ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES DIESEL BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

MALDONADO DÍAZ CRISTIAN EDUARDO

cemdiaz@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JUAN ANTONIO SERRANO

jasb48@hotmail.com

QUITO, SEPTIEMBRE 2010

DECLARACIÓN

Yo, Cristian Eduardo Maldonado Díaz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría: que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Cristian E. Maldonado Díaz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por Cristian Eduardo Maldonado Díaz bajo mi supervisión.

Ing. Juan Antonio Serrano B.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto ha sido desarrollado con el fin de dar a conocer la importancia del análisis de muestras de aceite como una herramienta para predecir fallas.

Bajo esta concepción se realizó este trabajo, con la ayuda de Juan Antonio Serrano, a quien agradezco no sólo por su interés en el funcionamiento y mantenimiento de los motores, sino por la confianza y apertura brindada, además de su amistad ofrecida y por ser una fuente de experiencias personales y profesionales.

Agradezco al personal de mantenimiento de BJ Services, tanto a los técnicos como a su dirigente, Roberto Terán. Todos ellos me demostraron que la mecánica de un motor es un mundo fascinante, y que el mantenimiento es una herramienta valiosa siempre que sea usada de manera adecuada.

Agradezco también a los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Finalmente, agradezco a mis padres Aníbal y Guadalupe, a mis hermanos Jessica, Andrea y Alex; a Nathaly y su familia, a mis primas Zaidy, Gabriela y Jimena, y a mis amigos y compañeros de la universidad. Todos ellos me han demostrado que la grandeza de uno no está en la cantidad de amigos, sino en la calidad de los mismos.

DEDICATORIA

Este proyecto es una muestra de la capacidad humana de comprender nuestro entorno, su funcionamiento y los cuidados que el mismo requiere.

Dicha capacidad proviene de un Ser Supremo, por ello, dedico este proyecto a tres personas especiales:

Las primeras dos personas son mis padres Guadalupe y Aníbal. Ellos han sido los pilares de mi formación personal. Les agradezco su cariñoso cuidado y el haberme proferido una educación basada en valores y principios. A mi padre por ser ejemplo de responsabilidad, integridad y entrega desinteresada por el bienestar común. A mi madre por ser la muestra fiel del amor, y sobre todo por ser una mujer ejemplar, que me enseñó que uno puede llegar tan lejos como sus ideas y deseos lo anhelen.

La tercera persona es mi “ángel guardián”, Nathaly Ruiz. Ella ha cambiado mi vida, la ha encaminado sin desfallecer. Siempre ha estado junto a mí ofreciéndome su incondicional apoyo.

TABLA DE CONTENIDO GENERAL

CAPITULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.2. Planteamiento del problema. 7
1.3. Formulación y sistematización del problema. 8
1.4. Justificación. 9
1.5. Objetivos. 10
1.5.1. Objetivo General. 10
1.5.2. Objetivos Específicos. 10
CAPITULO II 11
MARCO REFERENCIAL 11
2.1. Motores Diesel 11
2.1.1. Motores Diesel, su origen y composición. 11
2.1.2. Sistema de lubricación de un motor diesel. 22
2.1.2.1. Principio de Trabajo. 22
2.1.2.3. Elementos lubricados. 33
2.1.3. Requerimientos de lubricación en los motores diesel. 44
2.2. Lubricación. 46
2.2.1. Introducción. 46
2.2.2. Características importantes y clasificación de los aceites lubricantes 48
2.2.2.1. Rozamiento (Tribología) 49
2.2.2.1.1. Naturalezas de Rozamiento 49
2.2.2.2. Desgaste 53
2.2.2.3. La lubricación. 54
2.2.2.3.1. Funciones de la lubricación y Características importantes de los aceites 55
2.2.2.3.2. Elementos a adicionar para cumplir con las características de los aceites 58
2.2.2.3.3. Clasificación de los Aceites Lubricantes 59
2.2.2.3.3.1. Los Aceites 60
2.2.2.3.3.1.1. Clasificación de los aceites lubricantes según la norma SAE 60

2.2.2.3.3.1.2. Clasificación de los aceites lubricantes según la norma API 63
2.2.3. ESTÁNDARES Y REGULACIONES APLICABLES A ACEITES. . 63
2.2.3.1. Estándares aplicables a aceites para motores diesel..... 63
2.2.3.2. Regulaciones Y Denominaciones..... 68
2.2.4. SELECCIÓN DE LUBRICANTES 74
2.2.5. PERIODOS DE EVALUACIÓN..... 75
2.2.6. Problemas comunes asociados al aceite y su estado 77
2.2.6.1. Límites de desgaste normal 86
2.2.6.2. Problemas Comunes fáciles de determinar en una muestra de aceite lubricante..... 87
2.3. Mantenimiento de motores. 88
2.3.1. Reseña Histórica del Mantenimiento. 88
2.3.2. Estrategias y Herramientas del Mantenimiento. 90
2.3.2.1. Estrategias de mantenimiento 91
2.3.2.2. Herramientas de mantenimiento..... 92
2.3.3. Características asociadas al Mantenimiento..... 94
2.3.3.1. Objetivo Del Mantenimiento. 94
2.3.4. Tipos de Mantenimiento..... 95
2.3.4.1. Mantenimiento Preventivo (empleando la metodología SACODE para la interpretación de análisis de aceites)..... 96
2.3.4.1.1. Aspectos a considerar en la metodología SACODE 97
2.3.4.1.2. Etapas a seguir para el análisis de aceite mediante el empleo de la metodología SACODE 98
CAPITULO III 101
DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS. 101
3.1 Manejo de Información 101
3.1.1. Evaluación del estado de los equipos y aceites..... 101
3.1.2. Análisis de la gestión y planeación actual de los técnicos de mantenimiento. 102
3.1.3. Tabulación de los datos obtenidos. 103
3.1.3.1. Realizar una unificación de los lubricantes..... 103
3.1.3.2. Toma de la muestra adecuada. 110
3.1.3.3. Fundamentos del Análisis de Fallas en Equipos Diesel 113

3.1.3.4. Métodos aplicables y propiedades analizadas en las muestras de aceite. 116
3.1.3.4.1. Evaluación Sensible del Aceite. 118
3.1.3.4.2. Análisis de Laboratorio. 122
3.2 Creación de la base de datos. 127
3.2.1. ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS 128
3.2.1.1. Administración de Datos de la Base. 128
3.2.1.1.1. Registro de equipos nuevos. 129
3.2.1.1.2. Registro de aceites nuevos. 130
3.2.1.1.3. Requisición de piezas/materiales. 132
3.2.1.1.4. Enlazamiento parte-equipo. 132
3.2.1.2. Administración del Sistema. 133
3.2.1.2.1. Cambio de aceite. 133
3.2.1.2.2. Ingreso de reparaciones. 135
3.2.1.2.3. Movilización/mantenimiento de equipos. 135
3.2.2. Relacionamiento de la información tabulada. 136
CAPITULO IV 138
CREACIÓN DE UN MANUAL DE DIAGNÓSTICO DIGITAL 138
4.1. Diagnóstico de problemas en el bloque motor 138
4.1.1. Bloque. 139
4.1.1.1. Diseño y Fabricación del bloque del motor. 139
4.1.2. Pistones. 140
4.1.2.1. Por Sobrecalentamiento. 141
4.1.2.2. Lubricación Inapropiada. 141
4.1.2.3. Contaminantes Abrasivos. 141
4.1.3. Anillos del Pistón. 142
4.1.3.1. Desgaste por Abrasivo. 142
4.1.3.2. Desgaste Por Raspadura/Ralladura. 143
4.1.3.3. Daños de los Anillos. 144
4.1.4. Bulones. 145
4.1.5. Camisas. 146
4.1.5.1. Rallado/Raspado de la superficie interior de las camisas. 147
4.1.5.2. Ajuste/Holgura de la Camisa al Bloque. 147
4.1.5.3. Rotura de la brida o asiento de las camisas. 147

4.1.5.4. Erosión por cavitación. 147
4.1.6. Bielas. 148
4.1.6.1. Biela doblada o torcida. 149
4.1.6.2. Cojinetes de biela 149
4.1.6.2.1. Desgaste normal. 150
4.1.6.2.2. Fatiga de la superficie. 150
4.1.6.2.3. Partículas extrañas en el revestimiento. 151
4.1.6.2.4. Partículas extrañas en el espaldar del cojinete. 151
4.1.6.2.5. Falta de aceite. 152
4.1.6.2.6. Corrosión. 152
4.1.6.2.7. Calibre ovalado. 152
4.1.6.2.8. Aplastamiento excesivo. 153
4.1.6.2.9. Aplastamiento insuficiente. 153
4.1.6.2.10. Tapa de cojinete desplazada. 153
4.1.6.2.11. Bancada deformada. 153
4.1.7. Cigüeñal. 154
4.1.7.1. Cigüeñal doblado. 155
4.1.7.2. Muñón deformado. 155
4.1.7.3. Mancha caliente. 156
4.1.8. Árbol de Levas. 156
4.1.8.1. Fallas en el árbol de levas. 157
4.2. Diagnóstico de problemas relacionados con la junta de culata. 158
4.3. Control de presiones de aceite y averías. 161
4.3.1. Indicador de Presión. 162
4.3.2. Problemas comunes asociados a la Presión de Aceite. 163
4.3.2.1. Presión Alta del circuito de lubricación. 164
4.3.2.2. Presión Baja del circuito de lubricación. 165
4.4. Consumo de aceite. 167
4.4.1. Influencia de la Lubricación en el Desgaste de Elementos, y su Comprobación con el Consumo de Aceite. 169
4.4.1.1. Seguros. 170
4.4.1.2. Tipos de seguros según su ubicación en el motor. 172
4.4.1.2.1. Seguro del Cigüeñal. 172
4.4.1.2.2. Seguro de Válvulas. 173

4.4.1.2.3. Seguro del Árbol de Levas. 174
4.4.1.3. Junta Culata-Bloque. 174
4.4.1.4. Anillos Desgastados de los Pistones. 175
4.4.1.5. Refrigeración de los Pistones. 176
4.4.1.6. Bruñido de las Camisas. 176
4.4.1.7. Problemas presentes en el Montaje. 176
4.5. Diagnóstico de problemas relacionados con la Sobrealimentación... 178
4.5.1. Compresor de Aire. 178
4.5.1.1. Compresor de Aire Helicoidal. 179
4.5.1.2. Compresor de Aire Reciprocante. 183
4.5.1.3. Fallas en los compresores. 185
4.5.2. Turbocargadores 185
4.5.2.1. Fallas en los turbocargadores. 187
4.5.2.1.1. Falta de aceite. 187
4.5.2.1.2. Aceite contaminado. 188
4.5.2.1.3. Entrada de objetos extraños 189
4.5.2.1.4. Temperatura de los gases de escape elevada. 189
4.5.2.1.5. Material o mano de obra defectuosa 190
4.6. Tablas de los principales problemas mecánicos de los elementos móviles del motor diesel. 191
CAPITULO V 220
DISEÑO Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO. 220
5.1. Introducción. 220
5.2. Clasificación de los motores 221
5.2.1. Por tipo de unidad de operación. 221
5.2.2. Por estado y reparaciones. 222
5.3. Análisis relacionado al estado y mantenimiento de los motores 223
5.3.1. Análisis de problemas con base en el análisis de las muestras de aceite 223
5.3.1.1. Revisión y ordenamiento los datos de las fechas e intervalos de cambio de aceite. 224
5.3.1.2. Revisión y ordenamiento de los datos de las propiedades físicas del lubricante. 229

5.3.1.3. Revisión y ordenamiento de los datos de los aditivos adicionados al aceite virgen para cumplir con la calidad determinada por la norma API. 232

5.3.1.4. Revisión y ordenamiento de los datos de los metales generados por los elementos móviles y que dependen del tiempo para cuantificar su presencia. 232

5.3.1.5. Revisión de las condiciones iniciales del combustible. 234

5.3.1.6. Revisión y ordenamiento de los datos de los contaminantes presentes en las muestras de aceite. 235

5.3.1.7. Revisión y ordenamiento de los datos límites para motores diesel cuando las muestras son tomadas a 250 horas. (Tabla de Referencia). . 240

5.3.2. Resumen de problemas 242

5.4. Descripción del Mantenimiento necesario. 244

5.4.1. Reporte del estado del aceite del equipo. 244

5.4.2. Tabulación, análisis, consulta en manual de usuario y reporte de posibles fallas. 244

5.5. Control del mantenimiento 253

5.5.1. Control posterior a la evaluación del estado del equipo 253

5.5.2. Control en base a futuras muestras de aceite. 253

CAPITULO VI 255

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 255

6.1. Conclusiones. 255

6.2. Recomendaciones 257

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 259

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1.1.- Funcionamiento de los motores detroit diesel de acuerdo al modelo. 2
Tabla 1.1.2.- Relaciones de rpm/lb-ft de acuerdo a la potencia del equipo. 3
Tabla 1.1.3.- Modelos de camiones de la serie n de chevrolet, y su capacidad de carga. 4
Tabla 2.1.1.1.- Clasificación de los motores de acuerdo a la velocidad del pistón 14
Tabla 2.2.1.1.- Clasificación de las sustancias lubricantes según el estado 47
Tabla 2.2.1.2.- Clasificación de las sustancias lubricantes según su naturaleza 48
Tabla 2.2.2.1.1.- Naturalezas de rozamiento y requerimientos de fluido y desgaste producido 50
Tabla 2.2.3.1.1.- Control de la viscosidad, y determinación de cómo analizar al aceite de acuerdo a dicho parámetro 65
Tabla 2.2.3.1.2.- Control o rechazo del lubricante para un motor diesel de acuerdo a sus propiedades 67
Tabla 2.2.3.1.3.- Control de las concentraciones de partículas metálicas en el aceite (ppm) 67
Tabla 2.2.3.2.1.- Clasificación API de aceites comerciales para motores a diesel actualizada. 72
Tabla 2.2.3.2.2.- Clasificación ACEA de aceites para motores a diesel. 74
Tabla 2.2.5.1. Intervalos recomendados para la toma y análisis de una muestra de aceite en motores diesel 76
Tabla 2.2.5.2.- Interpretación de los rangos de cambios. 77
Tabla 2.2.6.1.- Causas más comunes asociadas a la degradación del aceite . 84
Tabla 2.2.6.2. El desgaste puede provenir de varias partes del motor. Esta Tabla indica el origen más probable del material que reporta análisis del aceite. 85
Tabla 2.2.6.3. El desgaste puede provenir de varias partes de una transmisión manual 85
Tabla 2.2.6.4. El desgaste puede provenir de varias partes de un compresor de aire 86

Tabla 2.2.6.1.1. Límite y fuente de aparecimiento de elementos de desgaste. 87
Tabla 2.3.1.1.- evolución del mantenimiento en la industria ecuatoriana 89
Tabla 3.1.3.1.1.- consideraciones para la unificación de los lubricantes existentes en la empresa. 109
Tabla 4.1.4.1.- clasificación de los pasadores o bulones. 145
Tabla 4.1.5.1. Clasificación de las camisas 146
Tabla 4.1.7.2.1. Fallas en el cojinete causado por un muñon deformado 155
Tabla 4.2.1.- resumen de las fallas relacionadas con problemas en el empaque entre el bloque y la culata. 160
Tabla 4.3.2.1.1. Tabla resumen de fallas por alta presión..... 165
Tabla 4.3.2.2.1. Tabla resumen de fallas por baja presión..... 167
Tabla 4.4.1. Clasificación de las causas relacionadas con el consumo de aceite 168
Tabla 4.4.1.1.1. Materiales constitutivos de los sellos..... 171
Tabla 4.4.1.1.2. Condiciones y propiedades de los sellos según sus elementos constituyentes. 172
Tabla 4.4.1.7.1. Resumen de los problemas y zonas que evidencian consumo de aceite..... 177
Tabla 5.3.1.1.1.- Tabla resumen de la frecuencia de cambios de aceite para la unidad 244. 225
Tabla 5.3.1.1.2.- Tabla resumen de la frecuencia de cambios de aceite para la unidad 517 motor b. 225
Tabla 5.3.1.1.3.- elementos y relación para el cálculo del “factor de corrección de mediciones”. La ec. (1) es en función del kilometraje, y la ec. (2) en función del tiempo. 227
Tabla 5.3.1.1.4.- valores de “factor de compensación en las mediciones, para obtener datos normalizados para un periodo de cambio de aceite de 3000 kilómetros en la unidad 244 227
Tabla 5.3.1.1.5.- valores de “factor de compensación en las mediciones, para obtener datos normalizados para un periodo de cambio de aceite de 200 horas en la unidad 517 motor b..... 228
Tabla 5.3.3.1.- propiedades básicas de los aceites lubricantes empleados en los motores a diesel propiedad de bj services..... 229

Tabla 5.3.3.2.- propiedades básicas analizadas en las muestras de aceite lubricante de la unidad 244 230
Tabla 5.3.3.3.- propiedades básicas analizadas en las muestras de aceite lubricante de la unidad 517 motor b 231
Tabla 5.3.4.1.- aditivos adicionados al aceite virgen por el fabricante de acuerdo a la calidad api cj-4..... 232
Tabla 5.3.5.1. Elementos que tienen su origen como elementos contaminantes y como elementos de desgaste y sus fuentes de aparecimiento más comunes..... 233
Tabla 5.3.8.1.- valores de las propiedades físicas de los aceites que se emplearán como parámetros de control..... 240
Tabla 5.3.8.2.- valores normal, anormal y crítico para partículas de desgaste y contaminación. 241
Tabla 5.3.9.1.- resumen de problemas determinados a partir del análisis de la salud, contaminación y desgaste que ha podido determinarse de los resultados enviados por el personal técnico de conauto. 243
Tabla 5.4.2.1.- elementos y/o aspectos susceptible de falla para la unidad 244 251
Tabla 5.4.2.2.- elementos y/o aspectos susceptible de falla para la unidad 517 motor b 252

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1.1.- motor diesel estacionario de 16 cilindros en v (bj services) 3
Figura 1.1.2.- camión de la serie n de chevrolet (fuente: chevrolet del ecuador) 5
Figura 2.1.1.1. Conjunto biela-pistón-manivela 14
Figura 2.1.1.2. Tabla explicativa de la relación entre el tamaño, peso y velocidad de rotación en motores lentos. 15
Organigrama 2.1.1.1.- sistemas y partes de un motor diesel tradicional 18
Figura 2.1.1.3.- esquema del sistema de lubricación del motor diesel 19
Figura 2.1.1.4.- esquema del sistema de enfriamiento del motor diesel 20
Figura 2.1.1.5.- esquema de un turbocompresor y sus partes para motor diesel 21
Figura 2.1.1.6.- esquema del sistema de combustible desde el depósito hasta la inyección en la cámara de combustión..... 22
Figura 2.1.2.1.1.- diagrama del sistema de lubricación de un motor diesel, con un listado de los elementos que los componen..... 25
Figura 2.1.2.2.1.- esquema de la lubricación con cárter seco (a) y disposición del tanque adicional (en color verde) en lubricación con cárter seco (b)... 27
Figura 2.1.2.2.2.- depósito del aceite en el cárter, observándose que el 28
Sistema es de cárter húmedo..... 28
Figura 2.1.2.2.3.- lubricación del árbol de levas 28
Figura 2.1.2.2.4.- estructura interna de un filtro de aceite 29
Figura 2.1.2.2.5.- diagrama del flujo del aceite al interior del sistema de lubricación 30
Figura 2.1.2.2.6.- radiador pequeño utilizado para enfriamiento del aceite (a) y esquema de una válvula de derivación o válvula de alivio de presiones (b) 30
Figura 2.1.2.2.7.- es quema completo del mecanismo de refrigeración del aceite lubricante previo a su empleo a través del sistema de lubricación..... 31
Figura 2.1.2.2.8.- esquema del inyector de aceite para las camisas y pistones. 32

