia. 2008

Técnicas de seguimiento de temperatura: gracias al uso de sensores como termocuplas, termómetros de contacto, detectores infrarrojos e imágenes termográficas (ver figura 8), se pueden detectar los comportamientos térmicos de las partes del motor, determinando el seguimiento de la temperatura en el caso de la combustión o para detectar la variación de calor generada por el mal funcionamiento de alguno de los componentes como, por ejemplo, el daño en uno

de los cojinetes. La termografía³ se utiliza como técnica de mantenimiento debido a su versatilidad y precisión de lectura de datos; al detectar la radiación térmica invisible emitida por los mecanismos en su funcionamiento y de acuerdo a esta, poder revelar si hay fallos o zonas con excesiva pérdida de calor, las cuales concentran síntomas de averías.

Figura 8. Termografía de un motor de combustión interna



Fuente: INFRATEC. Inspections of mechanical components. [En línea]. (Recuperado: 30 de mayo de 2014). Disponible en: <http://www.infratec-infrared.com/thermography/application-area/predictive-maintenance/mechanical-assembly.html>

Técnicas de seguimiento del desgaste: una de las técnicas más utilizadas, es el seguimiento de las concentraciones metálicas presentes en el aceite del motor, cuyo fin tiene el determinar el grado de desgaste producido por la operación del motor.

³ MACIÁN M, Vicente. OLMEDA G, Pablo. PERALTA U, W y TORMOS M, Bernardo. Fault detection in diesel engines using infrared thermography. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada: European Automotive Congress, EAEC-SAITS0180, Eslovaquia. 2001

El análisis de aceite⁴ determina el estado del aceite mediante la utilización de pruebas de laboratorio las cuales permiten la identificación de las partes del motor que están sufriendo deterioro, así como también ayuda a conocer las concentraciones de elementos de contaminación y demás propiedades del aceite como, por ejemplo, la viscosidad, oxidación, sulfatación y demás. Además del análisis de aceite, en la actualidad se utilizan sensores dentro del sistema de lubricación que permiten detectar las partículas de desgaste presentes en el aceite en tiempo real. Los equipos utilizados para llevar a cabo estas pruebas (ver figura 9), suelen ser portátiles, lo que facilita mucho la aplicación de técnicas como estas, llegando a realizar en campo algunas de las pruebas más significativas.

Figura 9. Toma de muestras de aceite A. A

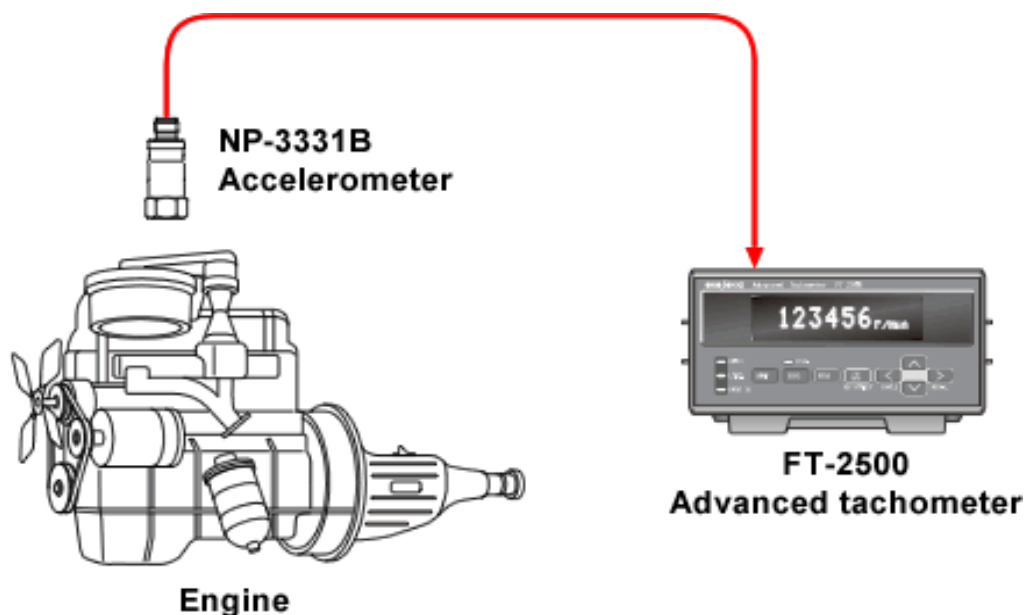


Fuente: BORUSAN. Scheduled Oil Sampling - S.O.S. [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.bmgs.com.tr/machines/customer-support/equipment-management/condition-monitoring/sos.aspx>

⁴ TORMOS MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España. Editorial Reverte S.A. 2005.

Técnicas de seguimiento de vibraciones: el uso de vibraciones⁵ como técnica de mantenimiento para motores de combustión interna se lleva a cabo desde hace algunos años. Esta técnica se basa básicamente en la medición y lectura de las firmas graficas de vibración del motor y de sus componentes, llegando a ser de gran utilidad para la detección de fallas en rodamientos y cojinetes. La captación de la señal se realiza mediante un acelerómetro (ver figura 10) o sensor inductivo de proximidad; a esta señal se la descompone en señales fundamentales (desplazamiento – velocidad – aceleración) que serán evaluadas de acuerdo con dinámica de los componentes del motor. Las señales de vibración se pueden aplicar tanto a movimientos lineales como a torsionales con lo que se permite determinar síntomas de holgura entre piezas.

Figura 10. Configuración para llevar a cabo un análisis de vibraciones.



Fuente: ONOSOKKY. Engine rotation measurement using the engine vibration. [en línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: https://www.onosokki.co.jp/English/hp_e/products/application2/ft_engine.htm

⁵ CHACÓN V, Jorge L. MACIÁN M, V. OLMEDA G, Pablo. y TORMOS M, Bernardo. Diagnóstico de motores de combustión interna alternativos mediante el análisis de las oscilaciones del bloque. Revista UIS Ingenierías: Bucaramanga, Colombia. vol. 1, no. 2. (noviembre 2002). 11-15 p

Técnicas de seguimiento de prestaciones: hace referencia a las técnicas de mantenimiento que controlan la evolución y tendencia de una variable en el tiempo, lo que permite evaluar el estado técnico del motor. Las prestaciones⁶ a las que normalmente se les hace seguimiento son: potencia, par, velocidad, consumo de combustible y consumo de aceite. Este seguimiento que se realiza de las prestaciones del motor se compara con valores límite suministrados por el fabricante, permitiendo al ingeniero de mantenimiento poner el motor en óptimas condiciones de funcionamiento. Normalmente para la interpretación y análisis de muchas de estas prestaciones, se hace necesario la utilización de un equipo de cómputo, en el cual se grafiquen los resultados, así como sus tendencias a lo largo del tiempo. Las señales son registradas por diferentes tipos de sensores de acuerdo a la naturaleza de la variable.

⁶ HIDALGO B, Elio R. El Diagnóstico técnico por análisis de tendencia, técnica para evaluar el estado de condición de un equipo. Aplicación a un grupo electrógeno. Revista Ciencias Holguín: Cuba. 2009, vol. 15, no.2. ISSN: 1027-2127

5. MOTORES DE LA COMPAÑÍA BAF Y ASOCIADOS

Para el transporte de sus equipos y demás, la compañía BAF Y ASOCIADOS cuenta con una flota de cinco (5) vehículos entre los cuales se encuentran tractocamiones, camiones y camionetas (ver tabla N° 2); todos ellos cuentan con motores Diesel.

Tabla 2. Descripción de los vehículos de la compañía BAF

Vehículo	International Eagle 9400i	Kenworth T600 aeroCab	Foton Olin BJ1081	2 Chevrolet Luv D-Max
Motor	Cummins ISX-435 ST2	Cummins N14	Perkins Phaser 135Ti	Isuzu 4JH1-TC OHV
Disposición	6 Cil. en línea	6 Cil. en línea	4 Cil. En línea	4 Cil. En línea
Cilindrada	15.0 Litros	14.0 Litros	3.99 Litros	3.0 Litros
Potencia	435Hp @1800rpm	410Hp @2100rpm	135Hp @2600rpm	130Hp @3800rpm
Relación de compresión	17.2:1	17.5:1	17.5:1	18.3: 1
Aspiración	Turbo cargado y post enfriado Aire-Aire	Turbo cargado Aire-Aire	Turbo cargado con intercooler	Turbo intercooler
Sistema de alimentación	Inyección directa con control electrónico	Inyección mecánica	Inyección directa con control electrónico	Electrónica bomba de inyección

5.1 SELECCIÓN DE MOTOR PARA EL ANÁLISIS

Para la elaboración de este proyecto se toma un tractocamión International Eagle 9400i dotado con un motor Diesel Cummins ISX, el cual es el único que en la actualidad se encuentra en operación en la empresa, servirá de ejemplo para llevar a cabo el desarrollo de la metodología del programa de mantenimiento. El tractocamión es un vehículo de carga pesada que posee un gran rendimiento, gracias a su transmisión manual de 18 velocidades y doble overdrive, su dirección hidráulica y su capacidad de 1136 litros de combustible.⁷

El motor Cummins ISX es uno de los estándares del fabricante de motores americano, este motor tiene muchas aplicaciones entre las cuales se encuentra la generación de energía, la minería e instalaciones industriales; además del uso en tractocamiones pesados.

El primer motor Cummins ISX salió de la línea de producción en 1998⁸. Hasta 2010, este motor era un diseño dual de la leva de arriba con una leva que accionaba los inyectores y el otro el tren de la válvula. A partir de 2013, los motores Cummins ISX fueron equipados con diagnósticos a bordo que controlan la emisión de emisiones y maximizan la eficiencia del motor.

Este modelo Cummins ISX también se reconfiguro para cumplir con el Reglamento del Departamento de Transporte de la EPA. "ISX" significa "Sistema Interact", que es el sistema de combustible en carretera desarrollado por Cummins para mejorar enormemente el rendimiento. Los motores Cummins ISX son muy populares para aplicaciones de camiones en carretera y comerciales ya que tienen la capacidad de tirar entre 430hp - 620hp a 2050 pies / libras. (ver especificaciones en la tabla 3 y curvas de funcionamiento figura 11).

⁷ <http://www.proyectar.com.mx/international/tractocamiones.htm>

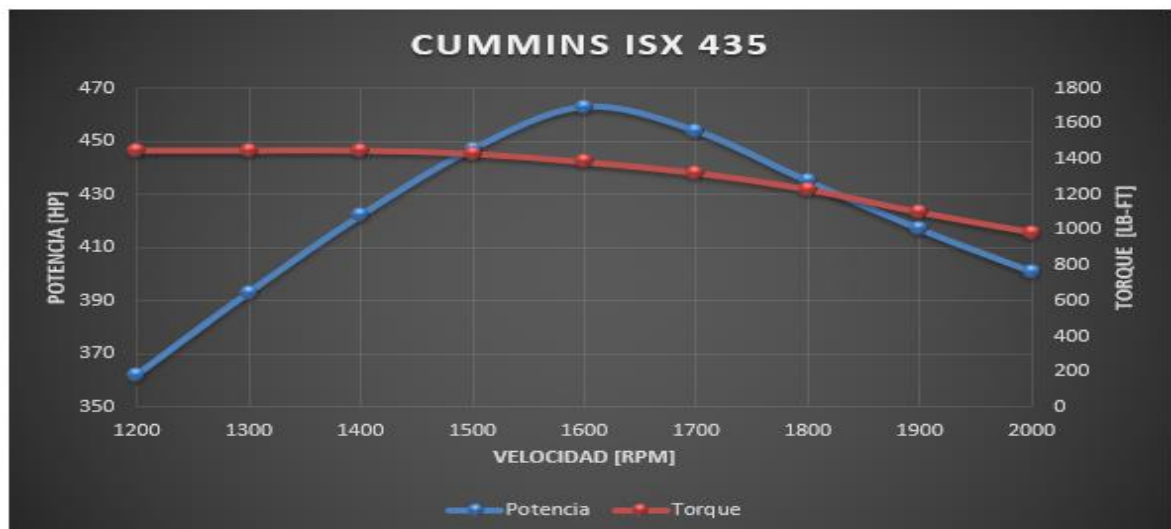
⁸ <http://www.enginebuildermag.com/2014/07/generating-strength-cummins-isx-engine/>

Tabla 3. Especificaciones técnicas del motor Cummins ISX

Motor Tractocamión International Eagle 9400i	
Marca: Cummins	Aspiración: Turbo cargado y post enfriado Aire-Aire
Modelo: ISX-435 ST2	
Relación de compresión: 17.2:1	
Numero de cilindros: 6 en línea	Sistema de combustión: Inyección directa con control electrónico
Volumen: 15 litros [912 pulg ³]	
Diámetro de cilindro: 137 mm [5.40 pulg.]	Carrera: 169 mm [6.65 pulg.]
Potencia: 435 HP@1800 RPM	Potencia Max: 463 HP
Torque: 1450 lb-ft @1200RPM	Capacidad Sistema aceite: 45.4 litros [12 gal.]
Peso del motor: 1287 kg [2837 lb]	

Fuente: INTERNATIONAL TRUCKS. Motor Cummins ISX. [En línea]. (Recuperado el 14 de agosto de 2017). Disponible en: <https://latin-america.internationalcamiones.com/motores/cummins-isx>

Figura 11. Curvas de funcionamiento del motor Cummins ISX 435



Fuente: CUMMINS. ISX and signature EGR [En línea]. (Recuperado el 14 de agosto de 2017). Disponible en: <https://www.freightliner.com.au/Content/Uploads/CMS/ISX-and-Signature-EGR%20PDF.pdf>

6. NORMA ISO 9001-2008 APLICADA AL MANTENIMIENTO

La norma ISO 9001-2008⁹ hace referencia al sistema de gestión de calidad (SGC) de las organizaciones, las cuales deben cumplir los requisitos básicos para demostrar la habilidad para proveer productos y servicios que logren satisfacer las necesidades de los clientes, así como los requisitos legales y reglamentarios. La norma ISO 9001-2008 está dividida en 9 secciones, las primeras 4 secciones identifican el ámbito, las definiciones y los términos para la norma; y las restantes secciones contienen los requisitos para la implementación del sistema de gestión de calidad.

6.1. ESTRUCTURA DE LA NORMA ISO 9001-2008

- Sección 0: Introducción.
- Sección 1: Objeto y campo de aplicación.
 - 1.1 Generalidades
 - 1.2 Aplicación
- Sección 2: Referencias normativas.
- Sección 3: Términos y definiciones.
- Sección 4: Requisitos del sistema.
 - 4.1 Requisitos Generales
 - 4.2 Requisitos de la documentación
 - 4.2.1 Generalidades
 - 4.2.2 Manual de la Calidad
 - 4.2.3 Control de los documentos
 - 4.2.4 Control de los registros
- Sección 5: Responsabilidad de la dirección.
 - 5.1 Compromiso de la dirección

⁹ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Quality management systems- Requirements, ISO 9001-2008. 4 ed. Geneve, Suiza: ISO, 2008. 7 p.