Figura 2.1.2.2.9.- estructura de la válvula de retención..... 32
Figura 2.1.2.2.10.- ubicación de la válvula de retención en el bloque del motor 33
Figura 2.1.3.1.- esquema de los defectos presentes en la combustión, y que pueden ser evidenciados en el aceite. 44
Figura 2.1.3.2.- producción de barros en la tapa de los balancines. 46
Figura 2.2.2.1.2.- diagrama que muestra la existencia de esfuerzos cortantes 50
Producto del rozamiento y que conllevan al desgaste de los materiales. 51
Figura 2.2.2.1.3.-..... 51
Figura 2.2.2.1.4.-..... 52
Figura 2.2.2.1.5.-..... 53
Figura 2.2.3.2.1.- referencia de la viscosidad de los aceites según las regulaciones de la sae. 69
Figura 3.1.3.4.1.1.- comparador de viscosidad para comparación de la viscosidad entre una muestra de aceite nuevo y la muestra de aceite usado. 120
Figura 3.2.1. Introducción al programa que se manejará par el ordenamiento, gráficos y tabulación de datos. 127
Figura 3.2.1.1. Vista principal de las diferentes opciones de manejo y manipulación de datos 128
Figura 3.2.1.1.1. Ventana del programa con las opciones disponibles para almacenamiento de datos. 129
Figura 3.2.1.1.1.1. Características básicas de los equipos 130
Figura 3.2.1.1.2.1. Tabla de datos de partida para un nuevo lote de lubricantes 131
Figura 3.2.1.1.3.1. Ventana para el registro de partes/elementos para los equipos..... 132
Figura 3.2.1.1.4.1. Ventana para relacionar partes cambiadas con equipos.. 132
Figura 3.2.1.2.1. Apariencia de la ventana para la gestión de la información de mantenimiento..... 133
Figura 3.2.1.2.2. Tabla para recopilación de los datos de las muestras de aceite..... 134
Figura 3.2.1.2.3. Ventana para análisis de líneas de tendencia y búsqueda de posibles fallas..... 134

Figura 3.2.1.2.4.- ventana de ingreso de las reparaciones y/o cambios. 135
Figura 3.2.1.2.5.- acceso a la sección de registro de mantenimiento y movilización de equipos. 136
Figura 3.2.2.1. Entorno del programa informático para ordenamiento y uso de la información almacenada en la base de datos. 137
Figura 4.1.1.1. Partes del bloque del motor……. ……139
Figura 4.1.3.1.- desgaste de los anillos. El primer anillo ha perdido su roscado, mientras en el segundo hay desgaste significativo. El tercer anillo presenta superficies desgastadas en los extremos del anillo (zonas oscuras). 142
Figura 4.1.3.2.-desgaste de los anillos por ralladuras. Se observa como las superficies muestran señales de rayado vertical..... 144
Figura 4.1.6.2.1.1. Estructura de un cojinete, en el cual se pueden observar y diferenciar las distintas capas de las cuales está compuesto un cojinete. 150
Figura 4.1.6.2.2.1. Se observa como la fatiga se inicia por fisuras en el recubrimiento, y luego se extienden hasta que se produce desprendimiento del mismo. 151
Figura 4.1.6.2.4.1. Partícula externa sobre el espaldar de cojinete, obsérvese como el contacto cojinete-biela se ve alterado..... 151
Figura 4.3.1.1.- esquema del circuito de lubricación y del mecanismo indicador de presión. 163
Figura 4.4.1.2.1.1. Elementos del extremo del cigüeñal, observándose el reten del cigüeñal con el número 4 (a); y la distribución de los retenes delantero y trasero del cigüeñal (b); retén trasero del cigüeñal, junto al volante de inercia (c) 173
Figura 4.4.1.2.2.1.- localización de los retenes de aceite de las válvulas 174
Figura 4.4.1.2.3.1.- ubicación del sello del árbol de levas..... 174
Figura 4.4.1.3.1.- observación de un bloque antes (a) y después (b) de una limpieza y comprobación de medidas 175
Figura 4.5.1.1.- tipos de compresores..... 179
Figura 4.5.1.1.1. Compresor helicoidal típico para sobrealimentación del motor a diesel..... 180
Figura 4.5.1.1.2. Compresor rotatorio de tornillo 181

Figura 4.5.1.1.3. Etapas del proceso de compresión de un compresor de tornillos. 181
Figura 4.5.1.1.4. Circuito de lubricación de un compresor de tornillos. 182
Figura 4.5.1.2.1.- etapas de trabajo de un compresor reciprocante. 183
Figura 4.5.1.2.2. Tipos de filtración para compresores reciprocantes. 184
Figura 4.5.2.1.- funcionamiento básico de un turbocompresor..... 186
Figura 4.5.2.2.- esquema del proceso realizado por el turbocompresor y la ubicación del dispositivo de seguridad del sistema 187
Figura 5.3.6.1.- tabla de las condiciones del combustible entregado por petroecuador a bj services. 235
Diagrama 5.4.2.1.- análisis de causas-efecto para las propiedades del aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 244..... 245
Diagrama 5.4.2.2.- análisis de causas-efecto para el desgaste en función de las muestras de aceite de la unidad 244..... 246
Diagrama 5.4.2.3.- análisis de causas-efecto para la contaminación y desgaste en el aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 244 2473
Diagrama 5.4.2.4.- análisis de causas-efecto para las propiedades del aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 517 motor B 2484
Diagrama 5.4.2.5.- análisis de causas-efecto para el desgaste en función de las muestras de aceite de la unidad 517 motor B 249
Diagrama 5.4.2.6.- análisis de causas-efecto para la contaminación y desgaste en el aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 517 motor B 250

RESUMEN

En el presente trabajo se trata dos aspectos principales, el primero se centra en conocer el funcionamiento, constitución y principales problemas de un motor diesel; y segundo se trató los diferentes tipos de mantenimiento asociados a un motor diesel, y selección del mejor tipo de acuerdo a los requerimientos de la empresa y con base en los datos obtenidos a través de las diversas muestras de aceite.

Cuando se realizó el estudio del motor, se logró determinar la importancia de comprender el funcionamiento de los diferentes sistemas, y se determinó el sistema de lubricación. Este último es quizá el más importante para una adecuada operación del motor, ya que es en sí el sistema más propenso a fallas. La conclusión más importante que se obtuvo de este estudio fue la relación directa de los diferentes elementos constitutivos del motor (tanto los elementos móviles como los elementos estáticos) con las necesidades de lubricación que son satisfechas por este sistema.

Una vez terminado el análisis de los tipos de mantenimiento se determinó que el mantenimiento más adecuado para los motores diesel tanto de tipo estacionario como de equipos móviles es el mantenimiento preventivo basado en la metodología SACODE (metodología que analiza la salud, la contaminación y el desgaste del aceite y los elementos lubricados).

Los resultados de analizar las condiciones del motor a través de muestras de aceite y su posterior diagnóstico ayudaron a observar los elementos y secciones de un motor mas propensas a fallar. Estas conclusiones se obtuvieron de los análisis de tendencia de variación de las propiedades así como de la presencia de partículas metálicas en el aceite. Mediante los diagramas de Causa-Efecto de Ishikawa se logró determinar los tiempos de cambio o mantenimiento preventivo ya sea de los elementos constituyentes del motor, o del equipo en sí.

PRESENTACIÓN

Los primeros mantenimientos que se realizaban a nivel industrial, y más concretamente en la empresa BJ Services eran aquellos mantenimientos de carácter correctivo, en donde se esperaba la falla de un elemento o del equipo para proceder a su paro y posterior reparación. Debido al alto costo que generaban los paros de un equipo (costos por reparación, repuestos y la no operación), y la posterior aparición de nuevas fallas, producto de un mantenimiento no adecuado, aumentaban los costos de reparación y reducía los tiempos de funcionamiento del equipo.

Al tener los equipos fuera de funcionamiento, la compañía debía recurrir a otras unidades, ya sea de su propia planta sacrificando el tiempo de vida útil del motor y en sí de la unidad, o ya sea alquilando equipos a otras empresas, generando mayores costos para la empresa.

En base a este análisis se planeó un estudio de las condiciones de los equipos considerando un parámetro común, siendo dicho parámetro el aceite, ya que todos los equipos tanto de bombeo, tubería flexible, las grúas, entre otros poseen sistemas de lubricación. En un primer análisis de los equipos de la empresa, se ha seleccionado un estudio de los motores a diesel, por ser los de mayor utilización, y en sí por presentar la mayor cantidad de fallas.

Analizando las técnicas de control y mantenimiento de los equipos actuales, se ha podido comprobar la efectividad de una nueva metodología de mantenimiento preventivo que es aplicable estrictamente a los aceites. Dicha metodología conocida con el nombre de SACODE, analiza la salud, contaminación y desgaste del aceite en función de líneas de tendencia que se obtienen de un análisis periódico y continuo de muestras de aceite.

Es necesario mencionar que, dicho análisis de aceite será realizado de manera específica para cada motor, ya que los resultados de dicho análisis solo tienen

aplicación para la unidad de la que provienen; y cada muestra fue tomada a intervalos de tiempo de 200 horas de operación.

A veces las muestras fueron tomadas a un periodo de tiempo mayor, ocasionando problemas en la interpretación, ya que la metodología empleada analiza la incidencia del tiempo en las muestras. Esta incidencia presentó mayor conflicto en el análisis de tres elementos que provienen tanto de la contaminación externa (ingresan por el sistema de admisión de aire) como son producto del desgaste de los elementos internos del motor.

En el presente escrito se presentará el contenido de los diferentes aspectos que enmarcan al proyecto:

- En el capítulo I se mostrará el estado actual de la empresa, las condiciones presentes al momento de realizar el proyecto y los objetivos que se esperan comprobar con el desarrollo del proyecto.
- En el capítulo II se habla de los motores diesel tanto de los elementos que lo conforman, como de la relación de los elementos con el sistema de lubricación. Además se menciona los fundamentos de mantenimiento.
- En el capitulo III se analizan los parámetros que deben ser controlados y evaluados tanto por el personal de mantenimiento de la empresa como por la empresa que se encarga de los análisis de aceite. Adicional a esta información, se plantea el ordenamiento y sintetización de los datos producto de los análisis de aceite a través de un programa informático diseñado para dicho fin.
- En el capítulo IV se plantean las diferentes fallas que se producen en un motor y sus elementos tanto móviles como estáticos. Como ayuda adicional se han adicionado imágenes relacionadas con las fallas.
- En el capítulo V se relaciona tanto la información obtenida en las muestra de aceite con las tablas de valores estándar para las propiedades del aceite, para la presencia de elementos de desgaste así como para el desgaste de los elementos aditivos del aceite.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Los motores son uno de los más grandes inventos que posee en la actualidad la humanidad. Este invento de dimensiones cambiantes (cada vez más pequeños y más eficientes) ha ayudado a que muchas actividades puedan ser realizadas de una manera más sencilla. Son los mejores equipos que se posee en la actualidad para convertir energía de fuentes sólidas (como el carbón) o líquidas (el petróleo y sus derivados) en trabajo útil.

Los motores son un gran invento, pero es necesario mencionar que los mismos han contribuido también al deterioro del ambiente, sobre todo porque los desechos que producen son fácilmente expulsados al ambiente, y porque una vez que cumplen con su tiempo de vida útil, muchos de sus elementos no pueden ser reutilizados, lo que contribuye de manera directa o indirecta, a corto o largo plazo a que se esté convirtiendo al planeta en un botadero. Es por ello que, con el presente proyecto se buscará cuidar que los períodos de vida útil de los equipos, y más que nada de los elementos internos sean maximizados. Al maximizar la vida útil de estos equipos y sus partes, se garantiza no solo disminuir el impacto ambiental que se produce en la actualidad, sino generar un esquema para un mantenimiento más efectivo y por lo mismo una reducción de sus costes.

Ahora bien, el presente proyecto se encamina a mejorar los ciclos de funcionamiento de los motores diesel empleados en BJ Services. Es así que, se considera necesario mencionar los modelos de equipos que serán analizados a lo largo de este proyecto, los cuales son:

a) motores diesel estacionarios.

El fabricante de estos equipos es DETROIT DIESEL. Dichos equipos son empleados por la empresa por las prestaciones que ofrece para los trabajos como es apreciable en la potencia que entregan. Por ello, estos equipos son considerados como los motores de mejor desempeño en su clase, sobre todo los motores de las series 50 y 60. La potencia de estos modelos está entre los 425 y 515 HP.

Otra característica necesaria de mencionarse radica en el funcionamiento de los equipos diesel. Esta información está relacionada con el modelo del motor. Los motores que posee BJ Services son modelos de la serie 50 y 60, por lo tanto son motores de 4 tiempos. Como se puede ver en la siguiente tabla que de acuerdo funcionamiento del motor diesel habrá uno o varios modelos:

Funcionamiento	**Modelos**
Motores 2 tiempos	Series 53, 71, 92 y 149
Motores 4 tiempos	Series 50, 60 y 8.2
Motores con control electrónico	Series 53, 71, 92, 149, 50 y 60

Tabla 1.1.1.- Funcionamiento de los motores Detroit Diesel de acuerdo al modelo.[1]

Los motores diesel de Detroit Diesel son empleados en infinidad de equipos tanto de bombeo, como de otras operaciones donde se requiera de elevadas potencias de trabajo. Estos equipos son de fácil operación, sin embargo, en la actualidad se puede observar un incremento en los controles electrónicos en los mismos, lo que hace un más fácil su operación. Es así que, en la actualidad los equipos de Detroit Diesel poseen un funcionamiento sencillo, con consumo mínimo de combustible y la cantidad de gases de escape es virtualmente cero.

[1] http://www.infonegocio.com/detroitmotors/index_productos_AAA.htm

POTENCIA	RPM/LB-FT	RPM
425	1,800/1,450	1,100
445	1,800/1,450	1,100
455	1,800/1,550	1,100
490	1,800/1,550	1,100
515	1,800/1,550	1,100
470	1,800/1,650	1,100
515	1,800/1,650	1,100

Tabla 1.1.2.- relaciones de RPM/LB-FT de acuerdo a la potencia del equipo.[2]

Haciendo referencia al mercado nacional, y más específicamente a los equipos empleados por BJ Services se tiene que los modelos más utilizados son los motores e 12 y 16 cilindros, con disposición en V; aunque también se poseen equipos de dimensiones pequeñas y de pocos cilindros.

Sin embargo, es necesario mencionar que los equipos de bombeo a presión empleados en la compañía requieren de elevadas potencias por parte de o de los motores para el funcionamiento de equipos de bombeo. En la siguiente Figura se observa un motor diesel de 16 cilindros en V con turbocargador.

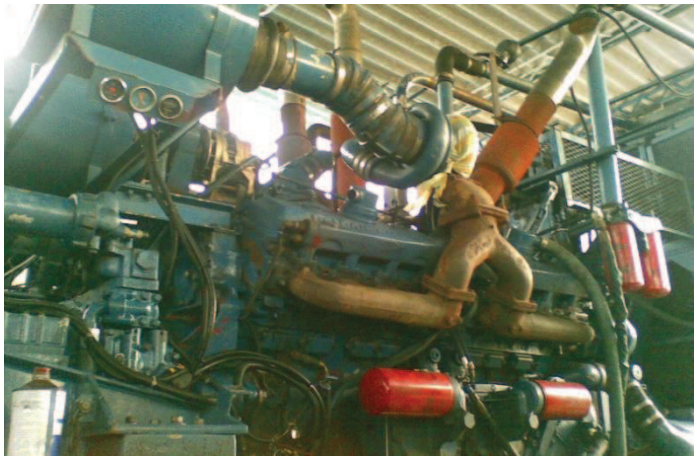


Figura 1.1.1.- motor diesel estacionario de 16 cilindros en V (BJ Services)

[2] www.detroitdiesel.com

b) motores diesel de camiones de carga.

Cuando se habla de camiones de carga, la fabricante de automóviles y camiones Chevrolet ofrece una serie de camiones de carga conocidos como "Camiones Chevrolet Serie N". Estos equipos están dotados en todos los casos de potentes y a la vez económicos motores Isuzu Turbo Diesel, y con el tamaño y la capacidad ideal para moverse ágilmente tanto en lugares de difícil acceso (como la región amazónica) como en la ciudad y transportarlo todo.

La Serie N de los mencionados camiones posee varias versiones de acuerdo a las necesidades del usuario. Los modelos disponibles son:

Modelo	**Característica Principal**
NHR	Capacidad de carga máxima: 2.115 kg
NKR III	Capacidad de carga máxima: 3.530 kg
NPR 71P	Capacidad de carga máxima: 5.115 kg.
NPR 71L	Capacidad de carga máxima: 5.115 kg.
NQR	Capacidad de carga máxima: 5.930 kg.

Tabla 1.1.3.- modelos de camiones de la serie N de Chevrolet, y su capacidad de carga.[3]

Enmarcando las necesidades de la empresa, se debe recordar que se emplean los camiones Chevrolet NPR por su capacidad de carga. Adicionalmente, cabe mencionar que "el motor de un camión de la serie NPR posee un impulsor Turbo Diesel Intercooler Isuzu de 4.5 litros de 120 hp @ 2850 rpm, que les asegura más potencia debido a que están pensados para llevar más peso."[4]

[3] http://www.chevrolet.com.ec/vehiculos/Comerciales/Serie-N/Serie-N-Serie-N.html

[4] http://www.chevrolet.com.ec/vehiculos/Comerciales/Serie-N/Serie-N-Serie-N.html#Motor

Figura 1.1.2.- Camión de la Serie N de Chevrolet (fuente: Chevrolet del Ecuador)5

Como se ha observado, los equipos a analizarse poseen una característica común y es el empleo de motores diesel. Se menciona esta característica porque el presente proyecto es extensible a todo tipo de motores, ya que los motores de los diferentes equipos funcionan de la misma forma y bajo los mismos principios que rigen a un motor diesel convencional.. Lo que sí debe considerarse son las condiciones específicas tanto de diseño como operatividad de cada tipo de equipos. Esta aclaración es necesaria porque los motores diesel de la empresa poseen variaciones tanto en el número de pistones, potencias de trabajo, requerimientos de lubricación, entre otros aspectos.

Contextualizando un poco como se encuentran distribuidos los equipos objeto del estudio, se debe mencionar que los motores estacionarios estarán ubicados en plataformas; los mismos estarán acoplados a equipos de bombeo de alta presión, y el arranque será neumático o eléctrico dependiendo de las particularidades de cada unidad.

Una aclaración necesaria de ser mencionada está en el empleo de turbocargadores en los equipos diesel. Esta condición de diseño es de gran importancia ya que, en la actualidad se considera que un motor diesel requiere de un turbocargador. Este elemento es fundamental para el adecuado funcionamiento y aprovechamiento máximo de la capacidad del equipo.

[5] http://www.chevrolet.com.ec/vehiculos/Comerciales/Serie-N/Serie-N-Serie-N-fotos-exterior.html#wall-3

Como se pudo observar en la Figura 1.1.1 los motores estacionarios son equipos acondicionados con turbocargadores, lo que hace que su potencia sea superior y además que exista un mayor aprovechamiento de las características mecánicas propias del conjunto. Esta misma característica en cambio es mencionada por el fabricante de los camiones de la serie N de Chevrolet, característica mencionada anteriormente.

Un último aspecto que debe ser considerado es la calidad del mantenimiento preventivo que se viene realizando a los equipos. Si bien es cierto las condiciones de operación de los motores a diesel no han cambiado con el transcurso del tiempo, si se debe recalcar que el mantenimiento de dichos equipos es cada vez más importante dado el tiempo de funcionamiento que registran la mayoría de ellos.

Las directrices que rigen a los procedimientos de mantenimiento que se emplean en los equipos de la empresa han sido estipulados por un comité técnico de la empresa a nivel mundial. Es decir, los procedimientos de mantenimiento han sido determinados previamente por personal técnico, y han sido descritos en el Manual de Operaciones de los Equipos de la empresa. Dentro de los procedimientos o formas de mantenimiento que se manejan en la empresa se menciona la necesidad de un Análisis de Muestras de Aceite, mismo que servirá de complemento para el Mantenimiento Preventivo propio al que se debe someter a cada equipo, y que es generalmente precedido de una inspección visual, un reporte de novedades o fallas del equipo cuando se encontraba en funcionamiento y de un control de los tiempos de funcionamiento o paro de los equipos.

Un aspecto no deseable, y pocas veces considerado por parte del área de operaciones es la calidad del mantenimiento preventivo. Este procedimiento no es realizado de una manera adecuada, ya que muchas veces se ve reducido a una simple comprobación del estado del o de los equipos, ocasionado por un exceso de trabajos existentes. Por lo tanto se hace un mantenimiento

preventivo muy específico, ya que el mismo se enfoca más a un cambio de aceite y comprobación de funcionamiento por un par de minutos, sin considerarse el análisis interno del equipo. Y dicha consideración sólo es tomada en cuenta cuando el equipo comienza a presentar problemas relacionados generalmente con la pérdida de potencia o con la imposibilidad de ser empleado en una operación.

Es por ello que, se busca controlar este aspecto tan importante dentro del mantenimiento preventivo de un equipo, a través de un estudio de las condiciones internas del equipo. Como dicho estudio no puede ser realizado en base a un desarme del equipo y posterior comprobación visual del estado de los diferentes componentes, se ha decidido basar la comprobación del estado interno a través de muestras de aceite obtenidas a distintos tiempos de funcionamiento, con los datos generados comprobar la cantidad de partículas presentes en dicha muestra y luego utilizar estos datos en la realización de proyecciones de cómo se está dando el desgaste, tabular no solo la tasa de desgaste de los elementos sino la cantidad desgastada y con ello poder realizar el cambio del elemento desgastado antes de que el equipo deba ser parado.

1.2. Planteamiento del problema.

En los últimos meses, BJ Services Company ha comenzado a sufrir una serie de paros en los equipos de operaciones debido a fallas en los motores, fallas ocasionadas por la poca atención prestada al estado interno de los equipos. Se puede mencionar como posibles causas al poco tiempo existente para realizar la inspección y mantenimiento o corrección de las partes afectadas, ya que el análisis de las condiciones del equipo se reduce a cambios de aceite y filtros; pero no se considera ciertos periodos de paralización necesaria para un cambio de las partes internas que siempre se habrán de desgastar. Además, este paro obligatorio para el cambio de las partes internas no puede ser predecido con exactitud porque los tiempos de vida útil de los elementos internos determinados por el fabricante de los mismos no siempre habrán de

coincidir. Esto conllevará a que muchas veces dicha paralización no sea apropiada, ocasionando pérdida de tiempo y afectando a la productividad.

1.3. Formulación y sistematización del problema.

En la actualidad ciertos motores diesel propiedad de BJ Services han comenzado a presentar problemas cuando se encuentran en funcionamiento. Muchos problemas de funcionamiento tienen su falla en el deterioro prematuro de algún elemento interno del motor. Por ello, primeramente es necesario determinar los tiempos de vida útil del motor y sus elementos.

Una vez que se ha determinado que los tiempos de vida útil de los diferentes elementos internos de un motor no siempre se cumplen, es mejor tratar de llevar un registro de fallas de los diferentes elementos, así como los desgastes de los mismos. Este análisis del desgaste puede ser obtenido en base a las concentraciones de partículas metálicas que están suspendidas en el aceite.

Analizando dichas concentraciones y como van variando las mismas, se podrá generar un registro exacto de las partículas desgastadas dentro del motor. Con estos datos de los elementos que se han desprendido se procederá a relacionar el o los elementos que presentan dichas partículas, para saber las posibles fuentes de partículas metálicas. Pero el estudio no se centrará solamente en los materiales que constituyen al elemento, sino en las dimensiones y funcionamiento de los mismos, para determinar cuál de los elementos móviles del motor es más propenso al desgaste

Por ello, se ha pensado en estructurar un registro del estado interno de los motores y con base en las muestras de aceite que se obtengan de las unidades poder determinar el estado de los elementos internos y saber cuales podrán presentar en el corto o largo plazo problemas de operación sino son reemplazados oportunamente.

1.4. Justificación.

El presente proyecto de titulación está encaminado a promover una mejora en las técnicas de mantenimiento preventivo que se realiza en la actualidad a los equipos de empresas petroleras. La empresa BJ Services Company está presente en este sector con una variedad de servicios. Es por ello que, debido a esta amplia oferta, poseen una serie de equipos para diversas operaciones, cada uno de los cuales posee características de potencia y trabajo específicas.

Con este antecedente, la empresa ha propuesto desarrollar mejoras sustanciales al mantenimiento preventivo que vienen realizando en sus equipos, enfocándose a controlar de mejor manera el desgaste interno al que se encuentran sometidos los equipos cuando están en funcionamiento. Este perfeccionamiento del mantenimiento preventivo existente esta direccionado a controlar el estado interno de los equipos (fuera de los tiempos de vida útil determinados por el diseñador), y por consiguiente prevenir daños mayores como ha venido ocurriendo en los últimos meses, debido al poco control de este parámetro fundamental dentro del mantenimiento y estado de un equipo.

Este control del estado interno de los equipos puede realizarse por medio de muestras de aceite, las mismas que serán extraídas en diversos tiempos de funcionamiento de la unidad con el fin de comprobar como se da el aumento o no de partículas suspendidas en la muestra (siendo dichas partículas metálicas o no metálicas) en su mayoría provenientes de elementos que poseen una mayor tasa de desgaste, sobre todo cuando el equipo esta en funcionamiento.

Una vez obtenidas las concentraciones de partículas, se procederá a analizar el origen de las mismas y con base en los resultados obtenidos se predecirá los elementos internos del motor que pueden estar próximos a acabar su tiempo de vida útil. Adicionalmente se busca programar los cambios de repuestos y elementos desgastados y de manera simultánea alargar la vida útil del equipo y del aceite, asegurando un buen rendimiento del equipo.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo de motores diesel basado en análisis de aceite.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Conocer los estándares de funcionamiento de un motor de acuerdo a la cantidad de partículas suspendidas en el aceite.
- Diseñar un programa de mantenimiento preventivo y control de desgaste de las partes internas del motor.
- Crear un manual de diagnóstico de mantenimiento para los motores diesel.
- Determinar los tiempos de vida útil de los componentes internos del motor.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Motores Diesel

Los motores diesel son un tipo de motores de combustión interna, y poseen sus características específicas, las cuales a su vez determinan un estado de funcionamiento y condiciones del entorno favorables con las cuales se podrá obtener el máximo desempeño posible con una mejor eficiencia.
Es necesario explicar brevemente como se da el funcionamiento de este tipo de motores, ya que cotidianamente las personas están acostumbradas a utilizar equipos a gasolina, por lo que muchas veces se tiende a crear una cierta analogía entre dichos equipos, analogía que dicho sea de paso es imposible de establecer. Es por ello que, como fase preliminar se deberá entender de manera sencilla pero clara el funcionamiento de este tipo de motor, así como el conocer las condiciones de trabajo y en si los fluidos necesarios para un correcto funcionamiento de estos equipos.

2.1.1. Motores Diesel, su origen y composición

El motor diesel es un motor térmico de combustión interna cuyo encendido se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro. Fue inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1895, del cual deriva su nombre. Fue diseñado inicialmente y presentado en la feria internacional de 1900 en París como el primer motor para "biocombustible", como carbón pulverizado, aceite puro de palma o de coco."[6]

Este motor como se observa tiene un funcionamiento muy similar a los motores tradicionales a gasolina, ya que emplea un combustible que al entrar en contacto con el aire se combustiona. Sin embargo, la ignición del combustible

[6] http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_di%C3%A9sel

en este caso se logra por acción de la elevada temperatura del aire (obtenida por la elevada compresión del mismo) y por el bajo punto de inflamabilidad del combustible (bajo punto si se lo compara con la gasolina).

Ahora bien, hablando estructuralmente de los motores diesel, es necesario recordar que el funcionamiento de los mismos depende de características como son el peso y la velocidad de funcionamiento. Dependiendo de las características concretas de la aplicación, se recomienda el uso de un tipo de motor específico. Ahora bien, los motores diesel se clasifican en dos grandes grupos de acuerdo al peso o dimensiones del motor, y de acuerdo a la velocidad de funcionamiento.

Sin embargo, previo a explicar los principios que han determinado la clasificación de los motores, es necesario precisar ciertos aspectos generales del funcionamiento de un motor diesel. Primeramente, se debe entender claramente como se relaciona el peso y la velocidad. El principio de funcionamiento de los motores de combustión interna está regido por la transformación de energía de una explosión en movimiento rotacional. Ahora bien, la cantidad de potencia que produce el motor depende de la frecuencia con que el mismo desarrolla dicha energía. En otras palabras a mayor cantidad de explosiones dentro del motor, mayor energía y mayor potencia desarrollada en el motor.

Pero se había mencionado que la potencia depende tanto de la velocidad como del peso. Esto se entiende en que el peso y las dimensiones de los elementos móviles que son parte de la generación de movimiento también limitan o benefician a la potencia del motor. En efecto, a medida que la velocidad de giro del motor aumenta, los pistones se deslizan más rápido a lo largo de las paredes de los cilindros, con un aumento en el rozamiento y por ende una mayor probabilidad de desgaste. Pero, este problema puede verse solucionado con el aumento de pistones y reducción de la carrera de los mismos, haciendo que el rozamiento sea menor al ser menor el desplazamiento dentro de las camisas.

Esta variación de dimensiones de carrera por parte del pistón conllevará a que los motores puedan realizar mayor número de explosiones y por ende una mayor cantidad de movimientos o giros del cigüeñal. Este aumento de giros del cigüeñal es lo que se conoce como la velocidad de trabajo del motor.

En las líneas que anteceden por lo tanto, se ha explicado como las dimensiones del motor así como la velocidad de rotación son los parámetros que determinan las características de funcionamiento de un motor. Ahora bien, se explicará más determinadamente las clasificaciones de los motores de con base en sus dimensiones y su velocidad de funcionamiento.

1. Motores diesel de acuerdo a su velocidad de funcionamiento.

Cuando se habla de motores, se especifica que los mismos funcionan a altas, medias o bajas revoluciones de acuerdo al número de giros que realiza el cigüeñal, o visto de otra manera la frecuencia de explosiones que se registran en la cámara de combustión. Este aspecto de la velocidad conlleva una subclasificación de los motores ya que la velocidad de rotación de los motores diesel es muy diferente de un motor a otro. Dicha clasificación se presenta a continuación:

a. Motores rápidos: motores que exceden las 2000 RPM en funcionamiento. Dentro de este grupo se podría mencionar a los motores veloces porque sus rangos de operación están entre los 4000 y 5000 RPM.
b. Motores medianos: motores con velocidad de rotación del cigüeñal que va entre las 1000 y las 2000 RPM.
c. Motores lentos: motores que no pasan de unos pocos centenares de RPM. La ventaja principal de este tipo de motores es que queman productos pesados de petróleo y al ser de bajas rotaciones el desgaste es mucho menor.

Cabe mencionar adicionalmente que, la velocidad de rotación que se menciona anteriormente se aplica a los motores de tracción, los mismos que se encuentran compuestos por un pistón que posee movimiento alterno rectilíneo dentro de un cilindro o camisa cilíndrica. Este movimiento rectilíneo se transforma en movimiento rotacional a través de un sistema biela-manivela.

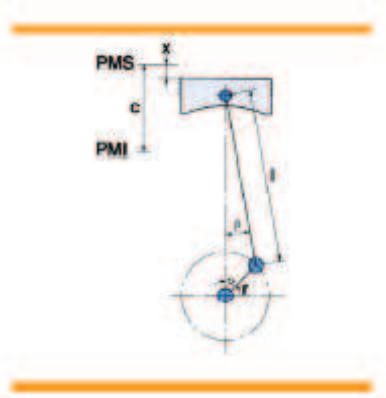


Figura 2.1.1.1. Conjunto biela-pistón-manivela[7]

Esta última aclaración en cuanto al conjunto biela-manivela y su capacidad de transformar movimiento alterno rectilíneo en movimiento circular es necesario saberlo ya que las velocidades de rotación están determinadas por la velocidad del pistón en el cilindro, y la misma se mide en m/s. Esta velocidad entonces es fundamental de ser conocida, ya que un exceso de la misma habrá de generar problemas en el motor como son el golpe de pistón contra las válvulas, y el pandeo de la cola de las válvulas. Por ello, es necesario conocer según el empleo que se dé al motor cuál es la velocidad del pistón. Para saber esta velocidad se presenta a continuación una tabla:

TIPO DE MOTOR A EMPLEAR	VELOCIDAD DEL PISTÓN
motor fijo (generador, lancha grande)	6-8 m/s
Vehículos pequeños	8-9 m/s
Vehículos de Motor	12-13 m/s
El automovilismo	más allá de 15 m/s

Tabla 2.1.1.1.- clasificación de los motores de acuerdo a la velocidad del pistón[8]

[7]http://www.salesianosburgos.com/DEPARTAMENTOS/Autos/apuntes/Apuntes%20de%20Motores/03Clasificacion%20de%20los%20motores.pdf

Es bueno mencionar que las dimensiones no son necesariamente semejantes a hablar del peso de un motor, ya que muchas veces se realizan diseños alternativos (cambio en las dimensiones) para motores, con la finalidad de mejorar tanto la velocidad de rotación como el peso. Ahora bien, cuanto mayor sea el tamaño y el peso un motor será más lento. Esta aclaración se puede entender de mejor manera observando la siguiente tabla que relaciona el peso con la velocidad de rotación para motores lentos.

Bore, in. (mm)	Stroke, in. (mm)	Speed, rpm	Piston Speed, fpm (m/s)	BMEP, psi (kp/cm²)	No. of Cyl.	Max. Cont. Rating, bhp	Weight, tons	Overall Length, ft-in. (mm)
20.47 (520)	43.31 (1,100)	174	1,255 (6.4)	150 (10.5)	5	4,750	160	29–0 (8,830)
					10	9,500	280	47–0 (14,330)
24.4 (620)	55.1 (1,400)	144	1,322 (6.7)	146 (10.2)	5	6,700	223	30–4 (9,235)
					12	16,600	460	57–7 (17,555)
29.5 (750)	63.0 (1,600)	123	1,291 (6.6)	151 (10.6)	5	10,250	375	39–11 (12,155)
					10	20,500	670	63–8 (19,405)
35.4 (900)	61 (1,550)	122	1,241 (6.3)	154 (10.9)	6	17,400	540	45–4 (13,820)
					12	34,800	1,075	81–7 (24,870)
41.3 (1,050)	70.9 (1,800)	106	1,252 (6.4)	155 (10.9)	6	24,000	895	49–6 (15,100)
					12	48,000	1,595	85–0 (25,900)

Figura 2.1.1.2. tabla explicativa de la relación entre el tamaño, peso y velocidad de rotación en motores lentos.

2. Motores diesel de acuerdo a sus dimensiones. [9]

Antes se había mencionado que la velocidad de rotación del motor esta directamente relacionada con el movimiento de los pistones, ya que dependiendo de las velocidades que alcancen los pistones, se podrá hablar si un motor es lento, mediano o rápido. Pero hay otra variante que se debe cuidar en los motores y es la dimensión del mismo. Se menciona esta característica de las dimensiones, porque muchas veces se realizan ordenamiento de los pistones con la finalidad de mejorar las condiciones de funcionamiento, pero alterando drásticamente las dimensiones. Este caso es generalmente visible en los motores con los cilindros en línea y con los cilindros en V.

---

[8] http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Diesel

[9] ADLEY Instituto, CURSO DE MOTORES DIESEL, http://www.salesianosburgos.com/DEPARTAMENTOS/Autos/apuntes/Apuntes%20de%20Motores/03Clasificacion%20de%20los%20motores.pdf

Como ya se tiene claro que los motores dependen de su diseño original para sus dimensiones, solo queda explicar brevemente como las dimensiones de los mismos alteran en el funcionamiento de los motores. Antes de continuar con la clasificación es bueno aclarar un aspecto importante como es la confusión que se puede presentar entre motores ligeros y pequeños. Cuando se habla de motores ligeros se está uno refiriendo al peso del mismo, o muchas veces al peso de los pistones principalmente; y cuando se habla de motores pequeños se habla del diseño del motor, o dicho de forma más simple se habla de las dimensiones en bruto del motor, sin dar mayor importancia a la configuración de pistones y otros elementos.

Algo muy peculiar que suele suceder cuando se malinterpreta la ligereza con las dimensiones, ya que muchas veces se trata de compensar el recorrido de los pistones haciendo más pequeñas a las camisas o los cilindros, pero para tener la misma potencia se debe aumentar el número de cilindros, lo que se entenderá como aumento de camisas o cilindros, conllevando ello un aumento de las dimensiones del motor.

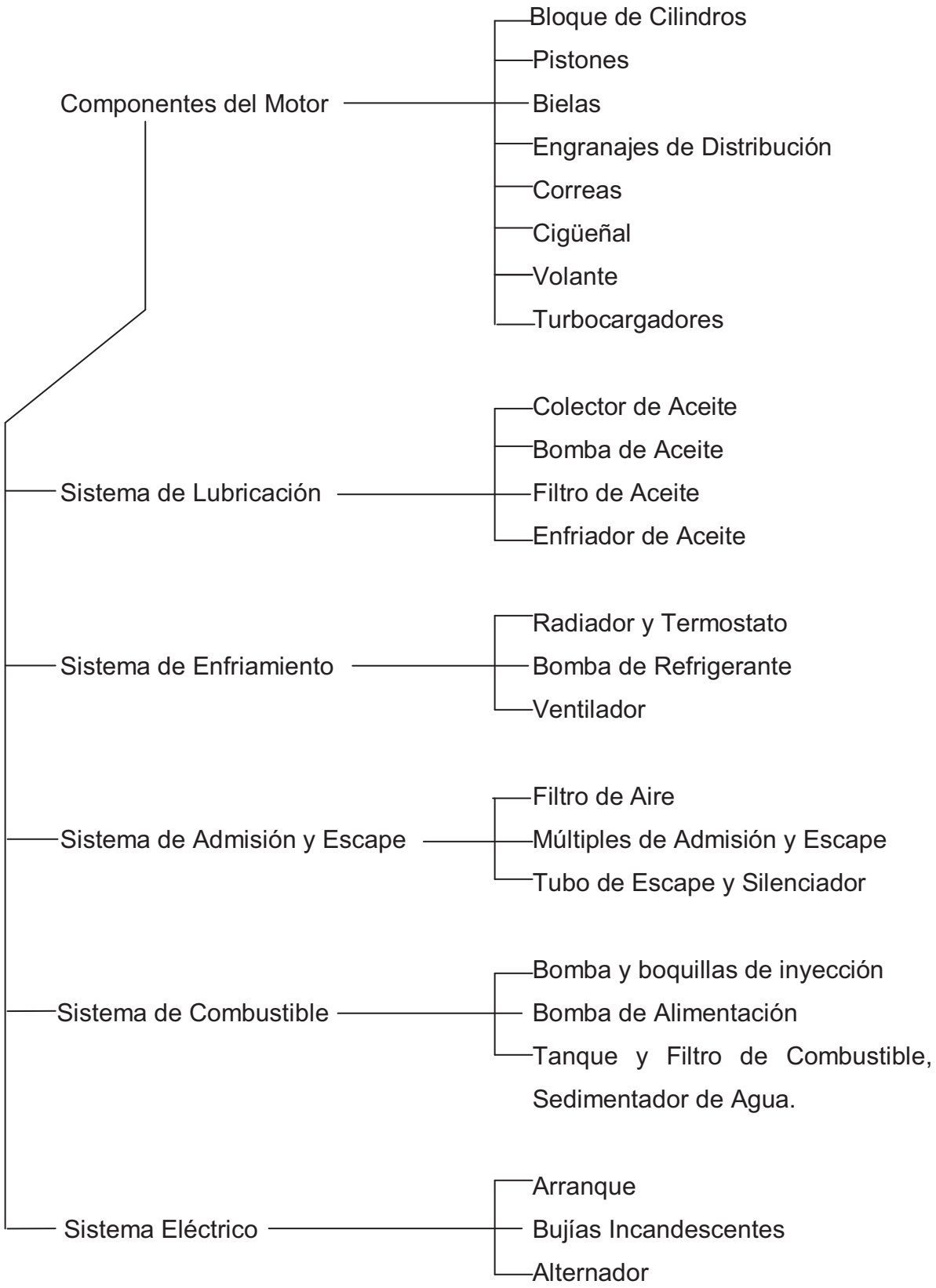
Con esta aclaración se puede por lo tanto clasificar a los motores de acuerdo a las dimensiones de la siguiente manera:

- **Motores pequeños:** por las dimensiones que poseen estos motores son capaces de trabajar entre 1800 y 4500 rpm, siendo los motores más veloces. Son fácilmente observables en vehículos pequeños familiares o camionetas.
  Esta alta velocidad se relaciona generalmente con la cantidad de cilindros y los recorridos que deben realizar los mismos. Se debe recordar que los pistones no deben realizar grandes desplazamientos dentro de los cilindros, por ello puede girar a mayores velocidades el cigüeñal. Generalmente estos motores poseen pocos cilindros, siendo muchas veces de hasta 4 cilindros.

- **Motores medianos:** el rango de operación es entre 600 y 1600 rpm. Son generalmente lentos, pero su mayor campo de aplicación esta principalmente en las industrias (de allí que sean motores industriales o navales), en locomotoras y para camiones pesados.
  Este tipo de motores poseen entre 6 y 8 cilindros generalmente. La disposición de los cilindros puede ser tanto en V como en Línea. La potencia que requieren los mismos es media, por ello no es necesario configuraciones de varios cilindros como sucede con los motores grandes.