- 5.2 Enfoque al cliente
- 5.3 Política de la Calidad
- 5.4 Planificación
 - 5.4.1 Objetivos de la Calidad
 - 5.4.2 Planificación del Sistema de Gestión de la Calidad
- Sección 6: Gestión de recursos.
 - 6.1 Provisión de recursos
 - 6.2 Recursos humanos
 - 6.2.1 Generalidades
 - 6.2.2 Competencia, formación y toma de conciencia
 - 6.3 Infraestructura
 - 6.4 Ambiente de trabajo
- Sección 7: Realización del producto.
 - 7.1 Planificación de la realización del producto
 - 7.2 Procesos relacionados con el cliente
 - 7.2.1 Determinación de los requisitos relacionados con el producto
 - 7.2.2 Revisión de los requisitos relacionados con el producto
 - 7.2.3 Comunicación con el cliente
 - 7.3 Diseño y desarrollo
 - 7.3.1 Planificación del diseño y desarrollo
 - 7.3.2 Elementos de entrada para el diseño y desarrollo
 - 7.3.3 Resultados del diseño y desarrollo
 - 7.3.4 Revisión del diseño y desarrollo
 - 7.3.5 Verificación del diseño y desarrollo
 - 7.3.6 Validación del diseño y desarrollo
 - 7.3.7 Control de los cambios del diseño y desarrollo
 - 7.4 Compras
 - 7.4.1 Proceso de compras
 - 7.4.2 Información de las compras

- 7.4.3 Verificación de los productos comprados
- 7.5 Producción y prestación del servicio
 - 7.5.1 Control de la producción y prestación del servicio
 - 7.5.2 Validación de los procesos de la producción y prestación del servicio
 - 7.5.3 Identificación y trazabilidad
 - 7.5.4 Propiedad del cliente
 - 7.5.5 Preservación del producto
- Sección 8: medición análisis y mejora.
 - 8.1 Generalidades
 - 8.2 Seguimiento y Medición
 - 8.2.1 Satisfacción del cliente
 - 8.2.2 Auditoría interna
 - 8.2.3 Seguimiento y medición de los procesos
 - 8.2.4 Seguimiento y medición del producto
 - 8.3 Control del producto no conforme
 - 8.4 Análisis de datos
 - 8.5 Mejora
 - 8.5.1 Mejora continua
 - 8.5.2 Acción correctiva
 - 8.5.3 Acción preventiva

6.1.1 Análisis de la sección 6.3 infraestructuras bajo la norma ISO 9001-2008.

En la sección 6.3 de la norma se hace referencia al cuidado de las infraestructuras necesaria para alcanzar y mantener los requisitos previstos para el producto o servicio ofrecido por la organización, según se muestra a continuación:

Sección 6.3 Infraestructura: La organización debe determinar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto.

La infraestructura incluye, cuando sea aplicable:

- a) edificios, espacio de trabajo y servicios asociados,
- b) equipo para los procesos, (tanto hardware como software), y
- c) servicios de apoyo tales (como transporte o comunicación).

El correcto funcionamiento de los equipos y el perfecto estado de las instalaciones incide directamente en el desempeño de los procesos y, por lo tanto, en la calidad percibida por los clientes. Por lo que la empresa debe seguir los siguientes pasos para la adecuada gestión de las infraestructuras¹⁰:

- **Identificación de equipos e infraestructuras:** la empresa está en el deber de identificar los equipos e infraestructuras que hacen parte de su operación y por ende que inciden en la calidad de sus productos, de acuerdo con la sección 6.3 la norma ISO 9001-2008.
- **Definición de operaciones de mantenimiento para cada infraestructura:** de acuerdo al número de equipos con los que cuente la empresa se hace necesario disponer de una ficha en donde se identifique con sus datos correspondientes (modelo, número de serie, matrícula etc.) y las operaciones de mantenimiento a realizar en cada una de ellas, así como la frecuencia en la que se realizan dichas acciones. De igual manera se debe suministrar los datos de quienes ejecutan estas operaciones de mantenimiento.
- **Plan de mantenimiento anual de infraestructuras:** teniendo planeadas ya las operaciones de mantenimiento se debe realizar un control anual, en el cual se resuman todas las tareas que se llevaran a cabo, así como las fechas en las cuales se tiene programado realizarlas.

¹⁰ HEDERA CONSULTORES. Calidad y gestión empresarial. ISO 9001 e ISO 14001. [en línea]. (Recuperado en 12 de agosto de 2007). Disponible en:<http://hederaconsultores.blogspot.com.co/2009/10/infraestructuras-segun-iso-90012008.html>

- **Registro de las operaciones realizadas:** para tener un control de todas las operaciones de mantenimiento realizadas, se deben registrar y documentar las tareas ejecutadas en cada uno de los vehículos, de acuerdo con los formatos internos, con el objetivo de poder realizar un análisis de la progresión del mantenimiento realizado. Dichos formatos deben diligenciarse por el personal encargado de realizar las acciones de mantenimiento y en ellos debe hacerse anotación de las tareas y procedimientos realizados, así como las observaciones a las que pueda dar lugar y de ser necesario también se debe adjuntar facturas por gastos ocasionados o por refracciones sustituidas durante la realización de estas operaciones.

Cabe resaltar que, de llevarse a cabo un mantenimiento no planificado, también debe tener registro con formato adecuado para diferenciarlo de los mantenimientos programados, y debe tenerse en cuenta dentro del registro de mantenimiento general del vehículo.

- **Revisión y actualización de los planes:** después de un periodo determinado de las operaciones de mantenimiento previstas, se hace indispensable analizar el grado de cumplimiento del mismo, así como también el costo relacionado con las tareas de mantenimiento y demás estadísticas que ayuden a comprender y mejorar el plan de mantenimiento y a disminuir costos y paradas no previstas.

6.2 PRACTICAS DE MANTENIMIENTO APLICADAS POR BAF Y ASOCIADOS LTDA.

Al hacer un diagnóstico y auditoria del mantenimiento específicamente de acuerdo con la norma ISO 9001:2008, se puede evidenciar que la compañía actualmente no cuenta con un programa de mantenimiento adecuado, prácticamente no se tienen rutinas de mantenimiento programado, y ocasionalmente se realizan inspecciones

de algunos de los componentes, se efectúan los cambios de aceite de acuerdo al criterio de los operadores de los vehículos y en ocasiones a las recomendaciones de algunos mecánicos. No se lleva un control del kilometraje ni de las horas de operación de los motores, así como tampoco de la progresión del desgaste del mismo por lo que no se puede saber el estado real del motor. Aun cuando la compañía cuenta con políticas de mejoramiento de la calidad en sus procesos, no tiene un control real para el mantenimiento de sus vehículos.

Para dar cumplimiento a la norma ISO 9001-2008, BAF & ASOCIADOS LTDA debe realizar un inventario de cada uno de los vehículos y de sus motores, así mismo definir las operaciones de mantenimiento a realizar y la frecuencia con la que estas se llevaran a cabo, para garantizar la correcta ejecución de las actividades de la empresa, además debe efectuar un plan de mantenimiento aplicado a un año, en el cual se registren las operaciones de mantenimiento realizado en cada uno de los vehículos y que a su vez permita evaluar el desempeño y la gestión de dicho plan, en aras de corregirse y de optimizarse para lograr un mayor beneficio a la compañía.

7. FALLAS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD DEL MOTOR DIESEL

Para analizar la criticidad de un motor Diesel debemos conocer los sistemas que intervienen en la operación del mismo e identificar y cuantificar la importancia que tienen dentro del motor. Además de determinar cuáles son los elementos y sistemas a los que se deben prestar atención para el correcto funcionamiento.

7.1 PRINCIPALES FALLAS EN EL MOTOR DIESEL

De acuerdo a Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines¹¹, la evaluación de los fallos de un motor Diesel por el módulo de falla y el análisis de efectos (FMEA) describe la función de un componente, los posibles modos de fallo, los posibles fracasos y los efectos que tales fallos tendrían sobre el funcionamiento del sistema. Podemos apreciar el FMEA para el sistema de combustible (ver tabla 4). Comparaciones en las tasas de falla de componentes de los estudios realizados, demostraron altas tasas de fallo en el sistema de suministro de combustible, culata, válvulas y sistema de refrigeración. Una lista resumida de áreas de falla obtenidas de los estudios se muestra a continuación: (en orden de prioridad).

- Sistema de inyección de combustible
- Cabeza de cilindro y válvulas
- Sistema de carga y escape
- Sistema de refrigeración
- Cojinetes, pistones, revestimientos, engranajes de sincronización, etc.

¹¹ BANKS, Jeffrey. HINES, Jason. LEBOLD, Mitchell. CAMPBELL, Robert. BEGG, Colin y BYINGTON, Carl. Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines. New Frontiers in Integrated Diagnostics and Prognostics. Proceedings of the 55th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology. Virginia Beach, Virginia, April 2 - 5, EE.UU. 2001.

Tabla 4. Failure mode effects analysis (FMEA)

FMEA Sistema de Combustible				
Componente	Función	Modo de falla	Posible causa de la falla	Efectos en el sistema
Bomba de inyección de combustible	Proveer el combustible en cantidades correspondientes a la potencia requerida y en el instante correcto	Muelles de la válvula rotos. Válvula de combustible obstruida. Cavitación.	Combustible contaminado la presión local baja por debajo de la presión de vapor saturada del combustible	Falla en los cilindros, mala atomización Pérdida de potencia. Erosión de la bomba
Inyectores de combustible	Atomizar el combustible en la cámara de combustión y asegurar que se mezcle con suficiente aire para la combustión completa	Atomización incorrecta	Atomizador obstruido debido a desechos de combustible contaminado y gas caliente del cilindro formando carbono	Combustión incorrecta

	en el tiempo de ciclo apropiado			
Alta presión líneas de combustible		Cavitación	baja presión causada por las ondas de presión que se mueven entre el inyector y la bomba de combustible al final de la inyección de combustible; la rotura de la válvula de suministro también agrava la cavitación	Erosión del inyector Erosión en las líneas de combustible de las líneas de combustible de alta presión, resultando en última instancia en la rotura de la línea de combustible principal

Fuente: BANKS, Jeffrey. HINES, Jason. LEBOLD, Mitchell. CAMPBELL, Robert. BEGG, Colin y BYINGTON, Carl. Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines. New Frontiers in Integrated Diagnostics and Prognostics. Proceedings of the 55th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology. Virginia Beach, Virginia, April 2 - 5, EE.UU. 2001.

La información estudiada indica claramente que el sistema de inyección de combustible ha sido la fuente más frecuente de fallos para los motores Diesel, (ver tabla 5). Mientras tanto, los componentes del motor sujetos a altos niveles de desgaste, tales como: pistones, revestimientos y cojinetes completan en gran medida el origen de los fallos.

Tabla 5. Principales fallas presentadas en los motores Diesel

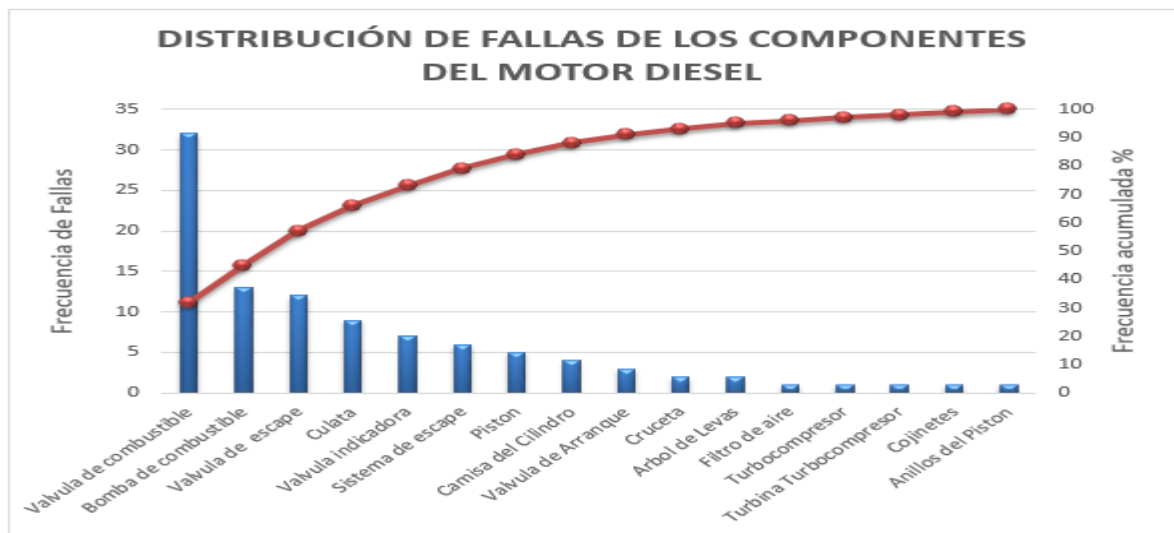
FRECUENCIA DE FALLAS DEL MOTOR DIESEL			
Fallas	Frecuencia	Frecuencia %	% Acumulada
Válvula de combustible	320	32	32
Bomba de combustible	130	13	45
Válvula de escape	120	12	57
Culata	90	9	66
Válvula indicadora	70	7	73
Sistema de escape	60	6	79
Pistón	50	5	84
Camisa del Cilindro	40	4	88
Válvula de Arranque	30	3	91
Cruceta	20	2	93
Árbol de Levas	20	2	95
Filtro de aire	10	1	96
Turbo compresor	10	1	97
Turbina Turbo compresor	10	1	98
Cojinetes	10	1	99
Anillos del Pistón	10	1	100

BANKS, Jeffrey. HINES, Jason. LEBOLD, Mitchell. CAMPBELL, Robert. BEGG, Colin y BYINGTON, Carl. Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines. New Frontiers in Integrated Diagnostics and Prognostics. Proceedings of the 55th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology. Virginia Beach, Virginia, April 2 - 5, EE.UU. 2001.

Un diagrama de Pareto (Ver figura 12) podría ilustrar más esta situación, mostrando cuales son las fallas que originan la mayor parte de las averías y una vez detectadas

concentrar todas las acciones de mantenimiento en prevenir y controlar dichas fallas. Los resultados evidencian una vez más que el sistema de inyección de combustible tiende a concentrar la mayor parte de las averías, siendo la válvula de combustible y la bomba de combustible las fallas más representativas de los motores Diesel.

Figura 12. Análisis de Pareto fallas del motor Diesel



Fuente: BANKS, Jeffrey. HINES, Jason. LEBOLD, Mitchell. CAMPBELL, Robert. BEGG, Colin y BYINGTON, Carl. Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines. New Frontiers in Integrated Diagnostics and Prognostics. Proceedings of the 55th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology. Virginia Beach, Virginia, April 2 – 5, EE.UU. 2001.

Otro grupo de fallas podrían agruparse dentro de los elementos móviles que intervienen en la operación del motor y que por ende necesitan de una buena lubricación, tales como:

- Pistón
- Camisa de cilindro
- Cruceta
- Árbol de levas

- Turbo compresor
- Cojinetes
- Anillos de pistón

7.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Realizando un análisis de criticidad total de riesgo, nos establece un rango de posibles valores de los componentes, para nuestro caso los de un motor común de combustión interna, obteniendo un valor numérico por cada criterio, cada valor es ingresado en la matriz de riesgos (ver figura 13), para su análisis se debe utilizar la frecuencia de fallas de cada componente y la ecuación de consecuencia:

- Ecuación de la consecuencia

$$\text{consecuencia} = (IO * FO) + CM + SHA$$

Las ponderaciones están registradas en la tabla de criterios de criticidad (ver tabla 6)

Figura 13. Matriz de criticidad.

FRECUENCIA DE FALLAS	1	MC	MC	C	C	C
	2	MC	MC	MC	C	C
	3	NC	NC	MC	C	C
	4	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIAS				

Tabla 6. Criterios del análisis de criticidad.