- **Motores grandes:** son motores estacionarios que generalmente trabajan ininterrumpidamente. Debido a las dimensiones que alcanzan, su movimiento es mucho más lento, siendo por lo tanto relacionados o asemejados a los motores lentos. Es más, generalmente cuando se habla de un motor grande, se lo asocia con la idea que son motores lentos.
  Además, estos motores son diseñados para altas potencias y por ello el número de cilindros va de los 12 a los 16. La disposición más común es "Cilindros en V".

Una vez identificados los grupos de funcionamiento aplicables a los motores, es necesario entender como es su estructura, a fin de conocer como el análisis del aceite se convertirá en la herramienta ideal para la ejecución de un adecuado programa de mantenimiento preventivo para las unidades.
Además, al conocer la estructura de los motores, se habrán de identificar los sistemas internos del motor, los materiales que los componen, las dimensiones de los elementos internos y sus formas, dimensiones y separaciones entre si. Es por ello que se explicará brevemente cada uno de los siguientes sistemas y partes:



Organigrama 2.1.1.1.- sistemas y partes de un motor diesel tradicional

Una vez que se tiene claro cuáles son los elementos principales que habrán de producir movimiento en un motor diesel, es necesario dar una primera visión de la importancia y funcionamiento de los sistemas que funcionan simultáneamente dentro del motor. Los sistemas son:

- Sistema de Lubricación: es quizá uno de los más importantes, ya que no sólo se encarga de mantener engrasados los diferentes elementos internos del motor, sino que ayuda a reducir el desgaste de los mismos al disminuir el rozamiento. Adicionalmente, en ciertas partes del motor a la vez que lubrica a la superficie, es también una sustancia que extrae calor superficial (por ello se dice que es empleado en el enfriamiento de elementos internos del motor). Así pues, se observa que los aceites lubricantes del motor no solo están diseñados para lubricar sino que son sustancias refrigerantes en los elementos internos donde el agua o la sustancia refrigerante del motor no llega.

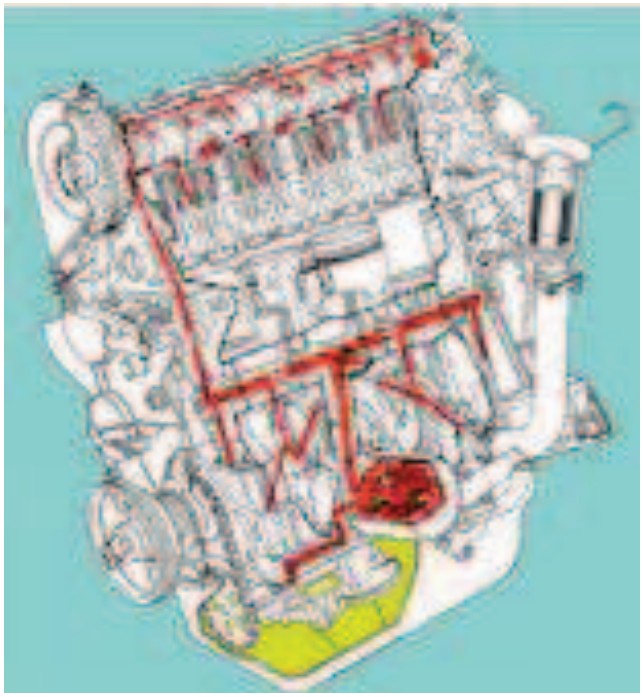


Figura 2.1.1.3.- esquema del sistema de lubricación del motor diesel[10]

[10]http://3.bp.blogspot.com/_HcyQjXHA_WM/Rh_Bbc5cWGI/AAAAAAAAAFc/vfaRdEDYK5I/s1600-h/figura8.jpg

- Sistema de Enfriamiento: su función principal es la extracción del exceso de calor que se produce internamente en el motor a consecuencia del calor generado por la combustión interna así como el rozamiento que se produce entre los elementos internos del motor. Cabe mencionar que este sistema usa agua como la sustancia principal para la extracción del calor; pero, adicionalmente utiliza aceite para extraer el calor de sectores con poco espacio o poca holgura entre los elementos y donde el agua no puede entrar en contacto con dichos elementos (esto es fácilmente apreciable en el motor, la transmisión y los sistemas hidráulicos de ciertos equipos).

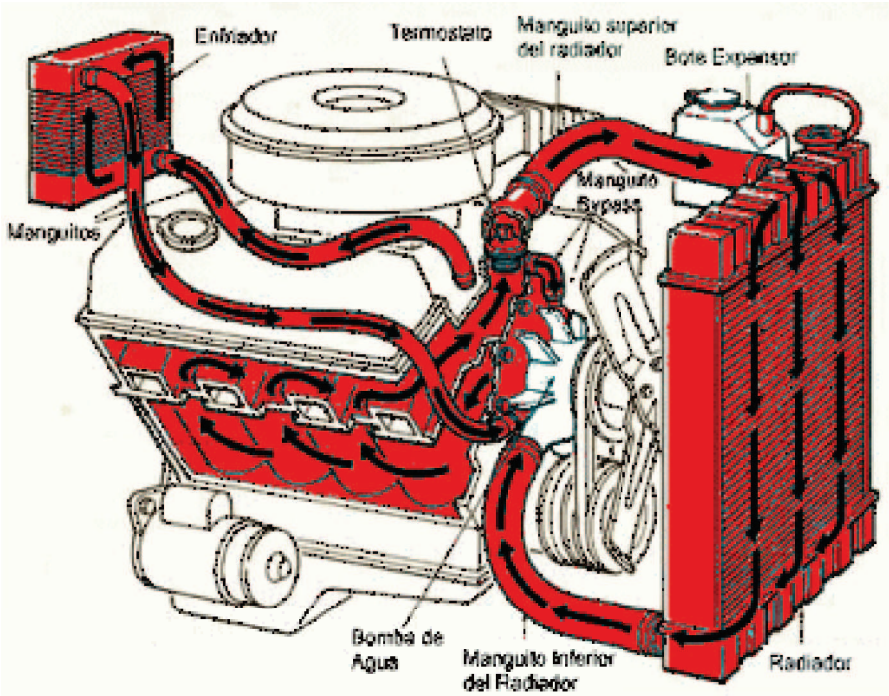


Figura 2.1.1.4.- esquema del sistema de enfriamiento del motor diesel[11]

- Sistema de Admisión de Aire y Escape de Gases de Combustión: sin este sistema no podría funcionar el equipo, ya que es necesario que exista aire y en grandes cantidades debido a las relaciones elevadas de compresión que maneja este modelo de motores; además, el sistema debe estar adecuado para cambiar las condiciones físicas del aire en un amplio rango y en cuestión de segundos. Este sistema es el encargado de proveer el aire para la combustión, pero el mismo habrá de ser

[11]http://www.bricopage.com/como_se_hace/automovil/Figuraes/refrigeracion.gif

filtrado y comprimido antes de ingresar en la cámara de combustión. Dados los requerimientos de estos motores es necesaria la implementación de un turbocompresor o también conocido como turbocargador.

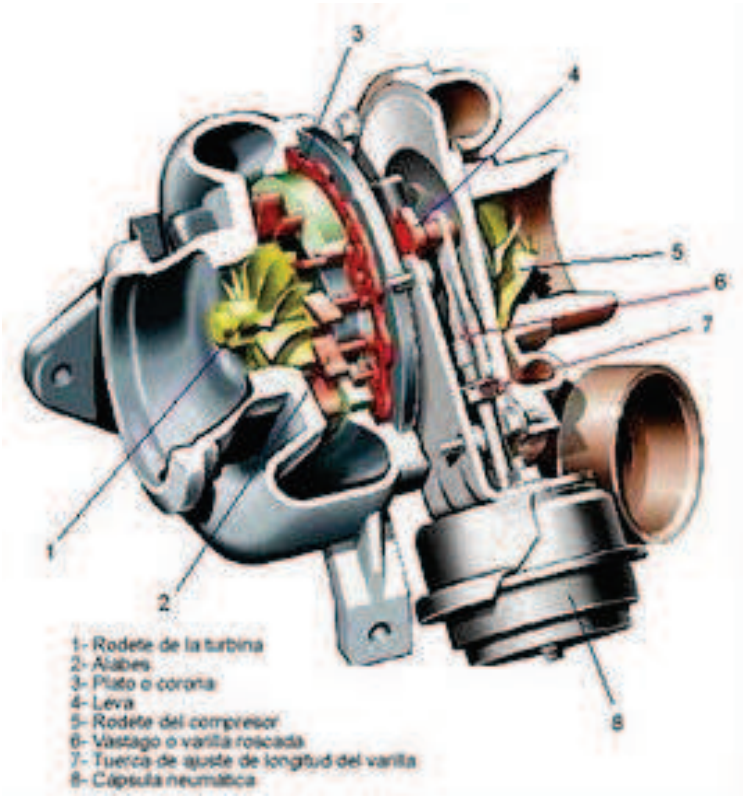


Figura 2.1.1.5.- esquema de un turbocompresor y sus partes para motor diesel[12]

- Sistema de Combustible: este sistema es el encargado del transporte y distribución del combustible desde el tanque de almacenamiento hasta la cámara de combustión. Este transporte no es tan sencillo porque el combustible debe llegar en las condiciones justas para garantizar una buena mezcla con el aire. Es por ello que este sistema tiene dos etapas: la de baja presión para la movilización del combustible desde el depósito a la bomba inyectora y de alta presión para inyectar y pulverizar el combustible mientras el mismo es depositado en la cámara de combustión.

[12] http://maquinariasagricolas.blogspot.com/

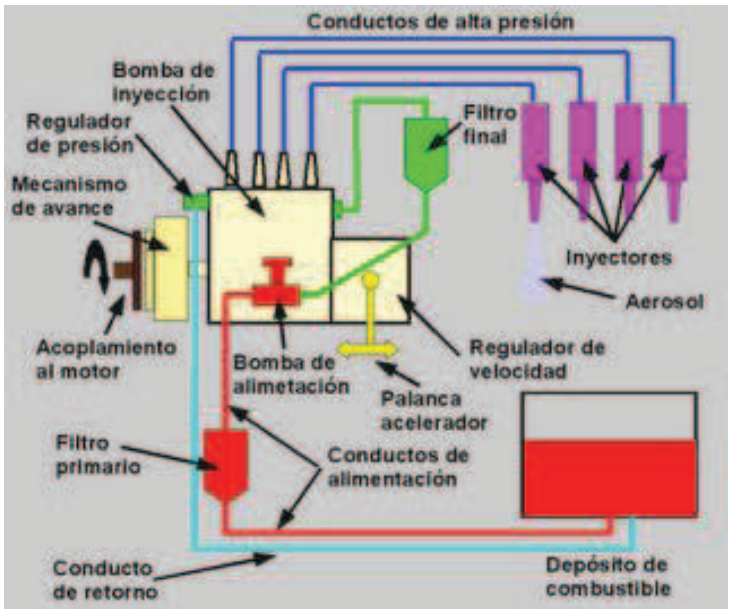


Figura 2.1.1.6.- esquema del sistema de combustible desde el depósito hasta la inyección en la cámara de combustión[13]

2.1.2. Sistema de lubricación de un motor diesel.

El sistema de lubricación del motor diesel es necesario de ser estudiado de manera minuciosa, no por su complejidad, sino porque es necesario entender cómo funciona la lubricación en el motor, y en que sectores del equipo este sistema actúa; para conocer las zonas con mayores y/o menores tasas de desgaste.

2.1.2.1. Principio de Trabajo.

El circuito de lubricación de motores diesel comienza en el cárter (depósito) en donde se almacena y de cierta manera se deja enfriar el aceite del motor. Cuando un equipo entra en funcionamiento, el aceite es chupado por la bomba de aceite. Antes de lubricar cualquier sector del motor hay que estar seguro que aceite no esté sucio, es por ello que esta sustancia debe ser previamente filtrada antes de ser enviada al motor, para con ello evitar que partículas contaminantes que se encuentran suspendidas en el entorno ya sea de trabajo o de mantenimiento del equipo entren en contactos con los elementos internos

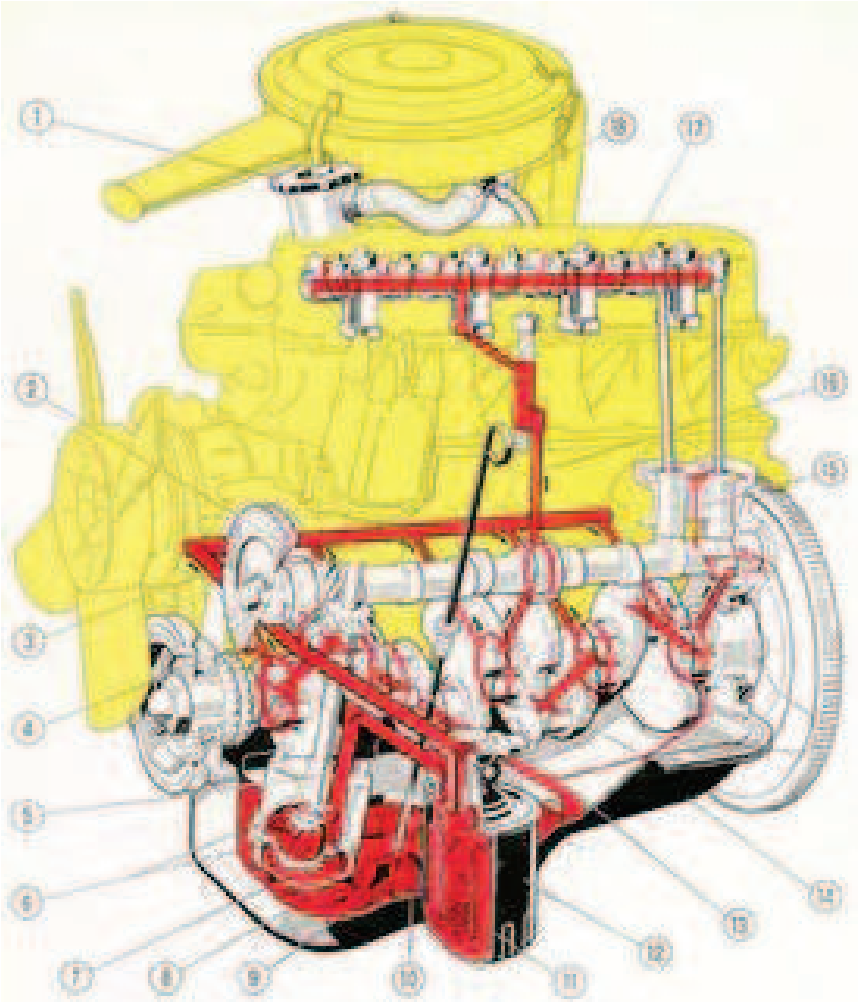
[13] http://maquinariasagricolas.blogspot.com/

del motor, ya que dichas partículas contaminantes son abrasivas y pueden provocar desgaste de elementos internos cuyas superficies sean blandas; y peor aún que dichas partículas se puedan adherir a las superficies de los elementos móviles con el consiguiente cambio en las dimensiones (sea del elemento como de las zonas de holgura o apriete existentes).

Luego de haber sido filtrado el aceite, éste es enviado a través de un conducto hacia el cigüeñal y hacia el árbol de levas. En el cigüeñal el aceite es inyectado hacia los muñones de bancada para que de allí sea distribuido hacia los asientos de biela. En cuanto a la lubricación del pistón, ésta se da por acción de salpicaduras producidas por surtidores de aceite que se encuentran adecuadamente direccionados hacia las paredes de las camisas como hacia el bulón.

El otro sector que debe ser lubricado es el árbol de levas y los balancines, asegurando con esta lubricación el funcionamiento adecuado y certero de las válvulas de admisión y escape.

Una vez que la lubricación de todos los elementos que se hallan en movimiento ha terminado, el aceite por gravedad es recolectado nuevamente y transportado por ductos hacia el depósito o cárter.



1- Boca de carga para el aceite.

2- Taladro para engrase de cadena de distribución.

3- Conducto para el aceite, del filtro al cigüeñal.

4- Taladros de engrase de los piñones de arrastre de la bomba de aceite y la cadena de distribución.

5- Conducto, para el aceite, de la bomba al filtro.

6- Bomba de aceite.

7- Válvula de descarga.

8- Varilla indicadora del nivel de aceite.

9- Filtro de la trompa de aspiración de la bomba de aceite.

10- Tapón de descarga del aceite.

11- Válvula de seguridad en caso de obstrucción del filtro de aceite.

12- Filtro de aceite con cartucho, a caudal total.

13- Transmisor de presión aceite.

14- Cárter de aceite.

15- Descarga de aceite del eje porta balancines.
16- Conducto para el aceite, al eje porta balancines.
17- Canalización del eje porta balancines.
18- Canalización de respiración cerrada del motor enlaza a la tapa de balancines y a la toma de aire del carburador.

Figura 2.1.2.1.1.- diagrama del sistema de lubricación de un motor diesel, con un listado de los elementos que los componen

2.1.2.2. Elementos del sistema de lubricación de un motor diesel.

Esta sección es de vital importancia en el desarrollo del proyecto porque ayuda a comprender como se da el proceso de lubricación del motor. Este estudio no puede comenzar sin antes mencionar ciertas condiciones especiales que presentan los motores diesel, las mismas que son:

- Los motores de combustión interna (motores a diesel y motores a gasolina) poseen el mismo sistema de lubricación, ya que su diseño es similar. Lo que sí es una característica sobresaliente de los motores a diesel es la cantidad de carbón generado durante la combustión, de allí que los filtros de aceite sean de diseños singulares adecuados para este tipo de motor.
- Dentro de los sistemas y partes sobresalientes del motor, y las cuales se encuentran relacionadas con la lubricación se tiene que mencionar la presencia o disposición del cárter. Es necesario realizar esta mención porque estructuralmente hay dos tipos de cárter, que según sea el caso, presentarán características constructivas, de diseño y lubricación muy diferentes. Estas disposiciones se las conoce como “Motores con cárter Seco” y “Motores con cárter húmedo”.
- Un motor a diesel requiere de un enfriador de aceite, ya que la temperatura de trabajo es generalmente elevada y también hay que recordar que las piezas en movimiento se encuentran sometidas a grandes esfuerzos.

- No se debe emplear un aceite de motor a gasolina en un motor a diesel ya que las condiciones de fabricación del aceite lubricante son específicas para cada tipo de combustible.

Como se ha mencionado, el análisis de este sistema del motor presentará ciertos elementos que están especialmente formulados y diseñados para este tipo de motor. Por ello que se tiene las siguientes partes:

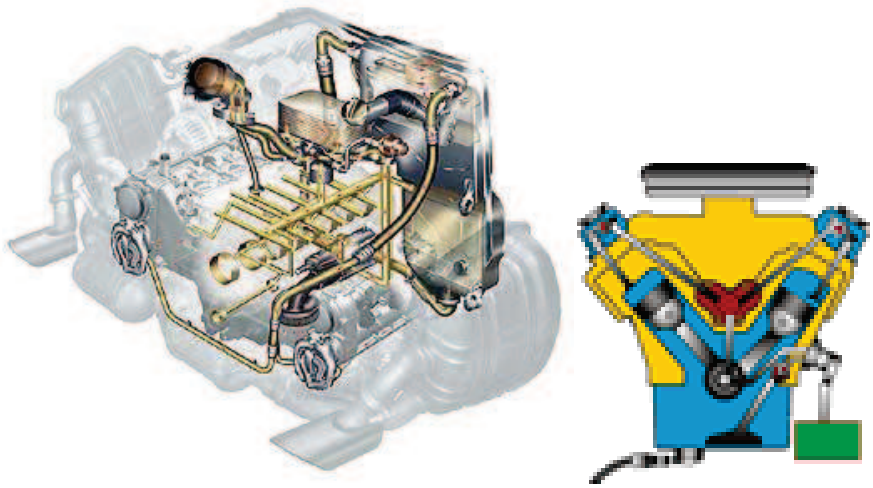
- Lubricación de cárter seco[14].-

  Se dice que un motor tiene cárter seco cuando el aceite que proviene de los elementos móviles, y a los cuales ha lubricado, es enviado a un depósito separado. Este diseño requiere de una bomba adicional que es la encargada de bombear el fluido del cárter al depósito contiguo, mientras que, de este depósito adicional es tranquilamente bombeado por la bomba de aceite hacia los elementos móviles a lubricar.

  Ahora bien, hablando dimensionalmente, los motores que poseen lubricación por presencia de un cárter seco han sido diseñados para permitir bajar el motor o aumentar la distancia libre al suelo. Con ello se busca dar mayor funcionalidad al equipo.