FRECUENCIA DE FALLAS		OPCIONES
Pobre	Mayor a 4 fallas/año	4
Promedio	2-4 fallas/año	3
Buena	1-2 fallas/año	2
Excelente	menor a 0,5 fallas/año	1
IMPACTO OPERACIONAL		OPCIONES
Falla critica >= 50%		10
Falla mayor 25%=<afecta<50%		6
Falla menor afecta <25%		2
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL		OPCIONES
Difícil acceso a repuestos		4
Posible inventario de repuestos		2
Repuesto disponible		1
COSTO DE MANTENIMIENTO		OPCIONES
Costo mayor o igual al 5% del equipo		2
Costo menor al 5% del equipo		1
IMPACTO DE SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE (SHA)		OPCIONES
Afecta la seguridad humana tanto interna como externa y requiere la notificación a entes externos de la organización		8
afecta el ambiente/instalaciones		7
afecta las instalaciones causando daños severos		5
provoca daños menores (ambiente-seguridad)		3
no provoca ningún daño a personas, instalaciones ni al ambiente		1

Criticidad del motor de combustión interna

Tabla 7. Resultados del análisis de criticidad

ÍTEM	Componente	FF	IO	FO	CM	SHA	Consecuencia	Criticidad	FF/AÑO
1	Bloque	3	10	2	2	2	24	72	3
2	Culata	4	6	2	2	2	16	64	5
3	Cigüeñal	4	6	2	2	2	16	64	6
4	Árbol de levas	4	6	4	2	2	28	72	10
5	Correa de distribución	4	10	2	1	1	22	88	8
6	Amortiguadores	4	6	2	1	1	14	56	5
7	Bomba de aceite	4	10	2	2	5	27	108	10
8	Bomba de agua	4	10	1	1	2	13	52	7
9	Inyector	4	10	2	2	2	24	96	7
10	Ejes compensadores	3	10	2	2	2	24	72	3
11	Cojinetes	4	6	2	1	2	15	60	6
12	Bielas	3	10	1	1	2	13	39	4
13	Válvulas	4	6	2	1	2	15	60	8
14	Pistones	4	10	2	1	2	23	92	9
15	Engranajes de distribución	4	6	2	2	2	16	64	6

Rango de criticidad
De 0-40
De 40-90
De 90 en adelante

7.2.1 Analisis de resultados

Se puede observar (ver tabla 7), el 26,7% de los componentes son partes críticas sobre las fallas en el motor, se debe prestar atención para evitar eventos inesperados en los vehículos. También tenemos un 66,6% de componentes semi-críticos contra apenas un 6,7% de componentes no críticos; los componentes críticos que los cuales son los pistones, inyectores, árbol de levas y la bomba de aceite son componentes de vital funcionamiento, por la cual que cualquier impedimento que los haga funcionar ocasiona una parada del equipo instantánea.

8. PROGRAMA PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Se han tenido en cuenta el análisis de criticidad realizado anteriormente, así como también algunas recomendaciones de los fabricantes de los motores Diesel, además de las metodologías utilizadas actualmente en el mantenimiento de las flotas de vehículos similares; por lo que se han fijado periodos de mantenimiento diario, cada 15,000 kms, 30,000 kms, 40,000 kms y 50,000 kms. Los cuales tienen como objetivo la inspección, evaluación y cambio de los componentes críticos del motor (ver tabla 8).

Así mismo cabe anotar que las acciones de mantenimiento sugeridas en este programa de mantenimiento pueden realizarse bajo inspección visual y en talleres especializados para un mejor análisis. El mantenimiento preventivo comienza con el conocimiento diario de las condiciones de funcionamiento del motor, por lo que se debe inspeccionar y buscar fugas, cambios en apariencia del motor, estado de los componentes y partes flojas o dañadas; todo esto antes de que el motor entre en operación.

Para el desarrollo de las actividades planteadas en el programa de mantenimiento diario y de seguimiento programado propuestos se hace necesaria la utilización de formatos (ver anexo A), diseñados para registrar los datos que se van tomando en la realización de las inspecciones y de los cambios de los componentes de acuerdo a periodos propuestos. Los formatos deben diligenciarse de acuerdo con las acciones planteadas, anotando la fecha, kilometraje inicial y final, la inspección realizada según la indicación y las observaciones que se encuentren durante el desarrollo de la operación de inspección o de cambio.

Tabla 8. Modelo de programa de mantenimiento propuesto.

Programa de mantenimiento Motor Diesel BAF & Asociados				
Diariamente	Cada 15,000 kms	Cada 30,000 kms	Cada 40,000 kms	Cada 50,000 kms
Inspeccionar y/o cambiar	Cambiar y/o Reemplazar	Cambiar y/o Reemplazar	Cambiar y/o Reemplazar	Cambiar y/o Reemplazar
<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar y corregir nivel de aceite del motor y del refrigerante. • Drenar separador de agua-combustible. • Drenar tanques y depósitos de aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite lubricante del motor. • Filtro de aceite. • Revisar fugas en el sistema de refrigeración, con el motor puesto en marcha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro de refrigerante • Filtro de combustible • Revisar el tensor de banda automático. • Operar el motor y revisar los sistemas de aire de admisión y de escape. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar todas las conexiones para manguera por fugas o deterioro • Revisar las persianas y ventilador • Limpiar el motor con vapor • Revisar tornillos de montaje del motor 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar el cubo del ventilador • Acumulación de carbón en el compresor de aire • Ajustar válvulas, inyectores, y frenos del motor.

<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar tubo del respirador del cárter. • Inspeccionar tubería de admisión de aire y CAC. • Inspeccionar bandas impulsoras. • Inspeccionar ventilador del sistema de enfriamiento 		<ul style="list-style-type: none"> • Revisar restricción del filtro de aire • Reemplazar elemento en el compresor de aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar el amortiguador de vibración • Limpiar el tubo del respirador del cárter. 	
---	--	---	--	--

8.1 MONITOREO DE ACEITE EN LOS MOTORES DIESEL

El monitoreo del aceite es de gran ayuda, ya que permite chequear el estado del motor y del lubricante. De acuerdo con el estado del aceite se puede evaluar el desgaste presente en el motor, así como también el cambio oportuno del aceite. El estado del motor se detecta con el grado de contaminación del aceite y el estado del aceite se detecta de acuerdo con el número de partículas de desgaste o partículas contaminantes presentes en este. La mayoría de fabricantes de motores incluyen planes de mantenimiento en los cuales se incluyen cambios de aceite a intervalos fijos, por lo que se podría desechar un aceite que aún está apto para ser usado.

Las muestras de aceite se toman periódicamente y se envían al laboratorio donde se analizará la degradación existente, midiendo las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Detergencia
- Basicidad y acidez
- Constante dieléctrica

Así mismo también se analiza el grado de contaminación que tiene el aceite, cuantificando el contenido de los siguientes elementos:

- Partículas solidas
- Combustible
- Hollín
- Agua
- Partículas suspendidas

La degradación en el aceite está determinada por el grado de contaminación del mismo.

8.1.1 Técnicas utilizadas en el análisis de aceite de los motores Diesel. Con el fin de predecir y diagnosticar los daños en los motores, mediante el análisis de aceite, se han desarrollado numerosas técnicas como:

- Técnicas para la determinación de la degradación del aceite
- Técnicas para el análisis de la contaminación del aceite
- Técnicas para la determinación de desgaste del motor

8.1.1.1 Técnicas para la determinación de la degradación del aceite. Para esta finalidad se cuentan con innumerables técnicas que permiten determinar el contenido de partículas de desgaste como:

. **Viscosidad:** existen muchos métodos para evaluar la viscosidad del aceite, como, por ejemplo:

- Utilizando el viscosímetro de Ostwald, se escurre el aceite por un capilar y se mide el tiempo que tarda en recorrer una determinada distancia.
- Mediante el viscosímetro de MacMichel, en el cual se deposita el aceite sobre dos placas en movimiento, por lo que se puede verificar el efecto de cizallamiento sobre el aceite.
- Usando el viscosímetro de bolas, en el cual se mide el tiempo de desplazamiento de un sólido inmerso en el aceite.

Este ensayo es usado en campo, debido a la facilidad de transporte del equipo; los otros dos ensayos están destinados a pruebas en el laboratorio.

Detergencia: para evaluar la detergencia de los aceites, el método más utilizado es el de la mancha de aceite, de acuerdo con la zona de difusión de la mancha. Cuando posee una buena detergencia la zona de difusión es extensa y va disminuyendo a medida que el aceite pierde su poder detergente. La detergencia se calcula en función de la homogeneidad de la mancha y el rango varía, desde 100 para detergencia ideal y 0 sin detergencia.

Basicidad: en esta prueba se monitorea el índice de basicidad total (TBN) de acuerdo con las normas ASTM D2896 y ASTM D664, la primera permite el conteo de las bases medias y fuertes presentes en los constituyentes del aceite, por lo que se puede conocer el contenido de aditivo presente en el aceite; y la segunda mide bases débiles como fuertes. Este último método es utilizado donde neutralización es demasiado lenta.

Constante dieléctrica: este método determina la constante dieléctrica utilizando equipos especiales portátiles para tal fin. Esta prueba puede desarrollarse en campo, aunque debido a la temperatura y a las vibraciones a las que se somete el sensor puede ocasionar lecturas sensibles a variación. Usando la constante dieléctrica del aceite nuevo con respecto a la del aceite usado, se puede conocer su degradación.

Contenido de insolubles: se utilizan pruebas de laboratorio basados en la norma ASTM D893, usando disolventes como el heptano, pentano y el tolueno, donde se prueba la insolubilidad de los productos de la degradación de aceite como: lodos, lacas y barnices.

8.1.1.2 Técnicas para el análisis de la contaminación del aceite. Las técnicas más realizadas en el análisis de contaminación del aceite son:

Dilución de combustible: para determinar esta dilución se utiliza la medición de la temperatura de inflamación del aceite, la cual es disminuida por el contenido de combustible en el aceite; de acuerdo con la norma ASTM D92.

Dilución con agua: el método más usado es la crepitación, que consiste en una placa metálica calentada a 200 °C, en la cual se deja caer una gota de agua y se oye si hay crepitación, de acuerdo con el ruido producido se detecta la cantidad de agua en la muestra.

Contenido de materias carbonosas: estas se evalúan con la prueba de la mancha de aceite, mediante el uso de papel de filtro especial en el cual se deposita una prueba de la muestra y al cabo de un tiempo se observa el papel, permitiendo saber la concentración de materias carbonosas; este es sin duda uno de los métodos más económicos y fáciles de realizar. En el papel, el aceite forma una mancha marcada por tres zonas: la parte central donde se depositan las grandes concentraciones más pesadas de partículas de carbón, una zona central en donde se puede ver la dispersión que posee el aceite, y una zona exterior que carece de partículas de carbón y en donde se puede evidenciar la presencia de combustible. A continuación, presentamos algunos de los valores límites de las propiedades de los aceites permitidos por algunos fabricantes de motores (ver tabla 9).

Tabla 9. Valores límites máximos permisibles para varios motores Diesel

Análisis	Fabricantes de motores					Otros	
	MAN	CAT	CUMMINS	DETROIT DIESEL	MTU	MACIAN	THIBAULT
Viscosidad @ 100 °C	+30% -25%	+20% -10%	± grado SAE ó ±4 cSt	+ 40% -15 % (@ 40°C)	SAE xx-W30 9-14 cSt SAE xx-W40 11,5-18 cSt	± 30 %	± 25%
TBN	- 50%	Min 1 mg KOH/g	-50 % ó 2 mg KOH/g	Min 1 mg KOH/g	- 50%	- 50%	- 25%
TAN			TAN med = TBN med				
Oxidación					25 Abs/cm		25 Abs/cm
Nitración					25		

					Abs/cm		
Detergencia						30 % original	

Fuente: TORMOS MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España. Editorial Reverte S.A. 2005. 244p

8.1.1.3 Técnicas para la determinación de desgaste del motor. Dentro de este grupo de técnicas para determinar el desgaste del motor tenemos:

Espectrometría: proporciona un estudio cuantitativo de las partículas de desgaste en el aceite, mediante el uso de un espectrómetro de emisión o de absorción. El primero utiliza la radiación emitida por los átomos, que al ser excitados emiten radiación en diferentes longitudes de onda, característico de cada material; el segundo espectrómetro aprovecha la cantidad de luz absorbida por cada uno de los átomos de acuerdo a su concentración. Los resultados obtenidos con esta técnica determinan las ppm de los diferentes metales concentrados en la muestra.

Ferrografía: esta técnica utiliza un campo magnético para retener las partículas metálicas presentes en la muestra; las partículas férricas se acomodarán en una distribución llamada ferrograma y las no férricas se acomodarán al azar. El tipo de desgaste se puede evaluar de acuerdo con el tamaño y la forma característica de las partículas. Pruebas adicionales se pueden hacer al ferrograma con la ayuda de un espectrómetro de fluorescencia de rayos X. De la ferrografía se pueden obtener datos sobre la conformación de las partículas, pero tiene poca sensibilidad de detección ya que solo detecta partículas magnéticas.

Complementarias: estas técnicas están propuestas para la detección de partículas de mayor tamaño, las cuales se pueden encontrar en los depósitos y en los filtros, por lo que es difícil que aparezcan en la muestra.

Algunas técnicas como: **el conteo de partículas** que especifica el tamaño de partículas de acuerdo con las categorías determinadas; el **colector magnético** que atrapa y selecciona las partículas magnéticas y la **microscopía** que inspecciona las partículas obtenidas.

9. METODOLOGÍA PARA EL DIAGNOSTICO DE DESGASTE DEL MOTOR DIESEL

9.1 ANÁLISIS DE ACEITE

El objetivo de establecer un análisis de aceite para los motores Diesel radica en la confiabilidad de los equipos y los costos referentes al extender la vida útil del aceite; además de las ventajas que tiene al ayudar en aspectos como:

- Disminuir los costos del mantenimiento del motor
- Aumentar la productividad del motor.
- Prolongar la vida del motor.
- Disminuir el consumo de aceite.
- Prevenir daños en el motor.
- Reducir paradas y fallas catastróficas

Para ello se debe hacer un seguimiento del desempeño del motor, así como también los intervalos de cambio de aceite; identificando las necesidades de lubricación del motor. Al mismo tiempo el programa debe ser capaz de identificar anticipadamente todos los fallos debido al desgaste del motor, extendiendo consigo la vida útil del mismo.

9.1.1 Control del proceso. Se hace necesario conocer el proceso de las etapas del lubricante para poder tener control sobre él, desde cuando el aceite es llevado a la compañía, su almacenamiento, la sustitución en los equipos, el control de los aceites usados y, por último; la disposición para desecharlos. Se debe tener en cuenta la importancia que tiene el realizar un buen procedimiento durante la utilización del análisis de aceite como técnica de mantenimiento, por lo cual se debe tener control con; la toma de muestras, el envío de las muestras al laboratorio y el análisis e interpretación de los resultados.

9.1.2 Toma de muestras. El éxito del programa del programa de análisis de aceite radica en las tomas de las muestras; estas deben hacerse de acuerdo con los intervalos adecuados y con los instrumentos requeridos para garantizar que las muestras no lleguen a contaminarse. La toma de las muestras debe realizarse en zonas turbulentas, ya que tomar una muestra en el drenado no representa las condiciones de operación de trabajo del motor. La frecuencia de la toma de las muestras debe hacerse de acuerdo con las siguientes consideraciones: tiempo y condiciones de operación del motor, recomendaciones del fabricante del motor y de acuerdo con la tendencia de los resultados de análisis de aceite obtenidos anteriormente.

Esta frecuencia determinada debe mantenerse de acuerdo con las condiciones del equipo, para poder obtener una buena interpretación del análisis del aceite. Algunos fabricantes recomiendan hacer la toma de las muestras cada vez que se cambie el aceite. Es indispensable que las tomas de las muestras de aceite se hagan siempre bajo las mismas condiciones, además cabe recordar que los recipientes utilizados para tal fin deben estar perfectamente limpios y secos para evitar que las muestras se contaminen

9.1.2.1 Información del equipo. Se debe proporcionar al equipo de laboratorio la información necesaria del motor, así mismo de las actualizaciones realizadas en el equipo. Adicionalmente los siguientes datos:

- Identificación del equipo
- Tipo de componente
- Lubricante utilizado
- Capacidad del tanque
- Modelo y fabricante del componente
- Tipo de filtración
- Temperatura y presión de operación

9.1.2.2 Información de la muestra. Adicionalmente a la información anterior, la muestra debe presentarse al laboratorio lo antes posible, garantizando que no se haya contaminado con agentes externos; adicionalmente deben suministrarse los siguientes datos:

- Cambios del lubricante
- Tiempo de uso del aceite
- Tiempo de uso del filtro
- Cualquier comentario sobre el funcionamiento y mantenimiento del equipo

Es importante especificar si durante el periodo de toma de las muestras, se ha adicionado aceite al motor, además de detallar las cantidades del aceite suministrado.