  Entre las ventajas de operación que presenta este diseño está el evitar que entre aire a la bomba cuando se desplaza el aceite a causa de la fuerza centrífuga. Pero quizá la mayor ventaja que presenta este diseño esta en mejorar la lubricación de cárter húmedo, ya que la misma es insuficiente debido a sus movimientos bruscos de aceleración, curvas y frenadas.

[14] http://www.uamerica.edu.co/motores/d1/pages/lub_cart_sec.htm



a) b)

Figura 2.1.2.2.1.- esquema de la lubricación con cárter seco (a) y disposición del tanque adicional (en color verde) en lubricación con cárter seco (b)

- Lubricación de cárter húmedo[15].-

  En este diseño, se sabe que todo el aceite proveniente de los elementos lubricados se depositará en el cárter, el mismo que se encuentra en la parte baja del motor. El cárter húmedo luego de recoger el aceite y almacenarlo. Este diseño emplea una sola bomba, la misma que se encarga de absorber el aceite y llevarlo a los elementos a lubricar.

  Este tipo de cárter tiene una dimensión adecuada para contener todo el aceite de lubricación. En su superficie inferior posee una tapa de rosca a través de la cual es posible vaciar todo su contenido.

  La forma de lubricar es la siguiente: el aceite pasa del canal a los cojinetes del cigüeñal a través de conductos perforados en el bloque; uno de estos tiene un agujero por donde pasa el aceite hacia el bloque. El aceite pasa desde los cojinetes de los codos a los de los apoyos a través de canales diagonales muy finos taladrados a través de los asientos y contrapesos del cigüeñal hasta los codos.

  El cojinete del pie de la biela se puede lubricar de dos formas, el primero utiliza un agujero que atraviesa esta, la segunda utiliza la salpicadura

[15] http://www.uamerica.edu.co/motores/d1/pages/lub_cart_hum.htm

(ver figura) con los contrapesos del cigüeñal que al sumergirse en el aceite arrojan cierta cantidad de este a la biela y a su pie. Con este método se lubrica la pared del cilindro.

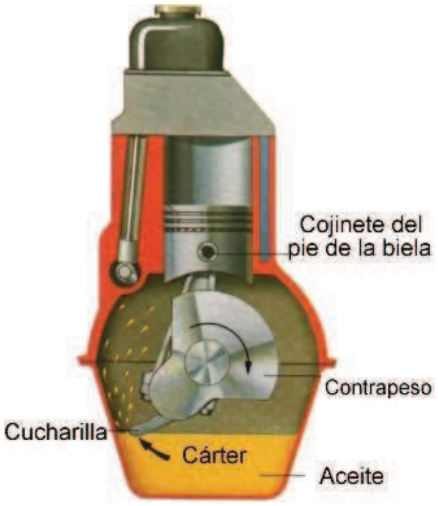


Figura 2.1.2.2.2.- depósito del aceite en el cárter, observándose que el sistema es de cárter húmedo.

Cuando se analiza la lubricación del eje de levas, este se realiza por medio de un conducto central, de modo que lubrica directamente los cojinetes y asientos. Mientras que la lubricación de las válvulas se lleva a cabo mediante goteo directo.

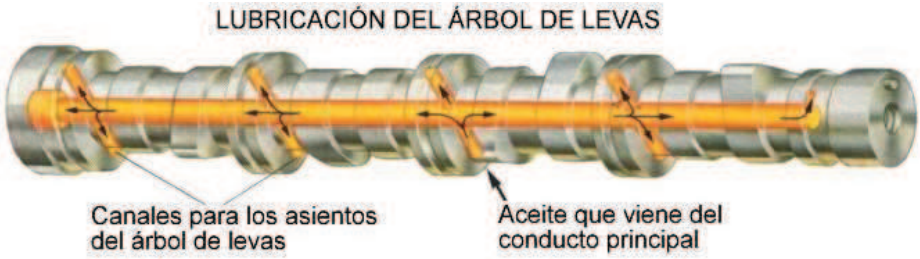


Figura 2.1.2.2.3.- lubricación del árbol de levas

Quizá la mayor desventaja de este sistema de lubricación radica en que el aceite se puede salir por el tubo de recolección de la bomba de aceite durante los maniobras altamente dinámicas tales como el manejo en curvas cerradas, frenado y aceleración. Esto ocasiona que el aceite del

motor se agote, provocando daño en los cojinetes o una falla catastrófica en el motor.[16]

- Filtro de aceite de dos elementos: los motores a diesel utilizan filtros de 2 elementos, en donde al fluido se lo hace circular por la cámara principal (elemento de flujo completo) y posteriormente recircular a través del elemento derivador. Este filtro va entre la bomba de aceite y el depósito de aceite (cárter) del motor.

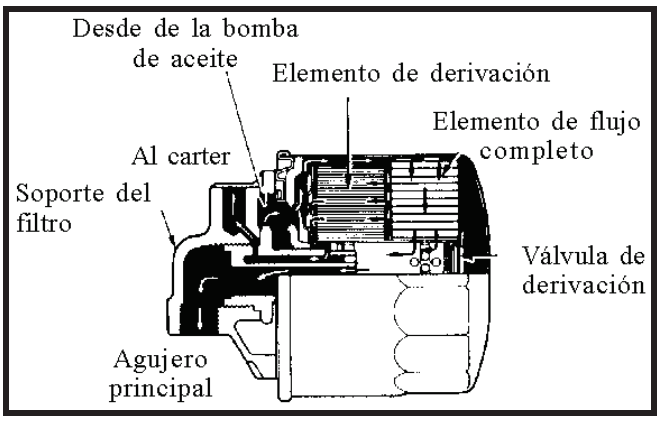
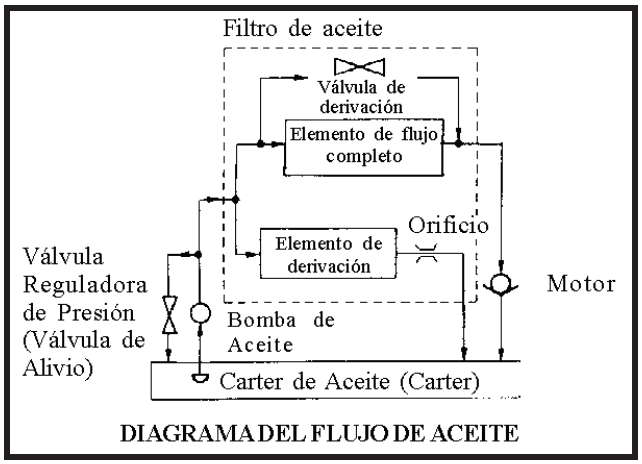


Figura 2.1.2.2.4.- estructura interna de un filtro de aceite

La utilidad de poseer una recirculación del aceite radica en la necesidad de atrapar impurezas de grandes dimensiones (de 10 o más micrones) en la primera etapa (o de circulación), mientras la recirculación es para retener lodos y hollín de carbón, asegurando una mejor calidad del aceite.



[16] http://www.todoautos.com.pe/f17/carter-seco-21089.html

Figura 2.1.2.2.5.- diagrama del flujo del aceite al interior del sistema de lubricación

- Enfriador de aceite: generalmente por las elevadas temperaturas alcanzadas por el equipo es necesario un enfriador del aceite, de igual manera que el enfriador del sistema de refrigeración del motor. Es así que muchos equipos poseen un radiador pequeño, que trabaja con agua (Figura 2.1.2.2.6.a). Los enfriadores de aceite normalmente tienen válvulas de alivio para prevenir daños debidos al incremento de viscosidad del aceite a bajas temperaturas (Figura 2.1.2.2.6.b).

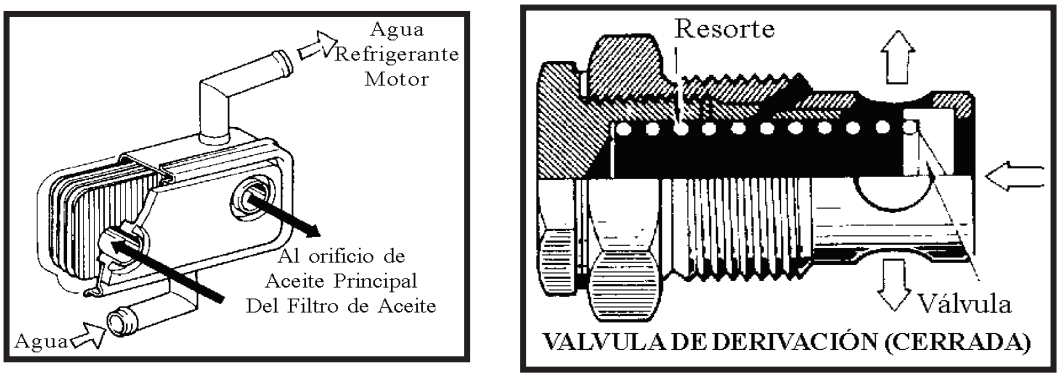


Figura 2.1.2.2.6.- radiador pequeño utilizado para enfriamiento del aceite (a) y esquema de una válvula de derivación o válvula de alivio de presiones (b)

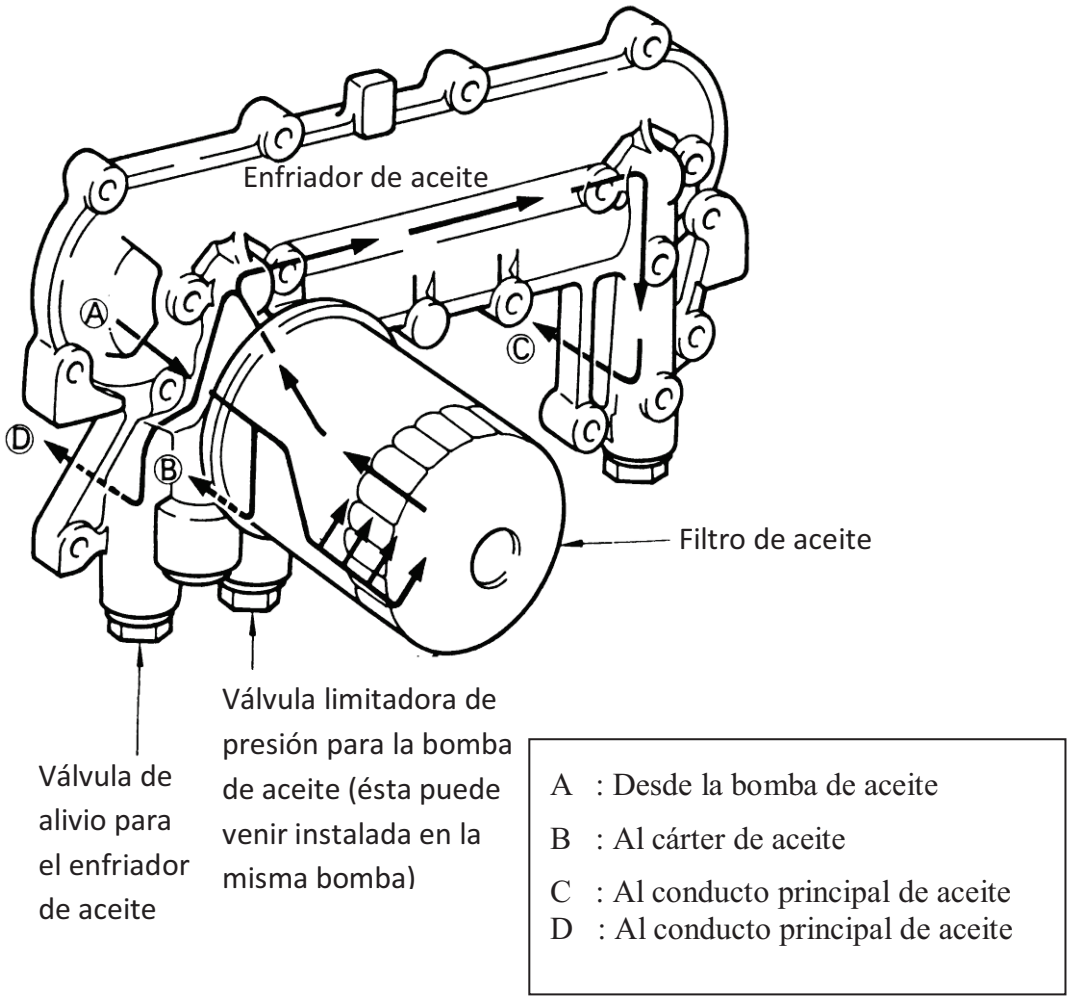


Figura 2.1.2.2.7.- Esquema completo del mecanismo de refrigeración del aceite lubricante previo a su empleo a través del sistema de lubricación.

Cuando la diferencia de presión entre el lado de entrada y el lado de salida del enfriador de aceite aumenta aproximadamente a 1.5 kg/cm2 (21.3 psi) o más, la válvula de alivio se abre y el aceite se desvía del enfriador de aceite y circula a otras piezas del motor.

- Inyector de aceite: este elemento no es generalizado pero si adecuado para motores a diesel, ya que es utilizado para enfriar la parte interior de los pistones. Parte del aceite que circula desde el conducto principal de aceite en el bloque de cilindros pasa por la válvula de retención y es inyectado bajo presión desde las boquillas de aceite para enfriar el interior de los pistones.

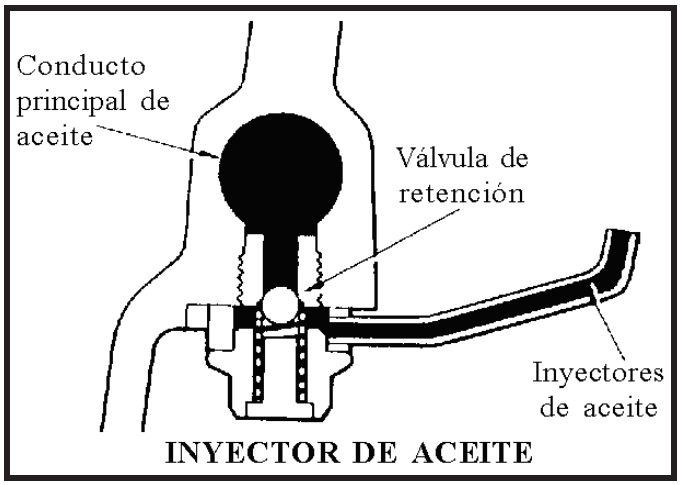


Figura 2.1.2.2.8.- esquema del inyector de aceite para las camisas y pistones.

- Válvula de retención: la válvula de retención contiene un resorte y una bola retenedora, que actúan para cortar el suministro de aceite a los inyectores de aceite si la presión del aceite cae aproximadamente a 1.41 kg/m^2 (20 psi). Esto es para evitar que la presión del aceite en el circuito de lubricación disminuya demasiado.

  Se utilizan dos tipos de válvulas de retención para los inyectores de aceite. Un tipo que es utilizado para cada uno de los inyectores de aceite; y el otro tipo que es una válvula de retención simple, la cual es para todos los inyectores de aceite.

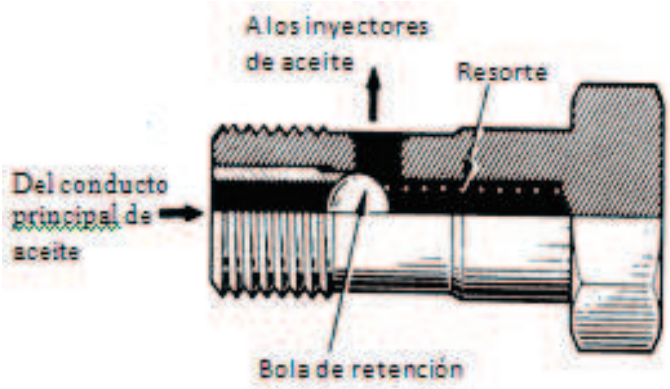


Figura 2.1.2.2.9.- estructura de la válvula de retención

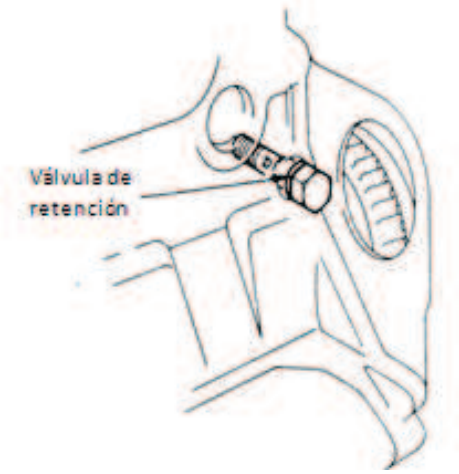


Figura 2.1.2.2.10.- ubicación de la válvula de retención en el bloque del motor

2.1.2.3. Elementos lubricados.

Una vez que se tiene claro como recorre el lubricante a través del motor, es necesario identificar los elementos internos que son cubiertos, y de ser posible conocer las dimensiones, juegos existentes así como los materiales que conforman a cada uno de los elementos. Con estos datos se podrá conocer no solo las tasas de desgaste que pueden presentar los diferentes componentes internos del motor sino también las partículas que los mismos pierden por causa del rozamiento.

Es por ello que, debido a la variedad tanto de equipos como modelos que posee la compañía, se ha pensado utilizar valores de equipos similares, y en este caso se utilizarán los valores de dimensiones, juegos y límites de desgaste de motores marinos. En la siguiente tabla se encuentran los datos organizados:

ELEMENTOS	DIMENSIONES
COJINETES PRINCIPALES	
Juego entre árbol y cojinete (nuevos)	0.15 a 0.20 mm
Juego entre árbol y el cojinete (desgaste máximo admisible)	0.30 mm
Espesor mínimo admisible en el cojinete (desgastado)	12.5 mm
Juego del cojinete de empuje (nuevo)	0.13 a 0.18 mm

Juego del cojinete de empuje (desgaste máximo admisible)	0.46 mm
BIELA	
Juego entre el cojinete y el muñón del cigüeñal (nuevo)	0.15 a 0.20 mm
Juego entre el cojinete y el muñón del cigüeñal (desgaste máximo admisible)	0.30 mm
Espesor mínimo admisible en el cojinete (desgastado)	9.5 mm
Diámetro del muñón del cigüeñal (nuevo)	190.45 a 190.50 mm
Diámetro del eje de pistón (nuevo)	99.975 a 100.00 mm
Diámetro mínimo admisible en el bulón (desgastado)	99.987 mm
PISTÓN Y CAMISA	
Juego entre la cabeza del pistón y la camisa (nuevo)[17]	1.6 a 1.70 mm
Juego entre la falda del pistón y la camisa (nuevo)	0.4 a 0.5 mm
Juego máximo admisible entre el pistón y la camisa (desgastado, en el cuerpo del pistón)	0.76 mm
DIMENSIONES DE UN PISTÓN NUEVO	
Diámetro superior	253.30 a 253.40 mm
Entre las ranuras de aro números 1 y 3	253.90 a 253.95 mm
Entre las ranuras de aro números 3 y 5	254.10 a 254.15 mm
Entre los aros rascadores números 5 y 2	254.30 a 254.35 mm
Cuerpo del pistón	254.55 a 254.60 mm
DIMENSIONES DEL PISTÓN Y CAMISA DESGASTADOS	
Diámetro mínimo admisible en el pistón (desgastado) en	254.20 mm

[17] Se menciona un valor de juego u holgura en la parte superior o cabeza del pistón y en la parte inferior o falda del pistón porque el pistón no se encuentra fabricado en forma cilíndrica sino cónica. Las dimensiones del diámetro en la cabeza son menores a las dimensiones del diámetro en la falda porque se debe considerar las variación volumétrica que sufre el pistón por acción de la elevada temperatura en la cámara de combustión.

la unión de las conicidades (falda del pistón)	
Diámetro interno de la camisa del cilindro (nueva)	255 a 255.05 mm
Diámetro máximo admisible en la camisa (desgastada)	255.75 mm
Ovalado máximo admisible en la camisa (desgastada)	0.25 mm
Diámetro interior del agujero del agujero del bulón (nuevo)	99.987 a 100.03 mm
Diámetro interior máximo admisible del agujero del bulón (desgastado)	100.03 mm
Juego entre el bulón y su agujero (nuevo)	0.05 a 0.10 mm
Juego máximo admisible entre el bulón y su agujero (desgastado)	0.25 mm
ANILLOS DEL PISTÓN	
Holgura entre puntas del anillo de fuego (nuevo)	1 mm
Holgura entre puntas del anillo de fuego (desgaste máximo admisible)	3.2 mm
Holgura entre puntas del anillo rascador (nuevo)	0.65 mm
Holgura entre puntas del anillo rascador (desgaste máximo admisible)	3.2 mm
Juego lateral del anillo de fuego y el anillo de compresión (nuevo)	0.23 a 0.30 mm
Juego lateral de los anillos de compresión (nuevo) números 3,4 y 5	0.10 a 0.18 mm
Juego lateral del anillo de fuego y el anillo de compresión (desgaste máximo admisible)	0.38 mm
Juego lateral de los anillos de compresión (desgaste máximo admisible) números 3,4 y 5	0.25 mm
Juego lateral del anillo rascador (nuevo)	0.10 a 0.18 mm
Juego lateral del anillo rascador (desgaste máximo admisible)	0.25 mm
CULATA	