9.1.3 Tipo de pruebas para análisis de aceite. Durante estas pruebas el aceite es examinado para determinar sus propiedades físicas y así poder evaluar si aún es apto para seguir en servicio. Dentro de estas pruebas podemos catalogar tres aspectos importantes a seguir como:

- **Condición del lubricante:** con este tipo de pruebas se evalúa la salud del aceite, determinando si es apto para seguir trabajando o si por el contrario debe sustituirse.
- **Grado de contaminación:** buscan cuantificar el tipo y número de partículas contaminantes e impurezas presentes en el aceite; debido al proceso de combustión, a los contaminantes o agentes externos y al mismo desgaste de las piezas del motor. Estas pruebas son esenciales en el análisis del aceite, ya que un alto índice de contaminación en el aceite aumenta el riesgo de daños por recirculación de material contaminante y por ende un alto margen de deterioro en el motor.
- **Desgaste del motor:** mediante este tipo de pruebas se puede apreciar la condición real del motor, ya que debido al desgaste se acumulan partículas que

evidencian cuales son los elementos que están sufriendo más daño, y que pueden llegar a ser críticas para el funcionamiento del motor. El análisis y detección de este tipo de partículas es de vital importancia ya que intervienen directamente sobre las acciones de mantenimiento del motor.

De acuerdo con lo anterior se tendrán los siguientes tipos de pruebas para evaluar la condición del motor Diesel:

Condición del lubricante (Pruebas fisicoquímicas).

- Medición de la viscosidad (ASTM-D445).
- Medición de detergencia.
- Medición TBN y TAN (ASTM D 2896 – ASTM D664).
- Prueba del color (ASTM D1500).
- Punto de inflamación (ASTM D092).

Grado de contaminación

- Contaminación con agua (ASTM D095).
- Dilución con combustible (ASTM D93- ASTM D322).
- Contenido de insolubles (ASTM D 893).

Desgaste del motor (Análisis de concentración de metales)

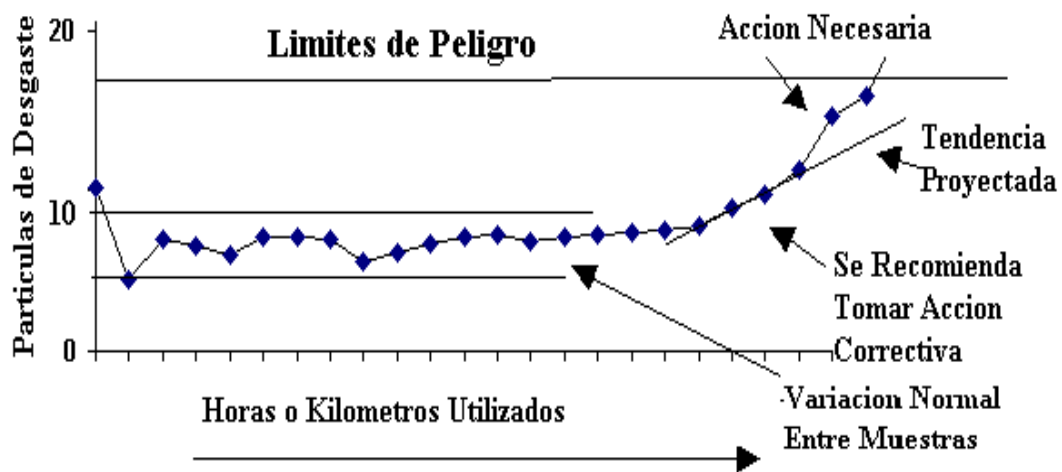
- Ferrografía.
- Espectrometría de emisión atómica (ASTM D6595).
- Conteo de partículas.

9.1.4 Progresión del desgaste en el aceite. Gracias al programa de análisis de aceite se puede monitorear los niveles de desgaste del motor Diesel y de los componentes que intervienen durante su funcionamiento. De acuerdo con el análisis de concentración de metales se puede determinar la concentración de cada uno de los metales presentes en la muestra, por lo que se puede establecer la tendencia

de desgaste de los metales, así como de la pieza de la cual proviene. Es normal que el motor presente residuos de metales de desgaste durante su operación, pero si el desgaste se acelera se reflejara en el aumento del número de partículas metálicas presentes en el aceite; trayendo consigo daños en el motor. Es por eso por lo que entender la progresión del desgaste (ver Figura 14.) ayudara a identificar los problemas antes de que lleguen a suceder.

El análisis de concentración de metales efectúa la prueba de por lo menos 10 metales diferentes de los que pueden encontrarse en el interior del motor Diesel y de otros que pueden ser por agentes externos como: el Silicio que puede indicar la presencia de tierra y el Sodio, que puede indicar la presencia de agua o refrigerante. De esta manera se puede evidenciar que no todos los contaminantes encontrados dentro del motor provienen del desgaste de las piezas, sino de otras fuentes, como podrían ser de aditivos especiales.

Figura 14. Progresión del desgaste en el motor Diesel



Fuente: WIDMAN INTERNATIONAL SRL. Interpretación de los resultados de análisis de aceite usado [en línea]. (Recuperado en 10 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.widman.biz/Analisis/nterpretación.html>

Para conocer realmente el desgaste que se presenta en el motor, se hace necesario determinar la tasa de aporte de metal o la velocidad de desgaste; de esta manera se podrá evaluar si es normal o excesivo, y así mismo determinar si hay riesgo de posibles fallas.

9.1.4.1 Determinación de la velocidad de desgaste. Se debe tener en cuenta que no todos los motores son iguales, por lo que tienen diferencias como: el tipo y tamaño del motor, el volumen del aceite empleado, materiales de fabricación y demás condiciones de operación; por lo que se hace necesario la utilización de un método de normalización para evaluar el diagnóstico de las fallas y desgaste del motor, que independice estas variantes sin importar las condiciones del motor; ya que medidas de las mismas concentraciones de un elemento de desgaste en el aceite de dos motores diferentes, no representan que ambos motores tienen la misma velocidad de desgaste, llegando a producir diagnósticos errados. Muchos han sido los autores que han tratado de determinar la velocidad de desgaste del motor como por ejemplo C. Hubert¹², quien presentó un modelo para predecir la velocidad de contaminación del aceite en el cárter a partir de un balance másico del sistema, tomando además la eficiencia del filtro, pero no el efecto del aceite añadido al sistema. Dando origen a la siguiente ecuación:

$$C_{(t)} = \left(C_0 - \frac{m}{\eta Q} \right) e^{\frac{-\varepsilon Q t}{V}} + m/\eta Q$$

Donde:

$C_{(t)}$: es la concentración en el cárter después de un determinado tiempo t , en mg/l

C_0 : es la concentración de partículas en el cárter para un tiempo $t = 0$

m : es la velocidad de contaminación, en L/min

¹² BECK, Jhon W. HUBERT, Christopher J y JOHNSON, John H. A model and the methodology for determining wear particle generation rate and filter efficiency in a Diesel engine using ferrography. Swansea. Septiembre 1982

η : es la eficiencia del filtro

Q : es el caudal volumétrico que recorre el circuito

V : es el volumen del aceite contenido en el cárter, en L

Según este modelo la contaminación en el aceite varía de manera exponencial con el uso del aceite.

Años después autores como Fygueroa¹³ y H. Espinoza¹⁴ presentaron un método más realista para calcular la velocidad de contaminación del aceite y el desgaste del motor, teniendo en cuenta la eficiencia del filtro, el contenido de añadidos de aceite al motor y la composición del aceite. El método propuesto por Espinoza en 1990, al igual que C. Hubert se valió de un análisis másico del sistema y de las siguientes suposiciones:

- una velocidad de contaminación constante.
- las partículas de desgaste se combinan juntamente con el aceite.
- el volumen de aceite en el filtro es nulo.
- las pérdidas de aceite son iguales al aceite añadidos, a caudal cte.
- el caudal, el volumen de aceite ni la eficiencia del filtro varían en el tiempo.

Aplicando la conservación de la masa a un volumen de control dedujo la siguiente expresión:

$$Cm_{(t)} = \frac{P}{Z * V_0} \left(C_{m0} - \frac{P}{Z * V_0} \right) e^{z*t}$$

Donde:

$$Z = \frac{Qa}{V_0}$$

¹³ FYGUEROA S, Simón J. MORENO C, Gonzalo G. y SERRANO R, Juan C. Método para corregir las concentraciones metálicas medidas en muestras de aceite. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada: Pamplona, Colombia. 2007, vol. 2, no. 10. ISSN: 1692-7257

¹⁴ ESPINOZA, H. La normalización de las concentraciones de partículas de desgaste en aceite aplicada a motores Diesel: Avances Investigación en Ingeniería. Bogotá. D.C. Julio, 2011, vol. 8, no. 2.

Siendo P la velocidad de contaminación constante del lubricante, V_0 el volumen del aceite y Qa el promedio de aceite añadido al motor durante el tiempo t . Una vez conocidas la velocidad de contaminación se procederá a hacer una corrección de las concentraciones de los elementos de desgaste C_c , utilizando la siguiente ecuación:

$$C_c = C_0 + \frac{P}{V_0}(t - t_0)$$

La cual considera las partículas iniciales en el aceite, más el efecto de la contaminación proveniente del desgaste del motor en el intervalo de tiempo $(t - t_0)$.

9.1.4.2 Concentraciones de referencia. Existen muchos tipos de referencias de acuerdo con la población sobre la cual se realice el estudio estadístico dentro de las cuales encontramos:

Global: hace referencia a las concentraciones de todas las muestras de aceite analizadas, teniendo en cuenta todas las marcas, modelos y motores a los que pertenecen las muestras.

Por marca: corresponde a las concentraciones de las muestras de un mismo fabricante, de esta manera se tiene un margen de error menor al tener una referencia de la marca del motor.

Por modelo: hace referencia a las concentraciones de las muestras de un modelo de motor de un fabricante en específico, lo que hace más precisa la referencia a tomar, ya que modelos del mismo fabricante pueden llegar a tener diferentes elementos constitutivos.

Por motor: correspondiente a las concentraciones de las muestras de un motor en específico, las cuales representan el desgaste normal del motor, se usan para comparar y calificar las concentraciones de la muestra.

Cuando se realiza un estudio de las concentraciones de un motor en particular, se toman las concentraciones de referencia global como punto inicial para el análisis.

9.1.4.3 Concentraciones limite. Para determinar el grado de desgaste presente en el motor, se utiliza comúnmente los límites condinatorios de concentraciones de partículas metálicas. Muchos de estos límites están definidos por los fabricantes, para cada uno de los metales presentes en el aceite del motor; como puede verse (ver tabla 10), muchos de estos metales varían de acuerdo con la metalurgia empleada por cada uno de los fabricantes.

Tabla 10. Valores condinatorios de concentraciones metálicas fabricantes de motores Diesel

Elemento	Caterpillar	Cummins	Detroit Diesel	Jenbacher	MAN	GM
Hierro (Fe)	100	84	150	50	125	125
Cobre (Cu)	45	20	90	20	40	150
Plomo (Pb)	100	100	--	70	25	75
Aluminio (Al)	15	15	--	15	10	5
Cromo (Cr)	15	15	--	5	20	20
Estaño (Sn)	20	20	--	10	30	40
Sodio (Na)	40	20	50	8	--	--
Boro (B)	20	25	20	--	--	20
Silicio (Si)	10	15	--	20	15	10
Zinc (Zn)	--	--	--	--	--	10
Plata (Ag)	--	--	--	--	--	2

Fuente: TORMOS MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España. Editorial Reverte S.A. 2005. 244p

Otra manera de establecer los límites condenatorios de desgaste es mediante el uso de la estadística, los cuales pueden ser obtenidos de una base de datos, calculados estadísticamente en base a los resultados registrados en las muestras. Este método asume que la concentración de elementos de equipos similares cae dentro de una distribución normal. En una distribución normal, el promedio (\bar{x}) de todos los datos es el valor reportado más común; para definir el rango de los valores, se utiliza una desviación estándar. Suponiendo una distribución normal, cualquier lectura que caiga entre $\bar{x} \pm \sigma$ está en dentro del 68 por ciento de todos los valores; expandiendo el intervalo a $\bar{x} \pm 2\sigma$ significa que cualquier lectura que caiga dentro de este rango está dentro del 95 por ciento de todos los valores. $\bar{X} \pm 2\sigma$ es normalmente utilizado como el límite condenatorio para concentraciones de metales de desgaste.

9.1.5 análisis de fallas. Para que un motor Diesel presente un problema tienen que darse las siguientes fases: causa, síntoma y falla, las cuales se encuentran dentro del ciclo del desgaste de las piezas y componentes del motor. Para detectar la falla se debe conocer en qué etapa se encuentra, por lo que puede darse tres condiciones; inicio de la falla, posibilidad de detectar falla y falla. El análisis de aceite es una herramienta muy útil que permite detectar una falla potencial y trabajar para que no ocurra, o en su defecto prolongar el tiempo en que tarda la falla en desarrollarse.

De acuerdo con el análisis de la concentración de partículas, se puede evidenciar la presencia de metales en el aceite, por causa del desgaste (ver tabla 11), así mismo el análisis de aceite permite conocer la cantidad de contaminantes. Es por eso que se debe tener certeza de donde provienen estas partículas para determinar las causas del desgaste y de los elementos que podrían llegar a fallar.

Tabla 11. Procedencia de metales para algunos fabricantes de motores Diesel

metal	Fabricantes		
	Caterpillar	Wärtsilä	Cummins
Hierro	Camisas, segmentos, tren de válvulas, cigüeñal, bloque, empujadores, bulones, etc.	Camisas, segmentos, tren de válvulas, Cigüeñal, engranajes.	Camisas, segmentos, tren de válvulas, Cigüeñal, engranajes.
Cobre	Cojinetes de biela, de bancada, del bulón del pistón y del balancín.	Cojinetes	Cojinetes
Plomo	Cojinetes de biela y de bancada	Cojinetes de biela y de bancada	Cojinetes de biela y de bancada
Estaño	Cojinetes de biela y de bancada (recubrimiento trimetálico)	Cojinetes de biela y de bancada (recubrimiento trimetálico)	Cojinetes de biela y de bancada (recubrimiento trimetálico)
Cromo	Segmentos, camisas	Segmentos	Segmentos
Aluminio	Cojinetes de biela y de bancada. Pistones (ciertos modelos)	Contaminación con grasa	Contaminación con grasa, desgaste del bloque (según modelos), enfriador.
Silicio	Aditivos antiespuma, polvo atmosférico.	Aditivos antiespuma, polvo atmosférico, residuos catalíticos	Aditivos antiespuma, polvo atmosférico, residuos catalíticos

Níquel	----	Cojinetes, contaminación del combustible	Cojinetes, contaminación del combustible
--------	------	--	--

Fuente: TORMOS MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España. Editorial Reverte S.A. 2005. 310p

Identificar la contaminación: la contaminación es una de las fuentes más grandes de desgaste en el motor; determinando el origen de la contaminación se pueden tomar acciones para solucionarla, extendiendo la vida útil del aceite y por ende la de las piezas del motor. En la tabla 12, podemos apreciar las fuentes de donde pueden prevenir algunos de estos contaminantes.