Ajuste de la válvula de seguridad (a presión hidrostática)	158 kg/cm2
Par de montaje de la tuerca de sujeción de la culata al block	138 m.kg
Par de montaje de la tuerca ciega que sujeta la camisa y culata	13.5 a 14 m.kg
Distorsión	0.02 a 0.05 mm
EJE DE LEVAS	
Espesor mínimo admisible en el cojinete (desgastado)	1.5 mm
Juego entre el eje y el cojinete (nuevo)	0.05 a 0.10 mm
Juego extremo máximo admisible (desgastado)	0.30 mm
Juego extremo (nuevo)	0.05 mm
Juego máximo admisible entre cojinete y eje (desgastado)	0.30 mm
VÁLVULAS	
Juego de la varilla de mando de la válvula de escape (fría)	0.5 mm
Juego de la varilla de mando de la válvula de admisión (fría)	0.5 mm
Juego entre la guía de la válvula de admisión y en vástago (nuevos)	0.075 a 0. 125 mm
Juego máximo admisible entre la guía de la válvula de admisión y su vástago (desgastadas)	0.25 mm
Juego entre la guía de la válvula de escape y su vástago (nuevas)	0.15 a 0.20 mm
Juego máximo admisible entre la guía de la válvula de escape y su vástago (desgastados)	0.38 mm
Diámetro del vástago de la válvula de admisión	18.97 a 19 mm
Diámetro del vástago de la válvula de escape (nueva)	18.82 a 19.85 mm

CIGÜEÑAL	
Radios de curvatura de los muñones	
Juego entre muñón de bancada y cojinete (nuevo)	0.15 a 0.20 mm
Juego entre muñón de bancada y cojinete (desgastado)	0.30 mm
Espesor mínimo admisible en el cojinete (desgastado)	12.5 mm
Juego del cojinete de empuje (nuevo)	0.13 a 0.18 mm
Juego del cojinete de empuje (desgaste máximo admisible)	0.46 mm
VARIOS	
Presión de apertura de la tobera de inyección	210 kg/cm2
Aceite de engrase recomendado	SAE 40
Aceite de engrase recomendado (sustituto de 1era calidad)	SAE 40

En la tabla precedente se encuentran enlistados los principales elementos que se habrán de encontrar lubricados, ahora es necesario conocer la constitución de los mismos, con el fin de saber las partículas que perderá como parte del proceso de desgaste. Esta información se encontrará tabulada a continuación[18]:

ELEMENTO	MATERIALES CONTITUTIVOS
Cojinetes	Composición de aleación para cojinetes, que comprende en % en peso: estaño 5-10; cobre 07-1.3; níquel.07-1.3; sílice 1.5-3.5; vanadio 0.1-0.3; manganeso 0.1-0.3; el resto aluminio, aparte de las impurezas inevitables.[19]

[18] http://seatpanda.mforos.com/1473183/8663222-materiales-empleados-en-un-motor-trabajo-terminado/?pag=2
[19] http://patentados.com/invento/materiales-para-cojinetes.html

Árbol de levas	Los árboles de levas pueden ser fabricados de una sola pieza o como un eje y las bielas por separado, y luego las mismas serán montadas en el eje y aseguradas al mismo sea por procesos de soldadura o introducidas con ajuste al eje. Los materiales más empleados en la fabricación de un árbol de levas pueden ser acero o fundición. Cuando son fabricados de una sola pieza el proceso de fabricación es mediante forja, caso contrario las levas y el árbol son fabricados por virutaje. Luego suelen someterse a acabados superficiales como cementados, para endurecer la superficie del árbol y levas, pero no su núcleo. Un acero de gran resistencia para forja que no contiene más de 0,7% en masa de Ni, 0,03-0,35% en masa (en total) de al menos un elemento de V, Nb y Ta, y 30-250 ppm de nitrógeno. Tiene una micro estructura compuesta principalmente de bainita y martensita.[20]
Bielas	Pieza alargada que une el pistón con el cigüeñal para convertir el movimiento lineal del pistón en giratorio. Suelen estar contener conductos por los que circula el aceite lubricante necesario en el pistón. El metal utilizado es acero al carbono aleado con níquel, cromo-manganeso o con níquel-cromo-molibdeno o de fundición de hierro con grafio esferoidal mecanizado posteriormente. Para los motores de competición se utiliza aleación de titanio.

[20] http://patentados.com/invento/acero-de-gran-resistencia-para-forja-y-ciguenal-hecho-a-partir-del-mismo.html

Pistones	También llamados émbolos, son elementos fabricados de aluminio. Posee tres ranuras sobre las que irán insertados los aros o segmentos de compresión, que se fabrican en fundición de hierro con aleación de carbono silicio y manganeso para dotarles de flexibilidad. En la actualidad se está fabricando en aluminio fundido en la mayoría de los casos. Cabe mencionar que este elemento presenta dos segmentos: • El segmento superior está diseñado para trabajar a compresión, con el fin de evitar fugas de gases. • El segmento inferior cumple la función de engrase y está diseñado para la limpieza de las paredes del cilindro del aceite cuando el pistón está moviéndose hacia el punto muerto inferior del cilindro.[21]

[21] http://maquinariasagricolas.blogspot.com/2008/12/historia.html

Camisas[22]	Es el recinto por donde se desplaza el pistón. Esta hecho con un metal fuerte para soportar un trabajo a alta temperatura con explosiones constantes. Este elemento requiere tener una facilidad de enfriamiento, por ello se lo rodea de aluminio, ya que presenta no solo facilidad de enfriamiento sino ligereza. Ahora bien, hay tres opciones de construcción para las camisas, y ellas son: • camisa de hierro (fundición) y cuerpo de aluminio: se confeccionan las dos piezas por separado, se preparan y se coloca la camisa en el interior del cuerpo para ello se coloca el cuerpo en un baño de aceite, superior a 200º aprox. para que dilate y la incrustación del cilindro sea más sencilla aunque es necesario el uso de una prensa. • fundición centrifugada: se funde el cuerpo de aluminio directamente sobre la camisa. • cilindro de aluminio cromado: actualmente es el más utilizado se realiza el cuerpo y la camisa en una única pieza fundida y se le aplica por medio de un baño electrolítico , un baño o capa de cromado duro llamado así para distinguirlo del típico cromado decorativo que es brillante este baño es como mínimo de 1 decima de espesor. Estos cilindros no son fáciles de rectificar, ya que habría que darles un nuevo baño electrolítico y eso a lo mejor no nos es rentable.

[22] http://www.gratiszona.com/motor/motor-dos-tiempos/06-tipos-de-camisas-segun-el-roce-de-materiales.htm

Anillos del pistón[23]	Los anillos de pistón están sujetos al desgaste al frotarse contra el cilindro. Para minimizar esto, los anillos son fabricados con materiales resistentes al desgaste como el hierro y el acero y son tratados con una capa adicional para mejorar su aguante. Típicamente, los anillos superiores y de control de aceite estarán cubiertos con una capa de Cromo o Nitruro rociado o tienen una capa cerámica de PVD (physical vapor deposit). El anillo inferior de control de aceite está diseñado para soltar una capa de aceite micrométrica en las paredes del cilindro, mientras el pistón desciende.
Culata	Es la cubierta de los cilindros. Es una pieza generalmente de hierro fundido (Fe, Cr y Ni) ya que este componente presenta una gran resistencia mecánica y térmica siendo además muy resistente frente a la deformación. Ocasionalmente pueden verse motores con culatas fabricadas en aleación de aluminio (Al, Si y Mg) que presentan una buena resistencia, peso reducido y gran conductividad térmica. En esencia una culata estará fabricada de una aleación metálica que le confiera características de resistencia, rigidez y conductividad térmica. Igualmente importante es la elección del material empleado en la fabricación de los pernos de apriete de la culata, deberá ser un material con un alto límite elástico que soporte las altas tensiones a las que será sometido sin sobrepasar la fase elástica.
Block	El bloque es la parte más importante del motor, y en él se ubican los cilindros con sus respectivas camisas. La fabricación se realiza buscando características de rigidez, poco peso y dimensión de a cuerdo con la potencia que desarrolle por lo que se recurre a la fabricación en una sola pieza con fundición de hierro con grafito laminar o de aleación ligera de aluminio y silicio.

[23] http://s3.amazonaws.com/ppt-download/anillos-piston4582.pdf?Signature=%2BXdWqh7%2FQY2HDfsKbuEVocoPMg0%3D&Expires=1281419450&AWSAccessKeyId=AKIAJLJT267DEGKZDHEQ

Válvula de admisión	Son piezas metálicas en forma de clavo que se encargan de dar admisión al aire. Actualmente existen motores equipados con más de una por cilindro. Se fabrican a partir de una pieza en bruto que se moldea por recalcado. Las válvulas de admisión se fabrican de acero al cromo-silicio o cromo-níquel aplicándose un tratamiento de templado en las zonas de mayor desgaste.
Válvula de escape	Son piezas metálicas en forma de clavo que se encargan de controlar el escape de los gases de combustión de la cámara de combustión. Actualmente existen motores equipados con más de una por cilindro. Se fabrican a partir de una pieza en bruto que se moldea por recalcado. Las válvulas de escape son de aceros con añadidos de cromo, silicio, níquel y wolframio ya que trabajan soportando altísimas temperaturas. En motores de alto rendimiento se montan válvulas refrigeradas por sodio.
Balancín	Se sitúa encima de la culata y su función es la de empujar las válvulas de admisión y escape. El balancín a su vez es accionado por una varilla de empuje movida por el árbol de levas. Es de acero y se somete a refrigeración a través de aceite.
Varillas empujadoras	Siguen siempre el movimiento alternativo que les imparte el árbol de levas moviendo los balancines del motor. Están fabricadas de acero al carbono o aleación ligera. Estas varillas no existen en los motores que llevan el árbol de levas en cabeza.
Bulón	Pasador de acero o acero cincado, de tamaño grande, empleado para el montaje de la biela en el pistón. El bulón viene acompañado, por lo general, por arandelas de presión y ajuste manipuladas con llaves adecuadas al tamaño. Debe ser de acero ya que articula la biela con el pistón, sin olvidar que es el elemento que soportará los mayores esfuerzos dentro del motor.

Cigüeñal	Elemento mecánico utilizado para transmitir el movimiento rectilíneo del pistón y que ha sido transformado por la biela en movimiento rotativo. Este elemento tiene una dureza superficial elevada porque una vez que ha sido fabricado, el mismo debe ser sometido generalmente a un tratamiento superficial de nitruración. Es por ello que se debe cuidar mucho la lubricación en este elemento, caso contrario la capa de nitrato se desgastará. Los aceros más apropiados para la construcción de elementos de máquinas como un eje cigüeñal son los aceros al carbono de la serie AISI 10XX y los aceros aleados de las series AISI 41XX y AISI 43XX con un contenido de carbono no menor a 0,4 %. Los aceros más comúnmente utilizado son el AISI 1045, AISI 4140 y AISI 4340. La composición química del acero fue determinada mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica. Tabla 2.1.2.3.1.- composición química del cigüeñal obtenida por espectroscopia de absorción atómica[24]

Valor	% elem	AISI4140	AISI 4340
C	0.4208	0.38-0.43	0.38-0.43
Si	0.2130	0.15-0.35	0.2-0.35
Mn	0.6424	0.75-1.00	0.6-0.8
P	0.0128	±0.035	±0.035
S	0.0122	±0.040	±0.040
Cr	0.9123	0.8-1.1	0.7-0.9
Ni	0.0855	-	1.65-2.0
Mo	0.1073	0.15-0.25	0.20-0.30
Cu	0.1549	-	-
V	±0.001	-	-
W	±0.001	-	-
Co	0.0046	-	-

[24] http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/9115139-144.pdf

Como se ha observado en la tabla anterior, los principales elementos internos del motor que se habrán de someter a desgaste están enlistados con sus composiciones aproximadas, ya que los valores aunque para cada elemento y cada motor habrán de ser específicos, en este caso se los ha decidido considerar como valores estándar para con ellos iniciar el estudio del desgaste.

2.1.3. Requerimientos de lubricación en los motores diesel.

Debido a que la combustión del combustible es a nivel interno en el motor, la lubricación se ve dificultada por la aparición de fenómenos adicionales y exigentes como son las elevadas temperaturas y los residuos de la combustión, ambos resultados del proceso de combustión del combustible fósil.

La calidad del combustible (que viene dada por la calidad de la refinación), las impurezas presentes y los aditivos del aceite son parámetros que se deben cuidar, ya que influyen en la calidad de la combustión del combustible, y por ende en la lubricación, ya que no todos los residuos de la combustión son eliminados por el sistema de escape del motor, sino más bien pueden permanecer dentro del motor por fugas a través de las camisas y otras holguras cercanas a la cámara de combustión. En la siguiente Figura se observarán efectos de la deficiente evacuación de los residuos de la combustión.

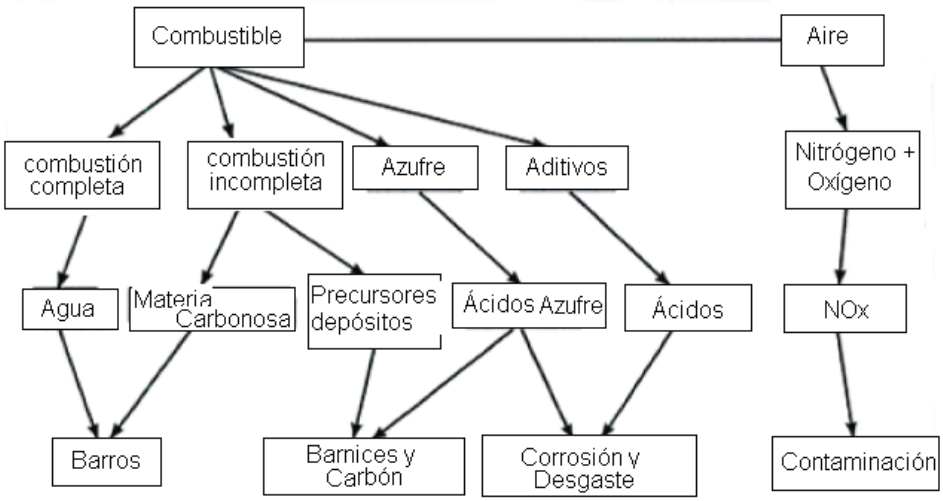


Figura 2.1.3.1.- Esquema de los defectos presentes en la combustión, y que pueden ser evidenciados en el aceite.

Una aclaratoria que debe ser mencionada es que dicho paso de los productos de la combustión de la cámara de combustión al sistema de lubricación (tanto aceite como al cárter) está determinado por las tolerancias y los ajustes/holguras de los elementos circundantes a dicha cámara.

Cabe mencionar adicionalmente que, ciertos modelos especialmente los modernos motores diesel disponen de un *sistema de ventilación positiva del cárter*, sistema que ayuda a una recirculación a través del sistema de admisión de los productos de la combustión que se han escapado hacia el aceite; sin que ello garantice una efectiva remoción de dichos productos. Es por ello que siempre se puede encontrar con ciertos elementos producto de la combustión en el aceite, estando entre los principales productos:

- Dióxido de carbono
- Agua
- Componentes ácidos
- Hidrocarburos parcialmente quemados
- Óxidos de nitrógeno.

Considerando que dentro de los productos, la mayor parte de los residuos pueden producir agua, hay que recordar que la misma se encontrará en estado de vapor mientras este cerca o incluso dentro de la cámara de combustión; pero que una vez que ha escapado hacia el cárter, se corre el riesgo de que dicho vapor se condense y contamine al aceite. Esta contaminación del aceite es fácilmente observable a manera de barro, el mismo que se adhiere a superficies frías, siendo la más común la tapa de los balancines. Es por ello que en esta parte se debe recordar que hay una mayor presencia de este barro, además que puede observarse el aceite, agua y una fase intermedia con facilidad. Esto se demuestra en la siguiente Figura.

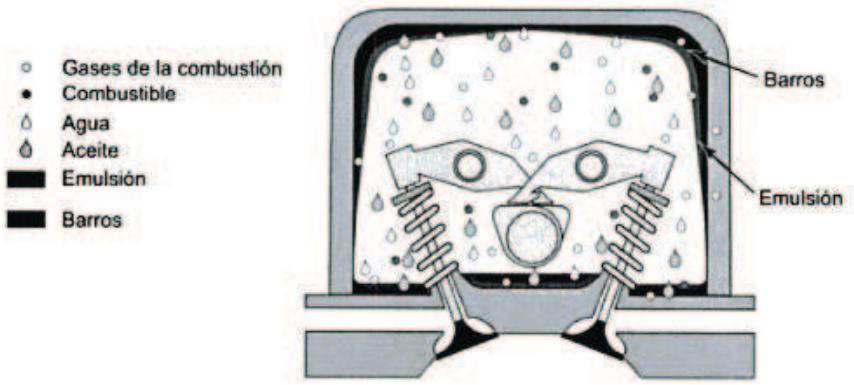


Figura 2.1.3.2.- producción de barros en la tapa de los balancines.

Se había mencionado adicionalmente que, dentro de los requerimientos a ser considerados en la lubricación están los problemas presentes en la combustión debido a la calidad del combustible. La cantidad de azufre que posea el combustible será un factor que determinará la formación de ácidos que al igual que ciertos restos de la combustión pueden pasar al aceite, haciendo que el lubricante vea sus propiedades disminuidas.

2.2. Lubricación.

2.2.1. Introducción.

La lubricación y los lubricantes

Cuando se trabaja con maquinaria pesada se debe recordar que uno de los aspectos que regirá el mantenimiento es la lubricación adecuada y planificada que se de a cada parte del mismo. Es por ello que se debe conocer bien el equipo, para poder determinar la sustancia lubricante que se habrá de emplear para el equipo en función de las condiciones de trabajo a las cuales estará sometido. Cabe mencionar que si no se dispone de la información necesaria de la lubricación seleccionada por el fabricante, se deberá seleccionar la sustancia más óptima posible partiendo de los mecanismos de diseño del mecanismo tales como las cargas, velocidades y/o temperatura.

Pero adicionalmente es de suma importancia considerar el ambiente de trabajo del equipo, ya que las condiciones del mismo influyen directamente sobre el comportamiento del equipo y de las sustancias lubricantes.

Ahora bien, existen adicionalmente ciertas características propias del equipo analizado que deben recordarse:

- Los motores de combustión interna (motores a diesel y motores a gasolina) tienen un mismo sistema de lubricación, ya que su diseño es similar. Lo que si es una característica sobresaliente de este tipo de motores es la cantidad de carbón generado durante la combustión, de allí que los filtros de aceite para motores a diesel deben ser de diseños singulares y específicos para este tipo de motor.
- Este motor requiere de un enfriador de aceite, ya que la temperatura de trabajo es generalmente mayor y también hay que recordar que las piezas en movimiento se encuentran sometidas a grandes tensiones.

Qué es un lubricante y su clasificación general

Un lubricante es una sustancia de naturaleza sólida, semisólida o líquida; de origen animal, vegetal, mineral o sintético y cuya función principal es la reducción del rozamiento existente entre elementos que reencuentran montados o acoplados ya sea en condiciones de ajuste u holgura.
En la siguiente tabla se puede observar la clasificación manejada para los lubricantes:

Según el ESTADO	Sólidos	Grafito y sulfuro de molibdeno
	Semisólidos	Grasas
	Líquidos	Aceites
	Parafínicos	Alto índice de viscosidad
		Baja volatilidad
		Bajo poder disolvente: sedimentos.
		Alto punto de congelación

Tabla 2.2.1.1.- clasificación de las sustancias lubricantes según el estado[25]

[25] http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/lubricantesfundamentos/

Según su NATURALEZA	Nafténicos	Muy bajo índice de viscosidad
		Densidad más alta
		Mayor volatilidad
		Bajo punto de congelación
	Aromáticos	Índice de viscosidad muy bajo
		Alta volatilidad
		Fácil oxidación
		Tendencia a formar resinas
		Se emulsionan con agua

Tabla 2.2.1.2.- clasificación de las sustancias lubricantes según su naturaleza[26]

Los Aceites Lubricantes

Una vez que se ha determinado los diferentes tipos de sustancias lubricantes existentes, es necesario conocer un poco del equipo que se habrá de lubricar. En el caso del presente proyecto se analizarán equipos industriales. Dichos equipos aunque posean dimensiones considerables, se debe recordar que las holguras entre los elementos internos siempre serán relativamente pequeñas, por lo que la lubricación de dichos elementos se podrá obtener solamente con la utilización de lubricantes líquidos, debido a que por su estado pueden ser utilizados a manera de películas delgadas.