Tabla 12. Elementos contaminantes encontrados en el aceite

Elemento	Fuente
Boro (B)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
Potasio (K)	Refrigerante
Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona, Siloxano de gas combustible
Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible

Fuente: MOBIL. Signum oil analysis condition-monitoring fundamentals [En línea] (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: <http://www.signumoilanalysis.com/signum-english/Files/signum-oil-analysis-condition-monitoring-fundamentals-english-uk.pdf>

9.1.6 Interpretación de los resultados de los análisis de aceite. Para realizar una correcta interpretación de los resultados se debe tener en cuenta varios factores como, por ejemplo:

- Conocer la composición del aceite que está utilizando el motor.
- Indicar si se ha adicionado aceite al motor durante el periodo de las tomas de las muestras.
- Tener conocimiento de las condiciones del motor, es decir si ha llegado a ser reparado, si se han realizado operaciones de mantenimiento durante su operación etc.
- Considerar que los cambios en la cantidad de partículas de desgaste son relativos llegando incluso a tener variaciones que pueden ser elevadas en proporción pero que pueden estar por debajo de los límites condenatorios.
- Si llegase a ser necesario tomar alguna medida correctiva por el resultado del análisis de aceite, lo ideal sería hacer una prueba después para confirmar que el problema se ha resuelto.
- Revisar los comentarios de los resultados de laboratorio para ver si hay condiciones especiales a las cuales haya que prestar atención.

9.1.7 implementación del análisis de aceite. Para llevar a cabo la ejecución del análisis se hace necesario contar con un laboratorio idóneo, en el cual se puedan realizar las pruebas de las muestras de aceites recolectados, así como también capacitar al personal para efectuar la toma del aceite, las cuales deben contar con una muestra significativa del aceite de operación del motor. Cabe anotar que una mala toma de las muestras puede alterar significativamente los resultados de las pruebas, además es indispensable saber interpretar los resultados de los análisis en aras de tomar las acciones pertinentes para lograr que el objetivo del programa de mantenimiento se cumpla, ya que de no ser así se puede poner en riesgo la vida útil del motor y con ello llegar a daños catastróficos para el funcionamiento del mismo.

9.2 CASO PARTICULAR MOTORES BAF Y ASOCIADOS LTDA.

De acuerdo con el motor seleccionado para llevar a cabo el programa de mantenimiento preventivo y predictivo. Un motor Diesel Cummins ISX el cual utiliza para su funcionamiento, aceite multigrado Maxter 15W40 Progresas de la compañía TERPEL, (ver propiedades Tabla 13); el cual supera los requerimientos Cummins CES20078.

Tabla 13. Propiedades del aceite Terpel Maxter Progresas 15W40

Características	SAE 15W40
Viscosidad, cSt a 100°C, ASTM D-445	15,50
Índice de viscosidad	135
TBN ASTM D-2896	9,9
Punto de inflamación, °C mínimo	230
Punto de fluidez, °C	-33
Viscosidad aparente a 20°C, Cp.	5500
Viscosidad, Cp, AT/AC* a 150 °C 10^6 s^{-1}	4,00
Secuencia I	0 / 0
Secuencia II	10 / 0
Secuencia III	0 / 0
Cenizas sulfatadas, % W (Peso). Max	1,00
Contenido azufre, % W (peso). Máx.	0,4
Contenido de fósforo, % W (peso)	0,10
Gravedad específica 15,6 °C	0,8755

Fuente: TERPEL. Terpel Maxter 15W-40 avanzado [En línea]. (Recuperado el 10 de agosto de 2017). Disponible en: https://www.terpel.com/Plantillas/Terpel/Descargables/lubricantes/Terpel_Maxter_15W-40_Avanzado%20CK4.pdf

Las muestras se tomaron luego de la operación en marcha del motor de aproximadamente 120 horas entre muestras, cada una en un recipiente limpio el cual se etiqueto con los datos correspondientes y se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis (ver figura 15).

Luego del análisis de laboratorio de cada una de las muestras se emitió un reporte en donde se encontraban los datos de condición del aceite como: viscosidad, contenido de agua, metales contaminantes, glicol, hollín, combustible, el contenido de contaminantes y el contenido de partículas de desgaste.

Figura 15. Toma de las muestras de aceite.



9.2.1 Resultados de los análisis de aceite. Las propiedades fisicoquímicas evaluadas en este análisis fueron:

- Viscosidad Cinemática. Normas ASTM D 445.
- Contenido de Agua, Combustible, Hollín Oxidación, Sulfatación, Nitración.
- Contenido de metales por espectrometría (emisión atómica). Metales de desgaste, metales de contaminación y metales de aditivo.

Los resultados entregados por el laboratorio (Ver tabla 14 y 15) revelan las condiciones reales del aceite, por lo que se puede llegar a tomar decisiones de extender o no su uso. El laboratorio emitirá unos límites condinatorios de acuerdo a los promedios que tenga en su base de datos, sin embargo, estos deben reajustarse de acuerdo al tipo de motor y a los límites establecidos por los fabricantes de cada uno de los motores.

Tabla 14. Ferrografía

Contenido de la Ferrografía- Emisión Atómica [ppm]									
Muestra	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na	K
N°1	1	1	2	20	1	0	4	12	1
N°2	1	1	3	20	1	1	6	12	1
N°3	1	2	3	35	1	1	9	12	1
N°4	1	2	3	53	1	1	15	12	1

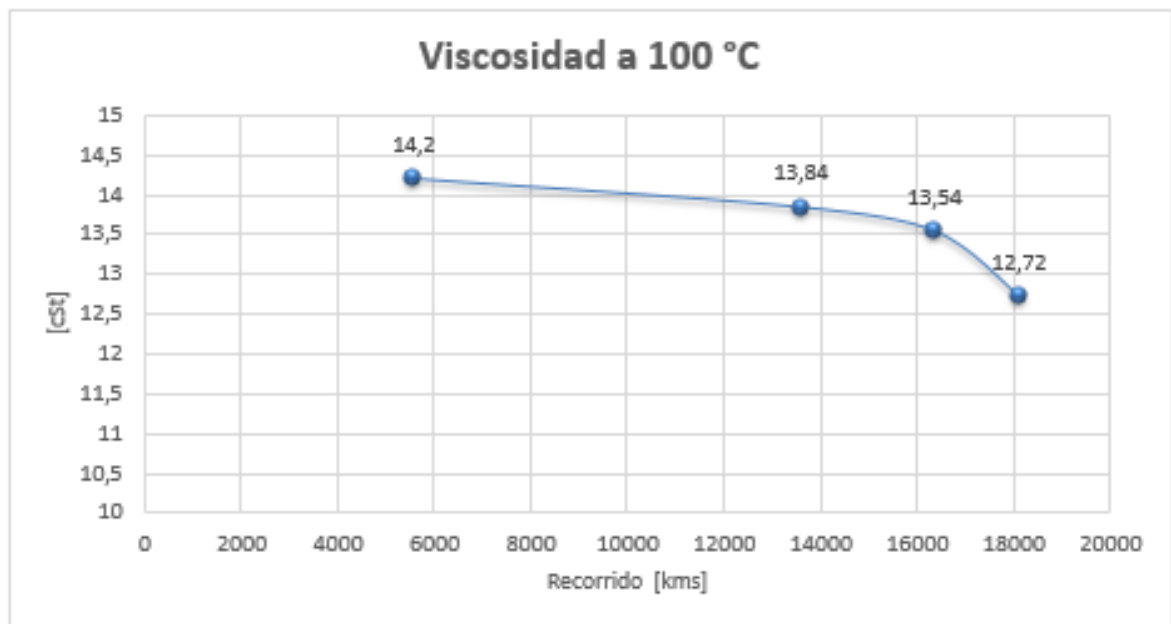
Tabla 15.. Resultados de Viscosidad y contenido de contaminantes

Reporte de Laboratorio – Viscosidad y contenido de contaminantes									
Muestra	Servicio Aceite	Viscos a 100°C	Hollín A/.1 mm	Oxidación A/.1 mm	Nitración A/.1 mm	Sulfatación A/.1 mm	Cont. % Comb	Cont. % Glicol	Cont. % Agua
	kms	ASTM D445	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR
N°1	5575	14,2	0,09	0,02	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00
N°2	13600	13,8	0,16	0,03	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00
N°3	16368	13,54	0,4	0,04	0,14	0,09	0,00	0,00	0,00
N°4	18112	12,72	0,7	0,07	0,17	0,12	0,00	0,00	0,00

9.2.2 Interpretación de los resultados del análisis de aceite. El objetivo primordial de analizar los resultados radica en conocer la condición de salud del aceite, así como también determinar el estado en el que se encuentra el motor. Teniendo en cuenta que los resultados de cada una de las propiedades del aceite presentados en las muestras del análisis de aceite, se mantenían en una tendencia de desgaste y degradación normal, se determinó aumentar el periodo de recambio del aceite, el cual estaba previsto para los 15.000 kms a 18.000 kms, extendiendo la vida útil del aceite. Luego de cumplir la meta de los 18.000 kms se volvieron a analizar los resultados; de los cuales se hace referencia a continuación.

En la figura 16, se puede evidenciar el comportamiento que presenta la viscosidad en Centistokes, de acuerdo con los kilómetros recorridos por el tractocamión.

Figura 16. ASTM D445-Viscosidad cinemática a 100 °C

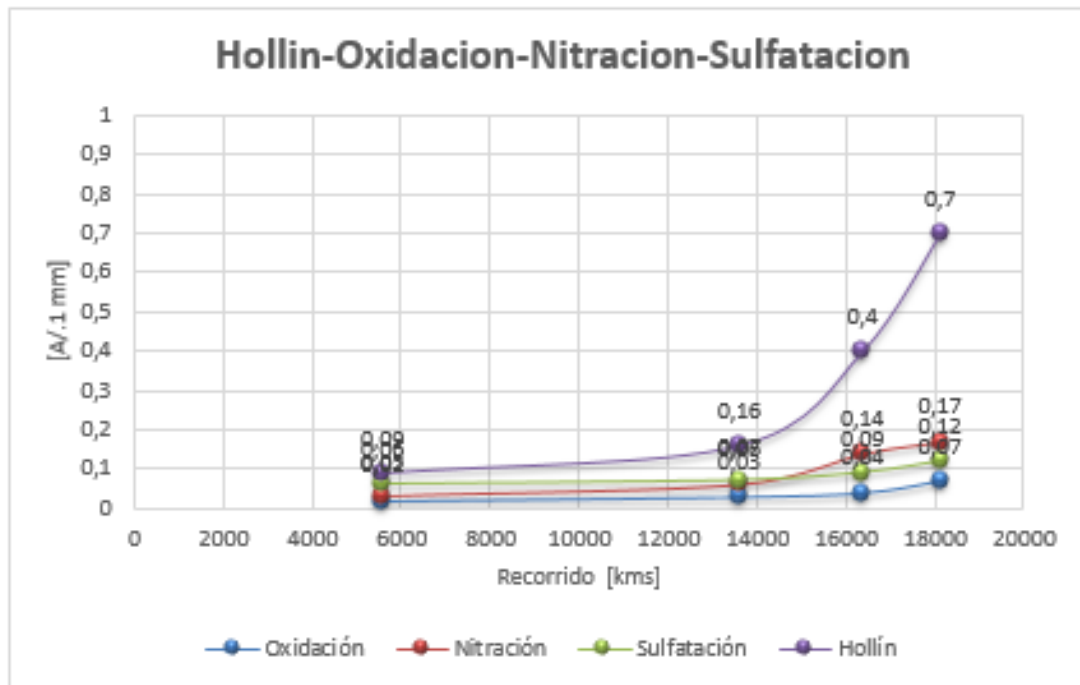


La viscosidad es una de las propiedades más importantes de los lubricantes, es por esta razón que se debe tener un control sobre su comportamiento. Como se puede apreciar en la gráfica, la viscosidad va disminuyendo en la medida en que se van aumentando los kilómetros recorridos. Para este caso el aceite Terpel Maxter 15W-

40 Progresas tiene un rango de viscosidades límite que están comprendidas dentro del rango de 11,5 – 19,3 cSt, por lo que de acuerdo con los resultados el aceite tiene una viscosidad adecuada para seguir en operación. Aun cuando la viscosidad tiene un descenso este no es muy considerable, de caso contrario esta disminución podría ser ocasionada por la exposición a altas temperaturas, por la contaminación del aceite con combustible o por degradación del aditivo que mejora la viscosidad en los aceites multigrados.

El hollín es uno de los principales alteradores de las propiedades del aceite, modificando su viscosidad, por lo que puede llegar a tener efectos no deseados en los cilindros, árbol de levas y cojinetes. De acuerdo con la figura 17, el hollín tiene un aumento considerable, aunque esto no tiene efectos de espesar el aceite aumentando su viscosidad. El contenido de hollín en un aceite indica problemas de combustión, o un intervalo de cambio de aceite excedido.

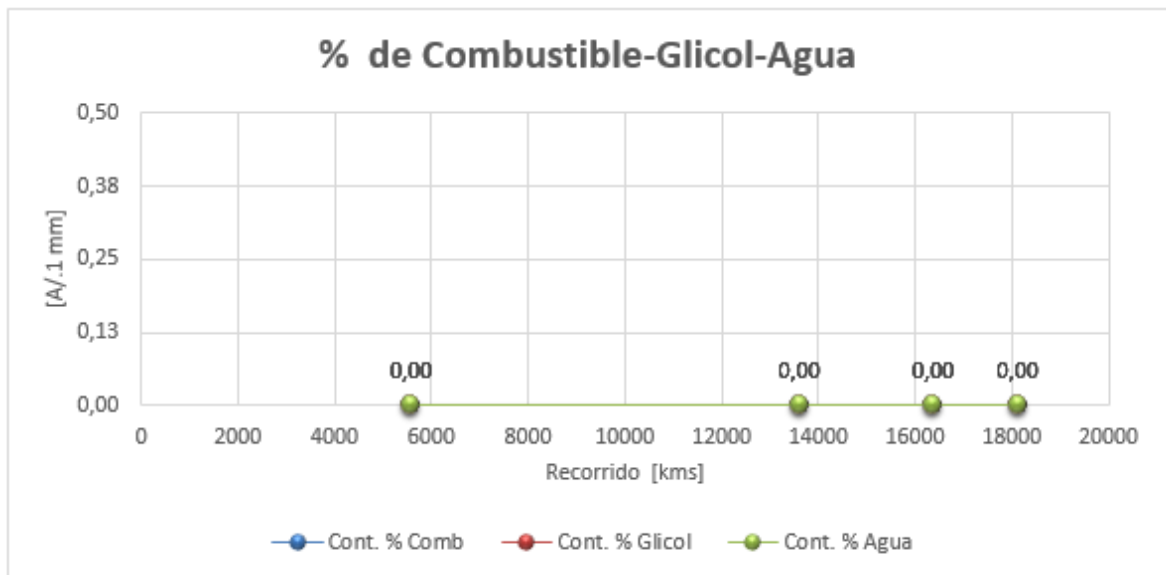
Figura 17. Concentraciones de Hollín - Oxidación -Nitración -Sulfatación



Por otra parte, la oxidación, nitración y sulfatación tienden a mantenerse estables. La oxidación podría darse por elevadas temperaturas de operación, humedad en el aceite o por partículas de aceite. En el caso de la nitración tiene un ligero aumento, aunque este no es muy considerable, de darse un elevado índice podría indicar que hay una mezcla pobre de aire – combustible, o también puede deberse a la mala circulación de los gases de escape. La sulfatación es normal dentro de la operación del motor debido al azufre que se encuentra en el petróleo, pero un índice elevado de sulfatación se debe a una mala sincronización del motor (relación aire/combustible) y a problemas en los anillos del pistón.

De acuerdo con los resultados obtenidos para los porcentajes de combustible, glicol y agua contenidos en la muestra (ver Figura 18) no se obtuvieron rastros en las muestras.

Figura 18. Porcentaje de elementos contaminantes.



Aun cuando el agua es un subproducto de la combustión, no es muy frecuente encontrar altas concentraciones o de ser así podría deberse a la presencia de anticongelante en el aceite. El glicol puede causar daños en las propiedades del aceite como puede ser modificar su viscosidad, lo que puede ocasionar

taponamientos de los filtros y deterioro de la película de lubricante. De llegar a presentarse se debe tener cuidado en alguna fuga y prestar atención a los niveles del refrigerante y del aceite.

Los metales de desgaste se dan de manera natural en el funcionamiento del motor Diesel; la velocidad con que estas partículas se generan depende en gran medida de la condición del aceite lubricante. En la Figura 19 se puede apreciar el comportamiento de los metales de desgaste

Figura 19. Concentración de metales por desgaste

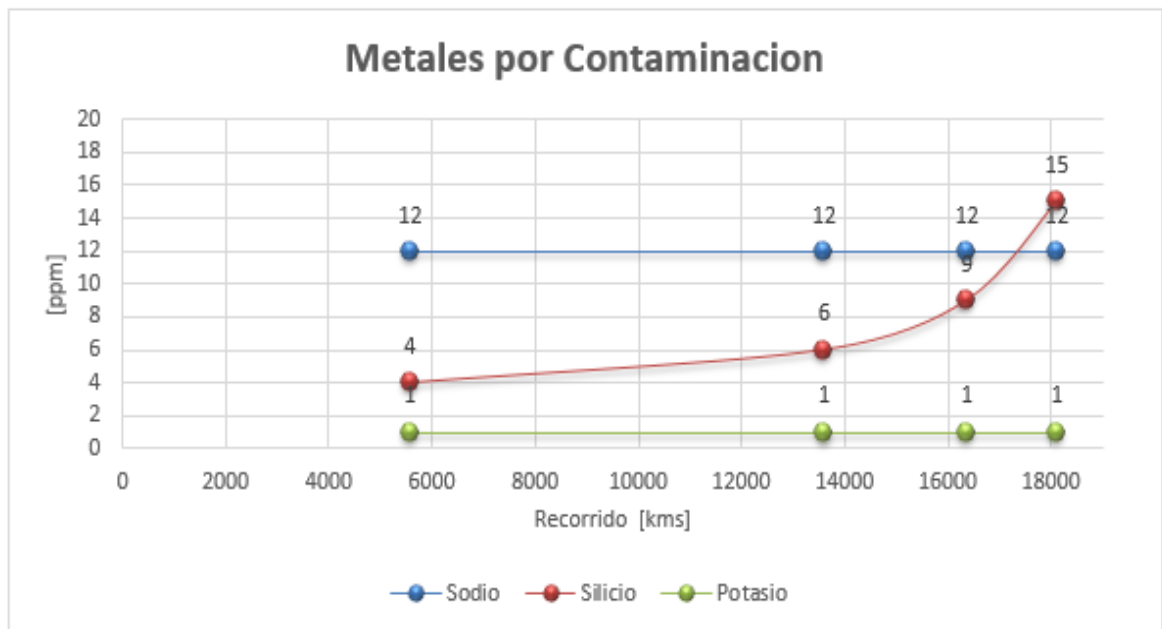


A excepción del hierro que presenta un incremento relativo, los contenidos del aluminio, cromo, cobre, plomo y estaño se mantienen constantes. El hierro proviene del desgaste de los anillos y de las paredes de los cilindros, del árbol de levas, de las válvulas, de la bomba de aceite y demás elementos que lo contienen (ver tabla 9). El aumento de la concentración de hierro puede deberse en gran manera a la pérdida de viscosidad del aceite, aunque estas concentraciones no representan peligro alguno por lo que pueden considerarse dentro de los niveles permisibles. El aluminio además de provenir del desgaste del motor también puede proceder de la

tierra y el polvo que absorbe el motor, por lo que este tipo de contaminante se puede contrarrestar controlando la entrada de silicio. En el caso de los otros metales (cromo, cobre, plomo y estaño) reflejan el desgaste natural de las piezas del motor, de presentarse un cambio se debe prestar atención.

Además de hablar de metales por desgaste también tenemos que hacer referencia a los que provienen de la contaminación (ver figura 20) en el caso del análisis de aceite presentado, podemos apreciar un incremento en el silicio y un comportamiento estable en el sodio y en el potasio, por lo que no presentan mayor detalle ya que no se han alterado desde la primera muestra de aceite. El aumento del silicio es clara evidencia de la presencia de tierra en el aceite, lo que podría darse por problemas derivados del suministro de aire al motor, dentro de los cuales está un posible daño en el filtro de aire. En este caso el silicio, está en el límite de las concentraciones permitidas por lo que se deben tomar acciones correctivas para contrarrestar su comportamiento.

Figura 20. Concentración de metales por contaminación.



La tabla 16 muestra una comparativa de los datos condenatorios suministrados por Cummins y los obtenidos de los análisis de laboratorio.

Tabla 16. Límites condenatorios para motores Cummins Vs muestras

		Unidades	Precaución	Critico	Muestra
Viscosidad a 100 °C	Incremento	cSt.	16	16,5	14,2
	Disminución	cSt.	13	12	12,72
Contaminación con agua		% Max.	0,1	0,2	0
Dilución por combustible		% Max.	5	5	0
Contaminación con glicol		% Max.	0,1	0,2	0
Metales por desgaste	Hierro	ppm Max.	65	84	53
	Cobre	ppm Max.	10	20	3
	Estaño	ppm Max.	2	20	1
	Aluminio	ppm Max.	10	15	1
	Plomo	ppm Max.	5	100	1
	Cromo	ppm Max.	4	15	2
Metales por contaminación	Potasio	ppm Max.	13	20	1
	Sodio	ppm Max.	13	20	12
	Silicio	ppm Max.	10	15	15
Oxidación	FTIR	A/.1 mm	0,15	0,2	0,06
Nitración	FTIR	A/.1 mm	0,15	0,2	0,11
Sulfatación	FTIR	A/.1 mm	0,15	0,2	0,9
Hollín	FTIR	A/.1 mm	0,45	0,9	0,7

Con los resultados obtenidos de las muestras se puede apreciar que gran parte de las propiedades fisicoquímicas del aceite se encuentran dentro de los límites condenatorios suministrados por el fabricante Cummins, a excepción del Silicio que se encuentra en un nivel crítico.

9.2.3 Determinación de la velocidad de desgaste. Para llevar a cabo la determinación de la velocidad de desgaste del motor tendremos en cuenta el método propuesto por Espinoza¹⁵ para evaluar cada uno de los metales de desgaste que se originan por el funcionamiento del motor. De acuerdo con los tiempos de operación del motor entre muestras (ver tabla 17). Se toma como punto de partida la primera muestra, para realizar el análisis de la progresión del desgaste del motor.

Como se puede apreciar en los resultados, la velocidad de desgaste para muchos de los metales es relativamente baja, lo que se considera un desgaste normal, dentro de las condiciones de operación estándar. Los datos de esta velocidad de desgaste no son muy concluyentes debido a que los periodos de las muestras no conservan intervalos de tiempo similares.

Tabla 17. Velocidad de desgaste del motor

muestra	Horas muestra	Velocidad de desgaste [ppm/hr]					
		Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn
N°2	93	0,00479	0.005274	0,005123	0,0718	0,00437	0,002928
N°3	134	0,004876	0,005929	0,005232	0,0732	0,004598	0,003045
N°4	47	0,004947	0,006113	0,005317	0,0747	0,004715	0,003118

Con estos datos de velocidad de desgaste se realizará un análisis de progresión del contenido de las concentraciones en el aceite, que se esperan durante la operación del motor (ver tabla 18).

¹⁵ ESPINOZA, H. La normalización de las concentraciones de partículas de desgaste en aceite aplicada a motores Diesel: Avances Investigación en Ingeniería. Bogotá. D.C. Julio, 2011, vol. 8, no. 2.

Tabla 18. Progresión del desgaste esperada

Concentraciones esperadas						
Muestra	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn
N°2	1	1	3	20	1	1
N°3	1	2	3	35	1	1
N°4	1	2	3	53	1	1

Como se puede apreciar los datos de concentraciones de desgaste esperadas, son aproximadamente los mismos, debido a que la velocidad de desgaste es muy baja para los metales presentes en el motor. Lo que se concluye, que el motor se encuentra dentro de la operación de funcionamiento normal. Cabe anotar que este estudio sería más determinante si se llegara a realizar con muchos más datos de muestras tomadas.

10. SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DIESEL ENGINE

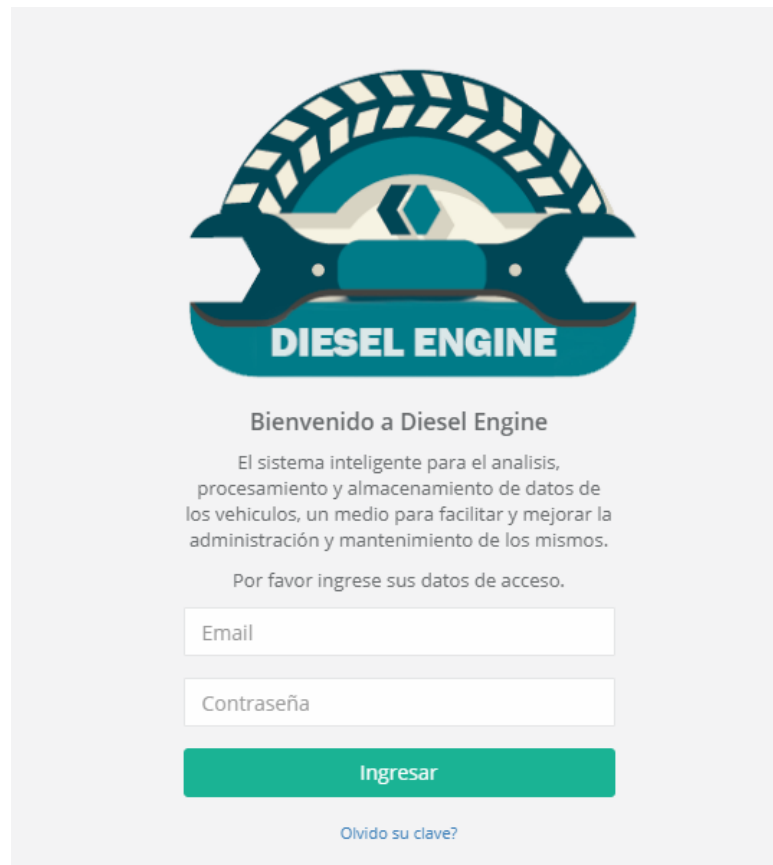
Para facilitar las tareas de mantenimiento se hace necesario el uso de herramientas que permitan mejorar de una manera más eficiente los procesos y las labores de manutención de los motores Diesel, en aras de mejorar la productividad y las ganancias de la compañía. De este principio nació la idea de un software que permita llevar a cabo estas tareas que facilitan el trabajo del mantenimiento de los motores Diesel, en el cual se pudiesen llevar un registro digital de las acciones de mantenimiento y de las tareas asociadas a estas, facilitando la evaluación y la productividad de las operaciones encaminadas al mantenimiento del motor Diesel.

10.1 PROGRAMA DIESEL ENGINE

Diesel Engine es un sistema gestor de mantenimiento, que tiene como objetivo garantizar que se realice un completo mantenimiento en el motor Diesel, de acuerdo con los requerimientos de los fabricantes y con la ayuda de una herramienta de diagnóstico como lo es el análisis de aceite, a mantener en buen estado la salud del motor, monitoreando sus condiciones de operación. Para ver más detalles consulte la página www.diesel-engine.co. (manual de uso Diesel Engine).

El programa cuenta con una interfaz amigable (ver figura 21) que permite la fácil interacción con cualquier sujeto, aun cuando no posea conocimientos exhaustivos en mantenimiento. Los menús se han diseñado para permitir al encargado del programa de mantenimiento lleva a cabo las tareas correspondientes de la manera más eficaz posible

Figura 21. Interfaz de inicio de Diesel Engine



10.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Como definición, un sistema de información es un conjunto organizado de varios recursos físicos y lógicos que se integran para llevar a cabo diferentes funciones cuyos resultados llevan al cumplimiento de los objetivos de las organizaciones. Un sistema de información se encarga de proporcionar todos los datos y archivos a todos los miembros de la organización con el fin de apoyar las actividades de Planificación, control y toma de decisiones¹⁶.

¹⁶ LAUDON, Kenneth C y LAUDON, Jane P. Sistemas de información gerencial. 8va Edición. Pearson Educación, México, 2004.

Las actividades básicas que realiza un sistema de información son: entrada, almacenamiento, procesamiento y salida de información¹⁷.

Entrada de información: Se refiere a la acción del sistema de información en la que toma los datos que este requiere para procesar. Las entradas que se proporcionan en forma directa por el usuario se identifican como manuales mientras que los datos e información que provienen o que son tomados de otros sistemas o módulos se entienden como entradas automáticas.

Almacenamiento de información: El almacenamiento es una capacidad física que tiene una gran importancia ya que gracias a esta propiedad el sistema puede acceder a la información cuando lo necesite. Actualmente las unidades básicas de almacenamiento son los discos duros, magnéticos y los discos con capacidad de extracción como los compactos.

Procesamiento de información: Es la capacidad para efectuar cálculos y operaciones con la información que se posea. Esta característica sirve para la transformación de datos fuente en información que generalmente se usa para la toma de decisiones de los sistemas y ayuda a los usuarios del mismo simplificando labores complicadas.

Salida de información: Es la capacidad para sacar la información procesada del sistema. La característica especial de esta cualidad es que la salida de datos de un sistema puede constituir la entrada a otro sistema de información.

10.2.1 MODELO MVC

¹⁷ SENN, James. "Análisis y diseño de sistemas de información". 1ra Edición. Mc Graw Hill. 1990

Es una aproximación y arquitectura de software¹⁸ que separa la lógica de la aplicación de la parte gráfica y presentable. Al separar la presentación del código PHP, las páginas web creadas con MVC presentan poca codificación y mayor orden.

Modelo: Representa la estructura de datos. Las funciones y clases creadas aquí contendrán características que ayudarán a recuperar, insertar y actualizar información en la base de datos.

Vista: Se refiere a la información que es presentada al usuario mediante la interfaz gráfica del sistema que en nuestro caso sería la página web. Es básicamente con lo que los actores del sistema interactúan.

Controlador: Sirve como un intermediario entre el Modelo, la Vista y cualquier otro recurso necesario para procesar la petición HTTP y generar una página web.

10.2.2 CODEIGNITER. El sistema o módulo web se desarrollará con CodeIgniter, un framework perfeccionado para la creación de cualquier tipo de herramienta o aplicación web bajo PHP¹⁹. Es un producto de código libre, abierto al uso de cualquier aplicación.

Este Framework contiene muchas ayudas para la creación de aplicaciones PHP avanzadas, que hacen que el proceso de desarrollo sea más rápido. A la vez, define una arquitectura de desarrollo que hará que la programación se vea más ordenada y contiene diversas herramientas que ayudan a hacer aplicaciones más versátiles y seguras.

¹⁸ SENN, James. "Análisis y diseño de sistemas de información". 1ra Edición. Mc Graw Hill. 1990

¹⁹Hypertext pre-processor. Manual en español. [En línea]. < <http://php.net/manual/es/>> [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2014].

Tenemos ante nosotros una herramienta que nos trae muchos beneficios como desarrollador, ayudándonos a crear aplicaciones web más profesionales y con código más reutilizable. Está creado para instalarse fácilmente en cualquier servidor.

CodeIgniter contiene una serie de librerías que sirven en el desarrollo de aplicaciones web y además propone una metodología de avance que se debe cumplir para obtener el mayor provecho de la aplicación. Esto es, marca una manera específica de codificar las páginas web y clasificar sus diferentes scripts, lo cual sirve para que el código esté organizado y sea más fácil de crear y mantener. Este framework implementa el proceso de desarrollo Model View Controller (MVC).

Se toma la decisión de trabajar con este framework ya que es una herramienta poderosa, pues presenta características específicas importantes, las cuales contribuirán a la creación de un sistema web elegante y robusto.