2.2.2. Características importantes y clasificación de los aceites lubricantes

Uno de los aspectos que se deben conocer bien para evaluar el estado interno del motor está dado por la comprensión correcta y amplia de los fenómenos que ocurren al interior del mismo, y que son mucho más evidentes cuando el equipo está en funcionamiento. Estos fenómenos son:

- Rozamiento
- Desgaste

[26] http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/lubricantesfundamentos/

- Lubricación

Los tres aspectos anteriormente mencionados guardan una estrecha relación dentro del mantenimiento de los motores, es por ello que sus conceptos son necesarios de ser entendidos y extrapolados hacia el mantenimiento.

2.2.2.1. Rozamiento (Tribología)

El rozamiento es uno de los factores que se consideran dentro del mantenimiento de los motores diesel, ya que este aspecto es la base de la lubricación para estos equipos. La tribología es la ciencia que se encarga del estudio de cuerpos o sistemas en movimiento relativo y que se encuentran en contacto mutuo. La naturaleza que posean los cuerpos o sistemas podrá ser sólida, líquida y/o gaseosa. Sabiendo que esta ciencia estudia a cuerpos diversos que se encuentran en movimiento y en contacto entre sí, cabe mencionar que sus aplicaciones prácticas están en la fricción, lubricación, desgastes y demás aspectos relacionados con la ingeniería, física, química, metalurgia entre otras disciplinas científicas.

2.2.2.1.1. Naturalezas de Rozamiento

Como se ha mencionado, el rozamiento entre cuerpos no es particular para solamente dos, sino por el contrario pueden haber varios cuerpos, es por ello que en la siguiente tabla se habrá de resumir las variantes más comunes:

Figura 2.2.2.1.1.- Naturalezas de rozamiento

NATURALEZA	FLUIDO	DESGASTE
Frotamiento seco	ninguno	Importante
Frotamiento untuoso	Película fina	Reducido
Frotamiento fluido	Película gruesa	inapreciable

Tabla 2.2.2.1.1.- Naturalezas de rozamiento y requerimientos de fluido y desgaste producido

De lo tabulado anteriormente se puede concluir que aun cuando entre dos cuerpos (de estado físico sólido generalmente) exista un fluido de película gruesa, el desgaste por rozamiento siempre existirá, solamente que es inapreciable pero existente.

Con este principio obtenido de la Tribología se parte para tratar de predecir no sólo el desgaste del equipo, sino la cantidad desgastada. Además, es necesario recordar que el desgaste será independiente de las dimensiones de los elementos tanto móviles como estáticos del motor, mas no de sus acabados superficiales y contactos con otros elementos en movimiento relativo. Otro aspecto que no interfiere en el desgaste de los elementos móviles es la velocidad de deslizamiento de los mismos entre si.

Como se puede observar en la figura siguiente, el desgaste del material existe porque se forman esfuerzos cortantes, aun cuando entre las mencionadas superficies existe un juego que es llenado con aceite. Este desgaste es producto del aparecimiento de esfuerzos cortantes asociados directamente a la geometría de ciertos elementos como ocurre especialmente con ejes y alojamientos circulares.

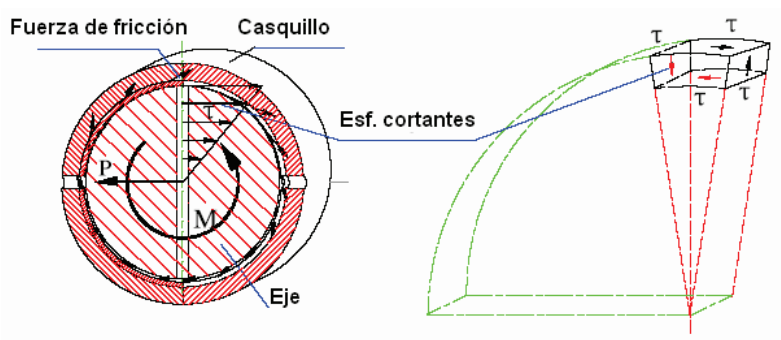


Figura 2.2.2.1.2.- diagrama que muestra la existencia de esfuerzos cortantes

producto del rozamiento y que conllevan al desgaste de los materiales.

Se debe mencionar adicionalmente que el rozamiento que se produce inevitablemente entre dos superficies cuando las mismas se encuentran en movimiento, no se produce porque si; por el contrario, se produce por ciertos factores que en su momento no han sido cuidados en los cuerpos en movimiento, factores como:

- Estado de las superficies: está directamente relacionado con el acabado superficial; es así que a mayor aspereza superficial mayor desgaste.
- Contacto superficial: hay que recordar que no toda una superficie se habrá de encontrar en contacto con otra, sino que este contacto muchas veces puede ser puntual o lineal pero de repetición cíclica.
- Efectos de carga: en este aspecto se considera la naturaleza del contacto, aspecto tabulado en la tabla 2.2.2.1.1.

El control de estos aspectos influirá de manera determinante en el rozamiento, y por consiguiente en la cantidad y forma de las partículas abrasivas se que desprenderán de los cuerpos, ya que a mayor cantidad desgastada, la estructura cristalina habrá de cambiar. La superficie del cuerpo cambiará, aumentando su aspereza. Este hecho se lo puede apreciar en la siguiente figura, donde adicionalmente se muestran los espesores aproximados de las diferentes capas que se presentan en un cuerpo obtenido por procesos de conformado.

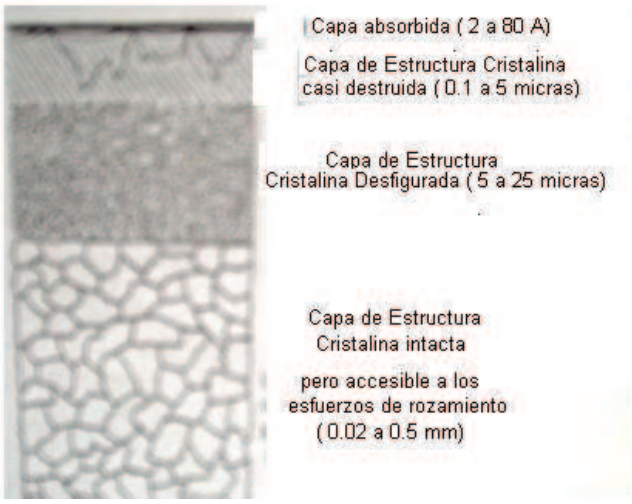
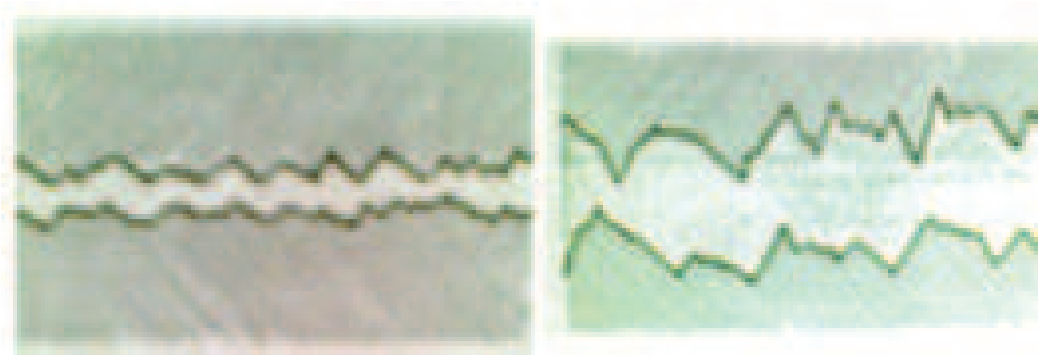


Figura 2.2.2.1.3. las cuatro capas de una superficie

Aunque el acabado diferencia grandemente la superficie más externa, en todos los cuerpos se aprecian las cuatro capas, con pequeñas diferencias de acuerdo al acabado superficial al cual se haya sometido a la pieza.

Figura 2.2.2.1.4. superficies según distintos acabados

Una vez que se ha observado y analizado cómo influye la estructura interna de un cuerpo, es necesario enfocarse en la superficie externa de los mismos. Es necesario recordar que las partes internas del motor se encuentran diseñadas para trabajar ya sea en condiciones de apriete o de holgura. Se dirá que las partes se encontrarán en apriete cuando exista contacto superficial continuo a lo largo de toda su superficie externa, conllevando un movimiento conjunto de los elementos que presenten este contacto de sus superficies externas. Así se eliminará cualquier tipo de rozamiento. Ahora bien, cuando se habla de elementos o partes móviles internas del motor que presentan holgura siempre habrán de usar una sustancia lubricante que llenará el espacio existente entre dichos elementos. El espesor de dicha sustancia (llamada película) dependerá directamente del acabado superficial.



a) b)

Figura 2.2.2.1.5. Espesor de película lubricante según la rugosidad superficial: a) película fina debido al buen acabado superficial; b) película gruesa debido al mal acabado superficial

2.2.2.2. Desgaste

La consecuencia directa del rozamiento entre dos o más superficies es conocida como desgaste, y es una consecuencia natural al movimiento de dos superficies que están animadas por un movimiento relativo.

Este fenómeno natural puede llegar a convertirse en perjudicial cuando hay una elevada tasa de pérdida de material. Es por ello que, es necesario cuidar que estas pérdidas sean lo más pequeñas posibles, y esto se consigue recurriendo a las siguientes técnicas:

- Diseño
- Elección de materiales
- Lubricación

Con el fin de tener una idea clara del desgaste, es esencial conocer los tipos de desgaste, aunque a todos no se les puede catalogar atendiendo solamente a las pérdidas de material. Por ello es necesario mencionar los tipos de desgaste:

- Adhesivo: se da por contacto metal-metal o por transferencia metálica y micro soldaduras.

- Abrasivo: son ralladuras provocadas por partículas duras gruesas, o erosión ocasionada por partículas duras finas, y en menor escala está el transporte de fluidos.
- Corrosivo: se lo aprecia como una alteración de las superficies por ataques químicos.
- Por fatiga: aparece como desprendimientos superficiales por prolongados esfuerzos mecánicos cíclicos.
- Por cavitación: pérdida de material y posterior formación de cavidades por rotura implosiva de burbujas de aire en el fluido.
- Eléctricos: son consecuencia de picaduras eléctricas, erosión, chispas, corrosión galvánica o ataque electrolítico.

Conociendo ya las consecuencias directas de que exista movimiento de los elementos internos del motor, y sin poder controlar ni los materiales que conforman a cada elemento y menos aún pudiendo alterar su diseño, se debe proceder a reducir el desgaste a través de un adecuado sistema de lubricación.

2.2.2.3. La lubricación.

La lubricación en los equipos aparece como la solución para evitar las altas tasas de desgaste que se producen a nivel interno de un motor, además con ello se pretende alargar la vida útil de los elementos internos de grandes dimensiones y formas geométricas complejas. Es así que la lubricación se convierte en una necesidad de los motores diesel y de casi cualquier máquina.

Como la lubricación es necesaria entre elementos que posean holgura, y los motores poseen varios elementos en estas condiciones, el control que se dé tanto al sistema de lubricación como al desgaste que presentan los elementos internos determinará los periodos de vida útil del equipo.

Ahora bien, la lubricación no es una acción que se aplica al azar en elementos en movimiento, sino por el contrario esta obedece a ciertas condiciones. Por

ello es necesario considerar tanto los objetivos que se busca con la lubricación y los tipos posibles en base a los objetivos.

2.2.2.3.1. Funciones de la lubricación y Características importantes de los aceites

Cuando se analiza la lubricación de los motores es necesario primeramente definir las características importantes que se busca obtener con este proceso. Es por ello que dichas características estarán guiadas por las funciones de la lubricación dentro de los motores.
Así pues, las funciones principales son:

- Ayuda en la refrigeración del motor, ya que remueve el calor causado por las superficies en rozamiento.
- Reduce el desgaste entre las superficies en contacto.
- Proporciona un buen sellado entre los anillos del pistón y cilindro para evitar el escape de los gases de la combustión.
- Conserva el motor limpio de carbón y de cenizas, porque los diluye (acción "detergente") los mantiene en suspensión y luego son removidos al cambiar de aceite.
- Protege el motor contra la corrosión y el ataque de ácidos.
- Sirve para amortiguar el efecto de las cargas sobre los cojinetes en los sistemas de transmisión.
- Emulsiona el agua producto de la combustión.
- Ayuda a impedir la formación de sedimentos, diseminando los contaminantes y manteniéndolos en suspensión.

Dentro de las funciones de los aceites se han mencionado aspectos importantes adicionales a la lubricación; es así que, se deberá conocer los diferentes características extras que poseerán los aceites y con ello los aditamentos que pueden ser aplicados a fin de cumplir con dichas funciones. Así, una vez que se tiene determinado de manera clara qué elementos han sido adicionados a las características vegetales o minerales propias de los

aceites, se podrá saber qué elementos son propios del aceite y cuales son producto de procesos de desgaste interno de los elementos en movimiento.

Así pues, las siguientes son las características que deben cumplir los aceites además de la lubricación y son:

a. Enfriamiento: la actividad interna del motor de combustión es producto de una combustión interna del combustible. Sin embargo, por las condiciones de encierro de las cámaras, hay calor que se transfiere fuera de las camisas, pudiendo llevar al atascamiento interno del equipo.
b. Sellado: esta función se da entre los cilindros y el pistón, buscando con ello reducir cualquier posible pérdida de aire y gases de combustión de la cámara de combustión.

c. Detergencia: hay ciertos desechos internos y humedad (proveniente generalmente del aire) que deben ser eliminados o destruidos con el fin de mantener limpio al motor, ya que su presencia afectará a los elementos internos generando abrasión y desgaste. Quizá el efecto más nocivo que puede llegar a tener un motor con una detergencia inadecuada es la reacción química con los productos de la oxidación que terminarán formando depósitos de compuestos insolubles.

d. Emulsión del agua: es necesario que se cuide la presencia de agua, ya que la misma aunque no puede ser evitada porque es uno de los productos de la combustión del diesel con el aire, si se puede evitar que afecte parte sensibles del motor. La emulsión del aceite es por lo tanto la capacidad de absorber al agua por parte del aceite. Con esto se busca evitar que el agua entre en contacto con la superficie de los elementos móviles, se evite la formación de burbujas tanto de agua como de oxígeno que, estando en el aceite podrían provocar implosiones con la subsiguiente cavitación de elementos internos del motor y/o la degradación del aceite.

e. Protección antioxidante: comúnmente conocidos como inhibidores de oxidación ayudan a impedir el aumento de viscosidad, el desarrollo de ácidos orgánicos y la formación de materia carbonacea.

f. Mejoradores de viscosidad: ayudan a que la viscosidad de un aceite no se vea seriamente afectada cuando hay un cambio de la temperatura del mismo, ya que se sabe que la viscosidad varía drásticamente con respecto a la temperatura. Por ello, se quiere conseguir que la caída de viscosidad de un aceite no sea marcada sino más bien mínima cuando la temperatura aumente.

g. Control del punto de fluidez de un aceite: este aspecto es necesario de ser cuidado porque ocurre que muchas veces los equipos se encuentran sometidos a caídas extremas de la temperatura ambiente, y pueden provocar que el aceite cambie a un estado sólido, dificultando la lubricación.

h. Control de la basicidad del aceite: es una característica importante de cuidar porque de su valor dependerá el estado del aceite y la formación o no de sustancias ácidas en el mismo. Generalmente este parámetro es controlado a través de un análisis del aceite usado conocido como TBN o Número Básico Total (TBN por sus siglas en inglés).

i. Control de la ceniza sulfatada: este aspecto es medible en el aceite, ya que se conoce como ceniza sulfatada al residuo no combustible de un aceite lubricante. Los aditivos detergentes en un aceite lubricante contienen derivados de metal como el bario, el calcio y el magnesio, los cuales son fuente de ceniza. Un exceso de estas cenizas trae consigo el mal funcionamiento de motor viéndose seriamente afectada tanto la potencia como la eficiencia del equipo.

2.2.2.3.2. Elementos a adicionar para cumplir con las características de los aceites

Debido a que se buscar cuidar el estado del aceite y permitir que el mismo cumpla con las funciones de cuidado y extracción de calor mientras se encuentra lubricando al equipo, además de controlar que la degradación del aceite no sea demasiado rápida, hay que saber qué elementos de desgaste han sido incluidos en el aceite, y saber así la cantidad exacta de partículas dispersas en el aceite lubricante empleado. Se debe recordar que "para cualquier análisis de degradación del aceite, se debe primeramente saber el valor inicial de cada aditivo para poder determinar su degradación"[27]

- Calcio y Magnesio: Estos dos aditivos son detergentes/dispersantes. Son utilizados para combatir el hollín, neutralizar los ácidos formados por la presencia inevitable del agua producto del proceso de combustión, mantener los contaminantes y lodos en suspensión hasta llegar al filtro, sin dejar que se aglomeren y formen grumos, ni que se adhieran a las superficies metálicas. Como cualquier antiácido, estos se consumen. Entre más ácido se forma por la calidad de combustible, falta de temperatura en el motor, combustión incompleta o contacto del lubricante con los productos de la combustión, más rápido se degradan los detergentes/dispersantes. Ambos aditivos trabajan bien para este propósito, pero el magnesio deja 45% más cenizas sulfatadas al quemarse, causando problemas de válvulas y depósitos en el motor. Por esta razón normalmente se encuentra solamente calcio o una mezcla con un máximo de 30% del detergente/dispersante en forma de magnesio. Tampoco se debe olvidar que un producto no deseable e incluso poco controlable será la formación de lodos (contaminación del aceite por acción del agua) y lacas.

- Zinc y Fósforo: El zinc y el fósforo trabajan en conjunto para proveer lubricación límite cuando la lubricación hidrodinámica no alcanza las

[27] Curso de motores diesel ADLEY INSTITUTO

necesidades de presiones y fricción. Esta protección se llama antidesgaste.

El ZDDP (Dialquil ditiofosfato de zinc) es una sal organometálica, compuesta de zinc, azufre y fósforo. Forma una capa de sulfato de hierro en la superficie de las piezas, donde el azufre puede actuar para atraer el zinc, dejando tres capas suaves para evitar contacto acero-acero.

- Molibdeno: Algunos aceites para motores contienen disulfuro de molibdeno para reducir el desgaste en altas temperaturas y presiones. En estas formulaciones el molibdeno actúa con el ZDDP para proveer la máxima protección posible. Hay formulaciones sin molibdeno y otros con 40 ppm, 100 ppm, etc. Los mejores aceites para motores a gas natural comprimido (GNC) contienen más de 300 ppm.

- Boro: El Boro utilizado en algunas formulaciones es un aceite sintético grupo V que actúa como aditivo antidesgaste y modificador de fricción. Existen varias formas de boro y cada una tiene sus ventajas y desventajas. También existen formulaciones de aceites sin boro. Frecuentemente el boro es utilizado para mejorar el aceite básico para cumplir con las normas.

2.2.2.3.3. Clasificación de los Aceites Lubricantes

Previamente ya se había mencionado una clasificación general de los lubricantes según su naturaleza y su estado físico. Ahora bien, como se está hablando de lubricantes en estado líquido o aceites lubricantes es necesario mencionar una clasificación existente para este tipo de sustancias.

La clasificación que se analizará fue pensada para clasificar a los aceites lubricantes en función de su calidad y de su viscosidad, ya que ambos son parámetros fundamentales que determinan la selección del aceite lubricante.

Cuando se tenga clara la clasificación de los aceites según las normas SAE y API, se recomienda el empleo del Círculo o Dona API, la cual no es más que una forma sencilla de resumir la información de los aceites, ya que en la misma se albergará la información de la calidad como de la viscosidad del aceite.

2.2.2.3.3.1. Los Aceites

Los aceites se habrán de clasificar según las necesidades de los equipos. Con ello se crea la primera gran clasificación de los aceites lubricantes, ya que los mismos habrán de tener formulaciones específicas de acuerdo al combustible. La viscosidad del aceite es independiente del combustible, no así la calidad. Estos aspectos entran en consideración porque como se ha mencionado previamente, aunque los sistemas de lubricación sean muy similares, las condiciones de trabajo son diferentes según el combustible.