10.2.2.1 Características de CodeIgniter

Versatilidad: Es la característica principal de este framework, ya que CodeIgniter es capaz de trabajar con la mayoría de los entornos o servidores, incluso en sistemas de alojamiento compartido donde sólo tenemos un acceso por FTP para enviar los archivos al servidor.

Compatibilidad: Desde la versión 2, CodeIgniter solamente es compatible con la versión 5 de PHP. Si existen usuarios que todavía usen PHP 4, pueden descargar una versión antigua del framework como CodeIgniter V1.7.3, que aún es compatible. Estas versiones están en la página de descargas de CodeIgniter.

Facilidad de instalación: solamente se necesita una cuenta de FTP para subir CodeIgniter al servidor y su configuración se realiza con apenas la edición de un

archivo, donde debemos modificar características como el acceso a la base de datos. Durante la configuración no necesitaremos acceso a herramientas como la línea de comandos, que no suelen estar disponibles en todos los alojamientos.

Flexibilidad: CodeIgniter es bastante menos rígido que otros frameworks. Define una manera de trabajar específica, pero en muchos de los casos podemos seguirla o no y sus reglas de codificación muchas veces nos las podemos saltar para trabajar como necesitemos. Algunos módulos como el uso de plantillas son totalmente opcionales.

Ligereza: El núcleo de CodeIgniter es bastante ligero, lo que permite que el servidor no se sobrecargue interpretando o ejecutando grandes porciones de código. La mayoría de los módulos o clases que ofrece se pueden cargar de manera opcional, sólo cuando se van a utilizar realmente.

Documentación tutorializada: La documentación de CodeIgniter es fácil de seguir y de asimilar porque está escrita en modo de tutorial. Esta característica facilita el rápido aprendizaje de las funcionalidades de la herramienta.

10.2.3 MYSQL. Es la base de datos de código abierto más popular del mundo, líder en bases de datos para aplicaciones basadas en web. Básicamente Mysql²⁰ es un sistema de base de datos relacional de multihilo o multiusuario, lo que le permite ser usado por varios usuarios al tiempo, así como también realizar varias consultas a la vez, haciéndolo muy práctico. Gran parte del código está escrito en lenguaje C/C++ y su uso es bastante simple, lo que permite crear bases de datos simples o complejas, además es compatible con muchas plataformas informáticas.

Mysql trabaja con un sistema gestor de datos que permite realizar cambios y se ejecuta en toda la estructura de datos que se comparte en la red. Además, permite

²⁰ MYSQL. Acerca de MySQL. [en línea]. (Recuperado en 2 de septiembre de 2017). Disponible en: <https://www.mysql.com>

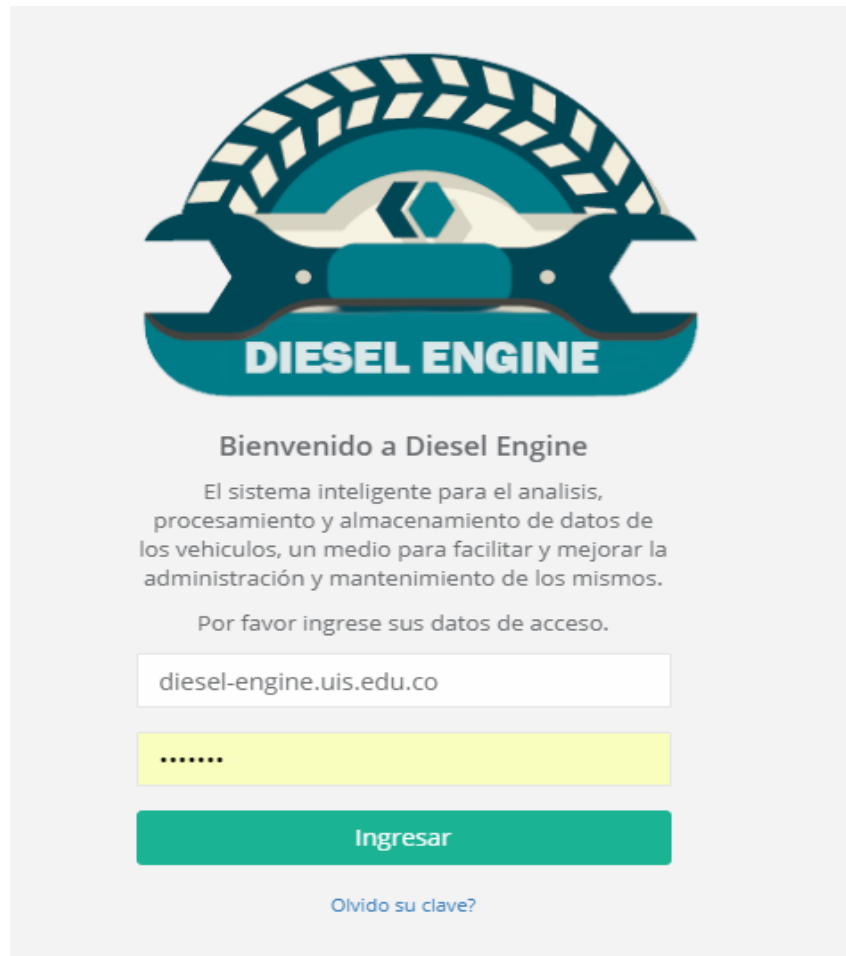
incluir información rápidamente en un sitio web, utilizando un simple formulario, sin tener que modificar el código del website. Combinado con PHP, se convierte en una herramienta poderosa para realizar aplicaciones cliente/servidor, que requieran el uso de una base de datos rápida, segura y potente.

10.3 DISEÑO DE DIESEL ENGINE

A continuación, se hará referencia al diseño del programa DIESEL ENGINE y a algunos de sus módulos. Para más detalle referirse a la página www.diesel-engine.co. (Manual de uso Diesel Engine).

10.3.1 Ingreso al sistema y exploración de menús. Para acceder al programa se debe referirse a la página web: www.diesel-engine.co. Una vez allí el programa mostrara una ventana con el logo del programa, un mensaje de bienvenida al software con una breve reseña y unos campos para ser diligenciados (Email y contraseña). Para poder entrar al programa se necesita que el usuario este registrado por el administrador del programa, el cual le asignara una contraseña de acuerdo con un correo administrado. Con los campos llenos se puede ingresar al sistema (ver figura 22).

Figura 22. Ingreso a Diesel Engine



DIESEL ENGINE

Bienvenido a Diesel Engine

El sistema inteligente para el análisis, procesamiento y almacenamiento de datos de los vehículos, un medio para facilitar y mejorar la administración y mantenimiento de los mismos.

Por favor ingrese sus datos de acceso.

diesel-engine.uis.edu.co

.....

Ingresar

[Olvido su clave?](#)

Luego de ingresar los datos en el programa se direcciona al usuario a la página principal de DIESEL ENGINE, en donde encontrará un mensaje de bienvenida y todos los menús utilizados por el programa (ver figura 16). En el lado superior izquierdo se verán los datos del usuario que ingreso al sistema, así como también una imagen del usuario, si llegase a tener. Mas abajo encontraremos los menús de inicio, información vehículo y información mantenimiento.

En el menú de **inicio** encontraremos cuatro (4) submenús (ver figura 23) nombrados a continuación:

1. Creación de un nuevo vehículo con su correspondiente información.
2. Consultar y actualizar toda la información almacenada sobre un vehículo.
3. Crear, revisar y actualizar el plan y programa de mantenimiento de los vehículos.
4. Consultar los reportes de análisis de Laboratorio.

Figura 23. Página principal de Diesel Engine



En el menú de **información del vehículo**, encontraremos tres (3) submenús que corresponden a:

- Crear vehículo
- Consultar vehículo
- Actualizar kilometraje

Desde cualquiera de estos submenús se podrá hacer el ingreso, a crear un vehículo, a consultar los datos del vehículo y a actualizar los datos de kilometraje (ver figura 24).

Figura 24. Menú de información del vehículo.

Creación de un nuevo vehículo

Inicio / Administración de Vehículos / Crear nuevo vehículo

CREACIÓN DE UN NUEVO VEHICULO EN EL SISTEMA DE DIESEL ENGINE

FORMULARIO PARA LA CREACIÓN E INGRESO DE UN NUEVO VEHICULO

Por favor complete el siguiente formulario para realizar la creación de un nuevo vehículo.

1. Datos del Vehículo 2. Datos de Operacion

Placa del Vehículo	Modelo del Vehículo	Número de Motor
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Número de Chasis o Serie	Clase de Vehículo	Marca del Vehículo
<input type="text"/>	Tractomula	<input type="text"/>
Capacidad	Cilindraje/Vatios	Tipo de Combustible
<input type="text"/>	<input type="text"/>	Diesel

En el menú **información de mantenimiento**, se encontrarán dos submenús:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

Desde aquí se podrán registrar los mantenimientos realizados durante las actividades planeadas (ver figura 25), mediante dos ventanas destinadas al ingreso de los datos. En la ventana de mantenimiento predictivo, el usuario podrá consultar los resultados y el archivo histórico de los análisis de aceite realizados durante el desarrollo del programa de mantenimiento, lo que le permitirá tomar decisiones de acuerdo a las alarmas emitidas por el sistema.

Figura 25. Ventana información del mantenimiento

The screenshot displays a web application interface for vehicle maintenance. On the left is a dark sidebar with a user profile for 'Jorge Ismael, Administrador' and a menu with options: 'Inicio', 'Información Vehículo', and 'Info Mantenimiento' (which is expanded to show 'Mantenimiento Preventivo' and 'Mantenimiento Predictivo'). The main content area has a header with logos for 'DIESEL ENGINE' and 'BAF', and the user's name 'Jorge Ismael Redondo Sarmiento' with notification icons and a 'Salir' button. Below the header, the page title is 'Mantenimiento vehiculo' with a breadcrumb trail: 'Inicio / Mantenimiento vehiculo / Registrar Mantenimiento'. The main section is titled 'REGISTRO DE MANTENIMIENTO' and contains a form titled 'FORMULARIO PARA REGISTRAR EL MANTENIMIENTO REALIZADO'. A sub-header asks the user to complete the form. There are two tabs: '1. Datos del Vehículo' (highlighted in green) and '2. Datos del Mantenimiento'. The active tab contains several input fields: 'Acción Realizada' (a dropdown menu with 'Cambio de Aceite' selected), 'Placa del Vehículo' (a text input field), 'Odometro del Vehículo' (a text input field), 'Horas del Motor Estimadas' (a text input field), 'Vigencia TecnicoMecanica' (a date input field with 'dd/mm/aaaa' placeholder), and 'Vigencia SOAT' (a date input field with 'dd/mm/aaaa' placeholder).

10.4 SISTEMA DE ANÁLISIS

El sistema de Diesel Engine utiliza los valores condensorios de Cummins (caso particular) para hacer un análisis de los resultados y de acuerdo con los datos obtenidos en los resultados de las muestras, emitirá una alerta o no, del riesgo que presenta cada una de las propiedades que se analizaron. El programa permite el ingreso de limites condensorios de acuerdo al fabricante del motor Diesel, para que los valores sean evaluados correctamente.

10.5 SISTEMA DE DIAGNOSTICO

De presentarse algún cambio en la tendencia del comportamiento de las propiedades del aceite, o en el caso de encontrarse alguna alteración significativa, el programa emitirá una alerta (ver figura 26), o un concepto de sugerencia para que el operario o quien haga uso del programa mantenga en buenas condiciones el mantenimiento del motor.

Figura 26. Alertas resultantes del análisis de aceite.

Historial Mantenimiento Predictivo

Información Vehículo / Historial Mantenimiento Predictivo

LISTADO DE ANALISIS ACEITE / MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Alertas resultantes del Analisis del Aceite

Si. Posible ingreso de tierra por el sistema de filtrado de aire, causando desgaste de los componentes en especial en la cámara de combustión. Recomendaciones: Se recomienda revisar las condiciones de funcionamiento del motor, corregir el ingreso de tierra, revisar el estado del filtro del aire.

Fecha	Cod Lab	Hollin	Km Aceite	Viscosidad	Sulfatac	oxidation	Nitracion	Humedad	Combustible	Glicol	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na	K
2017-10-14	2420	0.7	18112	12.72	0.12	0.07	0.17	Seco	0	0	1	2	3	53	1	1	15	12	1

Copyright Example Company © 2014-2017

10GB of 250GB Free.

Estas sugerencias (ver figura 27), buscan que se hagan cambios o alteraciones que logren corregir las falencias que está teniendo el aceite.

Figura 27. Diagnóstico y alertas resultantes del análisis de aceite

Historial Mantenimiento Predictivo

Información Vehículo / Historial Mantenimiento Predictivo

LISTADO DE ANALISIS ACEITE / MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Alertas resultantes del Analisis del Aceite

Alta viscosidad. Efecto: Depósitos o sedimentos perjudiciales, restricción del flujo de aceite, recalentamiento del motor, aumento de los costes de explotación. Remedio: Compruebe la mezcla de aire y combustible, compruebe si el grado de aceite es incorrecto, inspeccione las juntas internas, compruebe la temperatura de trabajo, compruebe si hay fuga en los inyectores, compruebe si los tubos transversales de combustible están flojos, evalúe las condiciones de trabajo.

Alto contenido de Hollin. Efecto: Bajo rendimiento del motor, poco ahorro de combustible, depósito o sedimentos perjudiciales, aumento del desgaste de los componentes, depósito de carbonilla, filtros atascados. Remedio: Asegúrese de que los inyectores funcionen correctamente, compruebe los filtros/emisión de aire, intervalos de cambios de aceite prolongados, compruebe la compresión, evite el ralenti excesivo, inspeccione las condiciones de conducción/funcionamiento, compruebe la calidad del combustible.

OXIDACIÓN. Efecto: Disminución de la duración de los equipos, depósito de laca, taponamiento de los filtros de aceite, aumento de la viscosidad del aceite, corrosión de piezas metálicas, aumento del coste de explotación, aumento del desgaste de los componentes, disminución del rendimiento de los equipos. Remedio: Use un aceite con aditivos inhibidores de la oxidación, acorte los intervalos de cambio de aceite, compruebe las temperaturas de trabajo, compruebe la calidad del combustible, evalúe la utilización de los equipos en función del diseño, evalúe las condiciones de trabajo.

Nitración. Efecto: Oxidación acelerada, formación de productos derivados ácidos, aumento del desgaste de cilindros y válvulas, espesamiento del aceite, depósitos en la cámara de combustión, aumento de TAN. Remedio: Aumento de la temperatura de trabajo, compruebe las válvulas y los tubos de ventilación del cigueñal, asegúrese de trabajar con una mezcla de aire y combustible correcta, lleve a cabo un ensayo de comprobación de compresión o pérdida de compresión de los cilindros.

Sulfatación. Se presenta debido al producto de la combustión, se deja ver bajo niveles altos que indica mezcla de combustibles pobres.

Contaminación por combustible. Efecto: Contacto de metal con metal, lubricación insuficiente, desgaste de cilindros/segmentos, aditivos descompuestos, disminución de la presión de aceite, menor ahorro de combustible, menor rendimiento del motor, disminución de la vida útil del motor. Remedio: Compruebe los tubos de combustible, mida la temperatura de los cilindros, segmentos desgastados, fugas en los inyectores, sellos y bombas, examine las condiciones de conducción o trabajo, compruebe la distribución, evite el ralenti prolongado, compruebe la calidad del combustible, repare o sustituya las piezas desgastadas.

Glicol. Efecto: Avería del motor, Viscosidad elevada, lubricación incorrecta, Corrosión, Formación ácida. Reducción de la eficacia de aditivos. Remedio: Apriete los tornillos de culata, Compruebe la junta de culata, Inspeccione el intercambiador de calor/refractor de aceite, Evalúe las condiciones de trabajo, Compruebe la presión del sistema de enfriamiento, Compruebe la existencia de fuentes externas de contaminación.

Si. Posible ingreso de tierra por el sistema de filtrado de aire, causando desgaste de los componentes en especial en la cámara de combustión. Recomendaciones: Se recomienda revisar las condiciones de funcionamiento del motor, corregir el ingreso de tierra, revisar el estado del filtro del aire.

Fecha	Cod Lab	Hollin	Km Aceite	Viscosidad	Sulfatac	oxidation	Nitracion	Humedad	Combustible	Glicol	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Sn	Si	Na	K
2017-10-19	2324	2	23	12	32	32	Seco	2	3	0	2	0	0	8	0	15	2	3	

Busqueda en Windows

Por ejemplo, un elevado índice de silicio es claro indicador de que al sistema de admisión de aire le está ingresando tierra o algún contaminante similar; esto podría deberse a un daño en el sistema de aire del motor o alguna grieta o mal estado de los empaques que se encuentran distribuidos, por lo que el programa emitirá una sugerencia de “Se recomienda revisar las condiciones de funcionamiento del motor, corregir el ingreso de tierra, revisar el estado del filtro de aire”.

11. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE USO DEL ANÁLISIS DE ACEITE

El análisis de aceite es una herramienta de mantenimiento predictivo que permite optimizar las acciones de manutención de los motores Diesel con un bajo costo de inversión. En consecuencia, se pueden obtener muchos beneficios de la implementación de un sistema de análisis de aceite, ya que pensando a futuro el análisis de aceite puede controlar muchas de las averías derivadas de una mala operación del motor y evitar paradas imprevistas que pueden ocasionar pérdidas económicas representativas.

Debido a que las compañías distribuidoras de aceites incluyen el análisis de aceite gratuitamente, así como también los recipientes para la recolección de las muestras dentro de sus servicios posventa, no se generan costos derivados del análisis, por lo que se está aprovechando de un servicio que no tiene ningún costo para la empresa.

Una de las ventajas del programa de Análisis de Aceite radica en la extensión del tiempo de uso del aceite para el motor, ya que este se cambia de acuerdo su estado de salud y no de acuerdo con los periodos de cambio programado, lo cual trae consigo un ahorro significativo. A demás que mediante el análisis de aceite se logra conocer el estado real del motor, con lo cual se puede llegar a tomar acciones para corregir las posibles fallas que pueden ocurrir por el mal funcionamiento.

El análisis de aceite trae beneficios económicos a mediano plazo, al extender el tiempo de uso del aceite (ver tabla 19). En el estudio realizado se logró prolongar el cambio del aceite en un 20 % del periodo de cambio recomendado, al no encontrar problemas considerables con la calidad de las propiedades del aceite.

Tabla 19. Análisis Técnico - Económico del uso de A. A

Motor Diesel	Periodo de cambio programado	Periodo de cambio de acuerdo con el A. A.	Ahorro generado durante el A. A.
Cummins ISX	15000 kms	18000 kms	3000 kms
Ítem – Descripción			Precio
Filtro de aire			\$180.000
Filtros de combustible			\$136.000
Filtros de aceite			\$220.000
11 galones por el cambio de aceite			\$545.000
Costo total del cambio de aceite			\$1081.000
Ahorro generado durante A. A		20%	\$216.200

Este aumento en el tiempo de cambio del aceite logro un ahorro del 20% de los costos, representados en \$216.200 MCTE, lo que es significativo para la economía de la empresa, además de los beneficios económicos por la prolongación de la vida útil del aceite, se pueden detectar fallos futuros en los componentes constitutivos que provocan mantenimientos correctivos, reduciendo los costos de reparación. Todo esto gracias a las pruebas que permiten de manera temprana identificar problemas de los componentes del motor antes de que se vuelvan más serios.

12. CONCLUSIONES

- Las técnicas de mantenimiento aplicadas en la actualidad a flotas de transporte están centradas en el mantenimiento preventivo y predictivo, buscando disminuir la ocurrencia de fallas catastróficas mediante el seguimiento de las condiciones de operación de los motores Diesel con los que operan dichas flotas, dejando atrás el mantenimiento correctivo el cual genera grandes pérdidas de tiempo y dinero. Destacándose dentro de estas técnicas el análisis de aceite, vibraciones y termografía.
- Gracias a la clasificación e identificación de los vehículos los cuales son dos tractocamiones, un camión y dos camionetas, obteniendo cuatro tipos de motores diferentes con los que dispone la compañía BAF & ASOCIADOS LTDA, se logró diferenciar las condiciones de operación que se presentan en cada uno, así como las configuraciones que utilizan para su funcionamiento.
- De acuerdo con la norma ISO 9001-2008 se pudo evidenciar que BAF & ASOCIADOS LTDA no cuenta con un programa integral para el mantenimiento de infraestructura, en este caso para vehículos de transporte que utiliza la compañía para las operaciones de logística, por lo tanto se hace necesario realizar un seguimiento e implementación de un programa de gestión para los registros de mantenimiento, y así tener un control más detallado del estado de los vehículos, de los costos y de las acciones que se realizan para el mantenimiento de los motores.
- Con los resultados obtenidos en los análisis de fallas y de criticidad se observa que un 26,7% de las fallas en los componentes es crítico, los principales componentes críticos corresponden especialmente a los sistemas de lubricación y de combustible, dejando en evidencia que la bomba de aceite obtiene un índice de criticidad de 108, pues es de saberse que al no funcionar esta, puede generar

fuertes daños internos en el motor, por esta razón se hace necesario centrar las acciones de mantenimiento y procurar que el sistema funcione adecuadamente para garantizar el buen funcionamiento del motor, y que opere en óptimas condiciones evitando daños severos en todos los componentes en general.

- En la elaboración del sistema de gestión de mantenimiento preventivo y predictivo para motores de vehículos de transporte se realizó un programa que permite controlar y monitorear la información histórica y actual de los vehículos, también mediante la utilización de herramientas computacionales nos ayuda a obtener un análisis de aceite de acuerdo a los resultados que se obtiene de los análisis de los laboratorios especializados para este tipo de trabajo, generando de acuerdo a estos resultados las recomendaciones pertinentes del estado del motor, buscando eliminar las causas de las fallas detectándolas a tiempo evitando paradas repentinas y prologando la vida del motor.
- Al aplicar el plan de mantenimiento propuesto se pudo comprobar el fallo del filtro de aire del motor, lo que se evidencio en la evolución de las muestras del análisis de aceite, más exactamente en el aumento de la sílice en las muestras, por lo que se tomaron acciones para evitar posibles daños futuros; También se logra extender la vida útil del aceite en más de 3000 Km, cumpliendo con la finalidad del mantenimiento predictivo en análisis de aceite.
- La implementación adecuada del sistema de gestión para el mantenimiento de motores, así como también el programa de análisis de aceite permiten reducir los costos en un 20% o más extendiendo la vida útil en cada cambio de aceite, al igual que disminuye los gastos de mantenimiento, y prolongando el tiempo de reparación del motor. Esta técnica es muy útil y se puede realizar a muy bajos costos eh incluso de manera gratuita dependiendo de los fabricantes de los motores o de los proveedores de los aceites lubricantes.

13. RECOMENDACIONES

- Con la implementación del plan de mantenimiento se debe capacitar al personal en los procedimientos de mantenimiento preventivo planteados y en el muestreo de aceite, además de informar en los reportes acerca de los rellenos de aceite, así como de los cambios en las condiciones de operación del motor Diesel.
- Mediante las rutinas de mantenimiento indicadas se pueden llegar a evitar muchas las fallas presentadas en los motores de vehículos de transporte. En el caso estudiado se recomienda realizar el cambio del filtro de aire, pues, se presenta el nivel de sílice en sus límites condenatorios, de no hacerse se presentarán desgastes elevadas en la cámara de combustión.
- El análisis de aceite por sí solo no funciona como instrumento de mantenimiento, debe acompañarse de una buena interpretación de los resultados y de un estudio de la evolución de cada una de las propiedades que se evalúan en el análisis, para determinar cuáles son las acciones correctas de mantenimiento a seguir y detectar cuales son las posibles causas y los efectos que afectan el buen desempeño y funcionamiento del motor.
- Para determinar la velocidad de desgaste del motor, se hace necesario contar con una buena base de datos de los análisis de aceite del motor, que realmente representen la tendencia que tiene el comportamiento de los metales de desgaste del mismo para llevar un continuo conteo de particular y así analizar la cantidad de material desprendido a causa del desgaste.

BIBLIOGRAFÍA

BANKS, Jeffrey. HINES, Jason. LEBOLD, Mitchell. CAMPBELL, Robert. BEGG, Colin y BYINGTON, Carl. Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines. New Frontiers in Integrated Diagnostics and Prognostics. Proceedings of the 55th Meeting of the Society for Machinery Failure Prevention Technology. Virginia Beach, Virginia, April 2 – 5, EE.UU. 2001.

BECK, Jhon W. HUBERT, Christopher J. y JOHNSON, John H. A model and the methodology for determining wear particle generation rate and filter efficiency in a Diesel engine using ferrography. Swansea. 1982

BORUSAN. Scheduled Oil Sampling - S.O.S. [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.bmgs.com.tr/machines/customer-support/equipment-management/condition-monitoring/sos.aspx>

CHACÓN V, Jorge L. MACIÁN M, V. OLMEDA G, Pablo. y TORMOS M, Bernardo. Diagnóstico de motores de combustión interna alternativos mediante el análisis de las oscilaciones del bloque. Revista UIS Ingenierías: Bucaramanga, Colombia. vol. 1, no. 2. (noviembre 2002). 11-15 p

CLEVELAND, Cutler J. Encyclopedia of energy. internal combustion (gasoline and diesel) Engines. No. 27 (17 Julio, 2013); 179–188p. ISBN: 978-0-12-176480-7

COMO FUNCIONA UN AUTO. La guía definitiva sobre cómo funcionan los coches. [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.comofuncionaunauto.com>

CUMMINS. ISX and signature EGR [En línea]. (Recuperado el 14 de agosto de 2017). Disponible en: <https://www.freightliner.com.au/Content/Uploads/CMS/ISX-and-Signature-EGR%20PDF.pdf>

DELL, Ronald M. MOSELEY, Patrick T y RAND, David A. Towards sustainable road transport. Londres: Academic Press, 2010. 109p.

ENGINE BUILDER. The Cummins ISX Engine Generates Strength [en línea]. (Recuperado el 10 de agosto de 2017) Disponible en: <http://www.enginebuildermag.com/2014/07/generating-strength-cummins-isx-engine/>

ESPINOZA, H. La normalización de las concentraciones de partículas de desgaste en aceite aplicada a motores Diesel: Avances Investigación en Ingeniería. Bogotá. D.C. Julio, 2011, vol. 8, no. 2.

FYGUEROA S, Simón J. MORENO C, Gonzalo G. y SERRANO R, Juan C. Método para corregir las concentraciones metálicas medidas en muestras de aceite. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada: Pamplona, Colombia. 2007, vol. 2, no. 10. ISSN: 1692-7257

FYGUEROA S, Simón J. Técnicas de seguimiento de estado de motores Diesel. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada: Pamplona, Colombia. 2005, vol. 1, no. 5. ISSN: 1692-7257

GREUTER, Ernst. ZIMA, Stefan. Engine failure analysis. warrendale, Pennsylvania: SAE International, 2012.

GUEDES SOARES, Carlos. Non-periodic preventive maintenance with reliability Thresholds for Complex Repairable Systems. En: Reliability Engineering & System Safety. No. 17 (21 Abril, 2014); p. ISSN 0951-8320

HEDERA CONSULTORES. Calidad y gestión empresarial. ISO 9001 e ISO 14001. [en línea]. (Recuperado en 12 de agosto de 2007). Disponible en:<http://hederaconsultores.blogspot.com.co/2009/10/infraestructuras-segun-iso-90012008.html>

HEYWOOD J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988

HIDALGO B, Elio R. El Diagnóstico técnico por análisis de tendencia, técnica para evaluar el estado de condición de un equipo. Aplicación a un grupo electrógeno. Revista Ciencias Holguín: Cuba. 2009, vol. 15, no.2. ISSN: 1027-2127

Hypertext pre-processor. Manual en español. [En línea]. (Recuperado: 30 de mayo de 2014). Disponible en: <http://php.net/manual/es/>

INFRATEC. Inspections of mechanical components. [En línea]. (Recuperado: 30 de mayo de 2014). Disponible en: <http://www.infratec-infrared.com/thermography/application-area/predictive-maintenance/mechanical-assembly.html>

INTERNATIONAL. ISX Tecnología al servicio de la eficiencia y la reducción de contaminantes [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: <https://latin-america.internationalcamiones.com/motores/129nterpr-isx>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Quality management systems- Requirements, ISO 9001-2008. 4 ed. Geneve, Suiza: ISO, 2008. 7 p.

KORCZEWSKI, Zbigniew. ENDOSCOPIC IMAGE PROCESSING AND ANALYSIS OF PISTONS' SERVICE FAILURES OF MARINE DIESEL ENGINES. Gdansk university of technology. Journal of polish CIMAC. Polonia. 2008

LAUDON, Kenneth C y LAUDON, Jane P. Sistemas de información gerencial. 8va Edición. Pearson Educación, México, 2004.

LUBRITA. How The Lubrication System Works In An Engine? [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: <http://www.lubrita.com/news/78/671/How-The-Lubrication-System-Works-In-An-Engine/>

MACIÁN M, Vicente. OLMEDA G, Pablo. PERALTA U, W y TORMOS M, Bernardo. Fault detection in diesel engines using infrared thermography. European Automotive Congress: EAEC-SAITS0180, Eslovaquia – 2001

MCLEOD, Raymond. Sistemas de información gerencial. México: Pearson Educación, séptima edición. 2000.

MOBIL. Signum oil analysis condition-monitoring fundamentals [En línea] (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: <http://www.signumoilanalysis.com/signum-english/Files/signum-oil-analysis-condition-monitoring-fundamentals-english-uk.pdf>

MYSQL. Acerca de MySQL. [en línea]. (Recuperado en 2 de septiembre de 2017). Disponible en: <https://www.mysql.com>

ONOSOKKY. Engine rotation measurement using the engine vibration. [en línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: https://www.onosokki.co.jp/English/hp_e/products/application2/ft_engine.htm

transporte-sector-clase-mundial-214572

PERALTA RUIZ, Manuel Salvador. Modelo Gerencial de Mantenimiento para Flotas de Transporte Pesado. Monografía de grado Especialista en Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2011.

PORTAFOLIO El transporte, sector de clase mundial. [en línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/transporte-sector-clase-mundial-214572>

PROYECTAR. Tractocamiones International® 9400i [en línea]. (Recuperado el 10 de agosto de 2017) Disponible en: <http://www.proyectar.com.mx/international/tractocamiones.htm>

SENN, James. “Análisis y diseño de sistemas de información”. 1ra Edición. Mc Graw Hill. 1990

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE). Engine oil viscosity classification [en línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017) Disponible en: http://standards.sae.org/j300_201501

TAYLOR, C. F. The Internal Combustion Engine in Theory and Practice. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. Vol. II, 1977.

TERPEL. Terpel Maxter 15W-40 avanzado [En línea]. (Recuperado el 10 de agosto de 2017). Disponible en:

https://www.terpel.com/Plantillas/Terpel/Descargables/lubricantes/Terpel_Maxter_15W-40_Avanzado%20CK4.pdf

THE AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). Oil categories [En línea]. (Recuperado el 8 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.api.org/products-and-services/engine-oil/eolcs-categories-and-documents/oil-categories>

TORMOS MARTÍNEZ, Bernardo. Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona, España. Editorial Reverte S.A. 2005.

WIDMAN INTERNATIONAL SRL. Interpretación de los resultados de análisis de aceite usado [en línea]. (Recuperado en 10 de agosto de 2017). Disponible en: <http://www.widman.biz/Analisis/nterpretación.html>

ANEXOS