Se hablará por lo tanto de la clasificación de los aceites lubricantes de acuerdo a viscosidad cuanto de la calidad de los mismos, aspectos que son complementarios entre sí al momento de seleccionar un lubricante.

2.2.2.3.3.1.1. Clasificación de los aceites lubricantes según la norma SAE

La norma SAE ha sido creada para clasificar a los lubricantes en función de la condición más importante que presentan los aceites lubricantes: la viscosidad. Cuando se habla de esta propiedad es necesario recordar primeramente que la viscosidad no es más que la resistencia a la fluencia. Se debe recordar que la viscosidad tiene una relación directa con la capacidad de lubricación del aceite, formando una película para separar las superficies que pueden presentar contacto entre si. El principio fundamental que rige a un aceite es que deberá siempre fluir, independientemente de la temperatura a la que se encuentre.

La viscosidad también determina el grosor de la capa de lubricante, ya que mientras más espeso sea, la capa de lubricación será más gruesa. Lo malo

está en que si es demasiado espesa perderá su capacidad de fluir y por ende de lubricar. Por ello se han creado los aceites monogrado y multigrado. Estos últimos son mucho más efectivos porque proporcionan al motor un intervalo de temperaturas mayor para su funcionamiento, es decir, la capacidad de lubricación no se ve alterada con la variación de temperatura. La medida de la proporción de dispersión del aceite se llama "índice de viscosidad" (o VI). Las modernas técnicas de refinamiento y el desarrollo de aditivos especiales (mejoradores de VI) que aumentan el índice de viscosidad del aceite, ayudan a reducir los cambios de viscosidad debidos a cambios de temperatura del aceite.

La norma SAE J300 del sistema de clasificación de aceites de la Sociedad de ingenieros Automotrices (SAE) categoriza los aceites de acuerdo a su viscosidad (con un sistema de numeración como SAE 10W, SAE 30, SAE 15W40, etc).

Ahora bien, se analizará las condiciones de partida para un motor de acuerdo a los requerimientos del fabricante:

- Tener la viscosidad apropiada. Si la viscosidad es demasiado baja, la película de aceite se romperá fácilmente y las piezas podrán agarrotarse. Contrariamente, si es demasiado alta causará resistencia al movimiento, causando un arranque pesado y pérdida de potencia.
- La viscosidad debe mantenerse relativamente estable y no debe variar aún con cambio de temperatura, de allí que se deba cuidar que el índice de viscosidad no varíe mucho.
- El aceite de motor debe ser adecuado para utilizarse con metales.
- Prevención de corrosión y herrumbre.
- No debe formar burbujas de aire como resultado de su movimiento, es decir debe tener un aditivo antiespumante.

Antes de continuar es necesario aclarar que la viscosidad es la resistencia a fluir del aceite lubricante, mientras el índice de viscosidad es el valor que indica la variación de viscosidad del aceite con la temperatura. Siempre que se calienta un aceite, éste se vuelve más fluido, su viscosidad disminuye; por el

contrario, cuando el aceite se somete a temperaturas cada vez más bajas, éste se vuelve más espeso o sea su viscosidad aumenta.
Con esta base de requerimientos del motor, se analizará brevemente la influencia de ciertos parámetros propios de un aceite, como es:

- La viscosidad: cuando este parámetro varía, el grosor de la película de lubricación variará y esto se notará en el aceite ya que se torna fino y fluye más fácilmente cuando es calentado y más espeso cuando se enfría. Algo importante de recalcar es que no todos los aceites tienen la misma tendencia. Algunos aceites son originalmente espesos (teniendo alta o mayor viscosidad).
- Corrosión y herrumbre: este aspecto de los lubricantes líquidos está relacionado con la formación de sustancias ácidas, ya que el combustible diesel tiene azufre dentro de su composición, lo que puede conllevar a que en determinado momento este elemento reaccione con la humedad producto del proceso de combustión, formando así ácido sulfúrico. Este ácido es el principal causante de la corrosión de las superficies de los elementos internos y su posterior deterioro en tiempos de trabajo reducidos.

Otro aspecto que se debe controlar con respecto a los aceites lubricantes es la forma de lubricación que se habrá de tener para los diferentes elementos, ya que la lubricación dependerá de las condiciones de montaje que se tengan para los diferentes elementos. Así pues, mientras mayor sea el juego/holgura entre los elementos la lubricación podrá variar desde una lubricación hidrostática, una lubricación hidrodinámica o incluso una lubricación elastohidrodinámica. Para tener más clara las formas de lubricación existentes se explicará en qué consiste cada una de ellas:

- Lubricación hidrostática: donde el sistema de lubricación del equipo requiere de presión para trabajar. Este tipo de lubricación también se caracteriza por tener lubricación límite o película delgada.
- Lubricación hidrodinámica: donde la película de aceite es arrastrada por la superficie móvil en régimen laminar. Es importante mencionar que el

espesor de la película lubricante será grueso, ya que debe formar un colchón de aceite que resista las cargas de ambos elementos sin que el flujo se vuelva turbulento.

- Lubricación elastohidrodinámica: esta forma de lubricación del motor aparecerá cuando se aplica al punto o línea de contacto entre mecanismos al rodar y/o deslizarse.

2.2.2.3.3.1.2. Clasificación de los aceites lubricantes según la norma API

Cuando se habla de lubricantes especificados por las normas API, los fabricantes están refiriéndose a la calidad del lubricante. Esta aclaratoria es necesaria ya que las normas API son pensadas y actualizadas en función de las mejoras que la ciencia es capaz de proveer a los científicos. Es así que los aceites se subclasifican según la norma API de acuerdo al tipo de combustible que emplee el motor. Dicha clasificación es la siguiente:

- Para motores encendidos por chispa, cuyo combustible es la gasolina, la norma API determina que los lubricantes serán de la serie S. Este nombre se lo dio con base en la forma de ignición del combustible, ya que la misma ocurre por acción de una chispa o “Spark”.
- Para motores que basan su funcionamiento en la compresión de aire para con ello llevar a cabo la combustión se ha creado la subcategoria C que proviene de la palabra “Compression” o compresión.

2.2.3. ESTÁNDARES Y REGULACIONES APLICABLES A ACEITES.

2.2.3.1. Estándares aplicables a aceites para motores diesel

Cuando uno se refiere a los estándares que se deben manejar en los aceites, se deben recordar que los mencionados estándares estarán dados en función de ciertos parámetros fácilmente medibles y comprobables. Estos parámetros tienen ciertos valores o los límites de control a considerarse. Por ello, para

definir los valores promedio que reflejen un estado de funcionamiento óptimo del motor a diesel, se considerará la clasificación estudiada previamente:

a) Cuando se analiza la viscosidad de los aceites, es necesario conocer los valores estándar máximo y mínimo para funcionamiento en condiciones normales.

   Adicional a dichos valores extremos de funcionamiento se ha determinado un rango de funcionamiento del aceite lubricante que aunque no es adecuado para un prolongado funcionamiento, si ayudará a continuar en funcionamiento al motor. A estos valores que sobrepasan las condiciones normales de funcionamiento se las , tomando en consideración que no son valores para funcionamiento normal sino valores de atención o
   claro que no es siempre recomendable trabajar dentro de estos valores, que en la siguiente tabla se los ubicará en la categoría de Llamada de atención.
   Como en toda sustancia y equipo, hay valores que se conocen como valores críticos, valores que una vez superados provocarán una falla inminente del equipo. Cuando se observan estos valores en la viscosidad es momento de tomar acciones correctivas inmediatas como puede ser el cambio de sustancia lubricante.
   Estos tres rangos de funcionamiento que se han mencionado se encuentran determinados para algunos aceites monogrado como multigrado en la siguiente tabla:

Aceite Monogrado	Viscosidad (en cSt a 40°C)				
	Límites de Funcionamiento				
	Extremo	Anormal	Normal	Anormal	Extremo
SAE 30	< 70	70 - 90	90 – 135	135 – 165	> 165
SAE 40	< 105	105 - 125	125 - 200	200 – 240	> 240
SAE 50	< 140	140 - 175	175 - 245	245 – 280	> 280
Aceite Multigrado	Viscosidad (en cSt a 40°C)				
	Límites de Funcionamiento				
	Extremo	Anormal	Normal	Anormal	Extremo
15W40	< 86	86 - 106	106 - 140	140 - 150	> 150

Tabla 2.2.3.1.1.- Control de la viscosidad, y determinación de cómo analizar al aceite de acuerdo a dicho parámetro[28]

Adicional a los valores estándar que se deben considerar en la viscosidad están los valores de las siguientes propiedades inherentes al funcionamiento del motor. De igual forma como se realizó con los valores para la viscosidad, se habrá de tabular los valores de dichas propiedades que determinan un funcionamiento normal, Anormal o extremo para con ello estar pendientes de posibles fallas.

Primeramente es necesario conocer a dichas propiedades:

b) Punto de inflamación (Flash point) (°C): es la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos del aceite forman una mezcla inflamable con el aire. Esta definición se maneja con base en la norma DIN 53661. Este punto de inflamación se lo determina según la norma DIM en crisol abierto. Ahora bien, su relacionamiento con el estudio del motor radica en que siempre debe ser dicho punto de inflamación mayor que el punto de inflamación del combustible para así evitar su ignición cuando ocurra la ignición del combustible.

[28]http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/images/pag28_tab1g.jpg

c) Contenido de agua (% en volumen): esta propiedad está determinada para saber la capacidad máxima de agua que puede estar presente en el aceite lubricante antes que el mismo falle en operación. Aunque es recomendable no tener presencia de agua en el aceite, es habitual que un valor mínimo llegue al aceite. Ahora que, si la presencia de agua está sobre los valores establecidos como normales o anormales, se corre el riesgo de la formación de lodos.

d) TBN (mg KOH/g producto): propiedad de gran importancia en el análisis de aceites ya que del valor que se obtenga en el análisis de una muestra de aceite, se podrá saber problemas de sellado o incluso contaminación y/o degradación del aceite por presencia de productos residuales de la combustión.

e) Dilución por combustible (%): como se sabe bien, el aceite entra en contacto con el combustible diesel en la cámara de combustión. Claro que dicho contacto es mínimo porque tanto el combustible se igniciona mientras el aceite lubricante es recogido de las paredes por los anillos cuando el proceso de combustión es perfecto. Si el proceso de combustión del diesel es deficiente se corre el riesgo de que el aceite y el combustible se mezclen, viéndose afectado el consumo del aceite principalmente.

Una vez que se ha determinado el por qué es necesario considerar estas propiedades y sus valores de funcionamiento normal, se adjuntará una tabla con valores de funcionamiento anormal, ya que dichos valores ayudarán a determinar que el equipo puede funcionar sin que cause avería o paro del mismo. Por último se tendrán los valores de funcionamiento extremo, es decir, cuando se llegue a determinar dichos valores o superiores se deberá parar el equipo de manera inmediata.

Propiedad	Valores de funcionamiento		
	Normal	**Anormal**	**Extremo**
Punto de inflamación/flash point (°C)	> 200 °C	200°C – 170°C	< 170°C
Contenido de agua (%en volumen)	< 0.2 %	0.2 % - 0.3 %	> 0.3 %
TBN (mgKOH/g producto)	> 50 %	50 % a 3 %	< 3 %
Dilución por combustible (%)	< 3 %	3 % a 4 %	> 4 %

Tabla 2.2.3.1.2.- Control o rechazo del lubricante para un motor diesel de acuerdo a sus propiedades[29]

Por último, como se analizará la contaminación del aceite lubricante, es necesario determinar los valores normales y críticos en cuanto a la presencia de partículas metálicas provenientes de desgaste de elementos internos que pueden permanecer en suspensión en el aceite lubricante.

f) Los principales metales que se desgastan y por ende se encuentran en suspensión dentro del aceite son los que se encuentran tabulados a continuación con sus valores normales, anormales y críticos

METAL	NORMAL	ANORMAL	CRÍTICO
Hierro	< 60	60 - 100	> 100
Silicio	< 15	15 – 20	> 20
Aluminio	< 15	15 – 20	> 20
Plomo	< 25	25 – 40	> 40
Cobre	< 15	15 - 30	> 30
Cromo	< 10	10 – 15	> 15
Estaño	< 5	5 – 15	> 15

Tabla 2.2.3.1.3.- Control de las concentraciones de partículas metálicas en el aceite (PPM)[30]

[29]http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/images/pag28_tab2g.jpg

[30]http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/images/pag28_tab3g.jpg

2.2.3.2. Regulaciones Y Denominaciones

Los aceites lubricantes como se ha mencionado han sido clasificados de acuerdo a dos normas complementarias que son las normas API cuyo enfoque radica en la calidad del aceite, y las normas SAE que basan su regulación en las propiedades directamente relacionadas con la viscosidad.

Estos grupos investigativos han determinado características de los aceites que si no son atendidas de manera correcta pueden terminar en fallas del equipo. Por ello se bueno saber cuál es el fundamento que determina una posible falla de la lubricación del equipo. Estos dos grupos investigativos tienen por lo tanto las siguientes regulaciones:

- Regulaciones de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE - Society of Automotive Engineers): son aceites que cumplen los estándares de viscosidad de SAE y por lo mismo tienen el prefijo “SAE” delante de sus índices de viscosidad. Este indicador está determinado por la temperatura del ambiente. La clasificación SAE, es un sistema utilizado para determinar bajo qué condiciones de temperatura se puede usar un aceite. Los grados son los mismos para los motores de gasolina y diesel. Como se sabe los aceites con regulación SAE pueden ser de dos tipos: aceites monógrado y aceite multígrado.

  Los aceite monógrado son diseñados para funcionar dentro de un rango reducido de temperatura sin que sus condiciones de fluidez y viscosidad se vean seriamente alterados. Al contrario, los aceites multígrado presentan dos valores que sirven de referencia para determinar las temperaturas máxima y mínima a las cuales el aceite no perderá sus propiedades de fluidez y lubricación. Los valores que acompañan a los aceites no son una muestra del valor de la viscosidad, sino como se ha mencionado solo sirven de referencia ya que al valor dado está relacionado el máximo valor de viscosidad que puede tener el aceite al momento del arranque o lo que se conoce como la temperatura de

arranque en frío del motor. Por el otro lado, el segundo valor de los aceites multígrado determinará el valor mínimo al que puede alcanzar la viscosidad cuando la temperatura del aceite alcance los 100°C. Estos valores tienen como finalidad determinar las condiciones extremas que resistirá el lubricante sin dejar de ser hábil para el trabajo de lubricación.

Esta relación entre la temperatura ambiente y la viscosidad de los aceites de motor es mostrada a continuación.

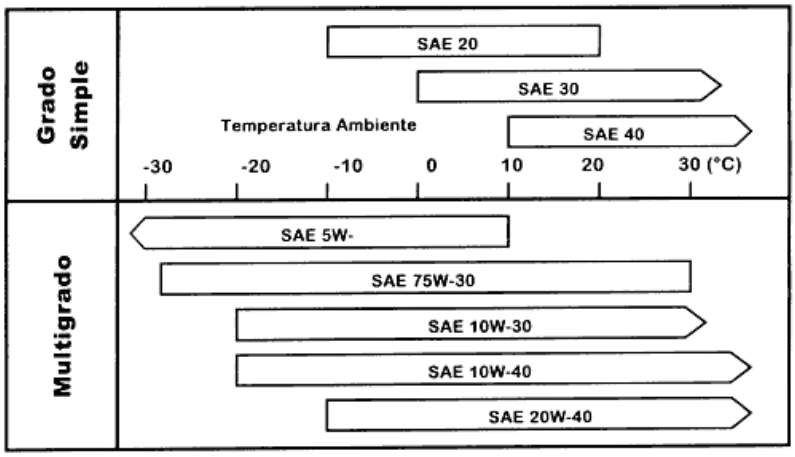


Figura 2.2.3.2.1.- Referencia de la viscosidad de los aceites según las regulaciones de la SAE.[31]

La clasificación S.A.E. ha establecido ocho grados S.A.E. para los monógrados y seis para los multígrados.[32]

- Regulaciones del Instituto Americano del Petróleo (API – American Petroleum Institute): la regulación que este grupo investigativo maneja está relacionada directamente con la calidad de los lubricantes. La clasificación API es un sistema de clasificación el cual juzga el grado por el cual un aceite puede resistir las condiciones de conducción. Ahora bien, estas regulaciones han sido determinadas de acuerdo al tipo de

[31] http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-19.html

[32] http://www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm

combustible que el motor emplee. Las dos clasificaciones que se manejan son para motores de encendido por chispa (Spark) y los motores encendidos por compresión (Compression).

Clasificación API de Aceites para Motores Diesel: Debido a la alta compresión y presiones de combustión en los motores diesel y para lograr cantidad de fuerza aplicada a las partes rotativas, el aceite de motor debe ser capaz de formar una película de aceite resistente.
Además, como el combustible diesel contiene azufre, uno de los productos de la ignición del combustible diesel será la formación de ácido sulfúrico. Es importante para el aceite del motor, la habilidad de neutralizar este ácido con suficiente reserva alcalina teniendo características de dispensador de detergente, evitando la formación de sedimentos dentro del motor.

Categoría	Estado	Servicio
CJ-4	Actual	Se introdujeron en el año 2006. Destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape en autopista para el modelo del año 2007. Los aceites CJ-4 están compuestos para ser usados en todas las aplicaciones con combustibles diesel con rango de contenido de azufre hasta 500 ppm (0.05% en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con un contenido de azufre mayor de 15 ppm (0.0015% en peso) puede repercutir en la durabilidad del sistema postratamiento de los gases de escape y/o en el intervalo de drenaje de aceite. Los aceites CJ-4 son eficaces en la protección de la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas de postratamiento avanzados. La protección es óptima en el bloqueo de filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, estabilidad a baja y alta

		temperatura, propiedades en el manejo del hollín, espesamiento oxidativo, formación de espuma, y pérdida de viscosidad debido a corte. Los aceites API CJ-4 superan los criterios de desempeño de API CI-4 con CI-4 PLUS,CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4 y pueden lubricar eficazmente motores que requieren esas Categorías de Servicio API. Al utilizar aceite CJ-4 con combustible que contenga más de 15 ppm de azufre, consulte al fabricante del motor para el intervalo de servicio.
CI-4	Actual	Se introdujeron en el año 2002. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape del año 2004 puestas en práctica en el 2002. Los aceites CI-4 están formulados para proteger la durabilidad del motor cuando se utiliza la recirculación de gases de escape (EGR) y están ideados para ser utilizados con combustibles diesel con un rango de contenido de azufre hasta 0.5% en peso. Pueden usarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificar para la designación CI-4 PLUS.
CH-4	Actual	Se introdujeron en el año 1998. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape del año 1998. Los aceites CH-4 están compuestos específicamente para ser utilizados con combustibles diesel con un rango de contenido de azufre hasta 0.5% en peso. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD, CE, CF-4, y CG-4.
CG-4	Actual	Se introdujeron en el año 1995. Están destinados a motores de trabajo intenso, de alta velocidad, de cuatro tiempos que utilizan combustible con contenido de azufre menor de 0.5% en peso. Los aceites CG-4 se utilizan en

		motores que cumplen con las normas de emisión del año 1994. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD, CE, y CF-4.
CF-4	Fuera de servicio	Se introdujeron en el año 1990. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos, de aspiración natural y turbocargados. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD y CE.
CF-2	Actual	Se introdujeron en el año 1994. Están destinados a motores de trabajo intenso, de dos tiempos. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD-II.
CF	Actual	Se introdujeron en el año 1994. Están destinados a motores todo terreno, de inyección indirecta y otros motores diesel incluyendo aquéllos que utilizan combustible con contenido de azufre superior a 0.5% en peso. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD.
CE	Fuera de servicio	Se introdujeron en el año 1985. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos, de aspiración natural y turbocargados. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CC y CD.
CD-II		Se introdujeron en el año 1985. Están destinados a motores de dos tiempos.
CD		Se introdujeron en el año 1955. Están destinados a determinados motores de aspiración natural y turbocargados.
CC		ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores diesel fabricados después del año 1990.
CB		ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores diesel fabricados después del año 1961.
CA		ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores diesel fabricados después del año 1959.

Tabla 2.2.3.2.1.- Clasificación API de aceites comerciales para motores a diesel actualizada.[33]

[33] Energyapi.com

- Regulaciones del Comité de Constructores de Automóviles del Mercado Común (CCMC): esta organización que fue sustituida por la Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) fue la encargada de implementar las regulaciones ACEA para un sistema de gerenciamiento de la calidad. Esta normativa fue definida en 1996 y se basa en ensayos de laboratorio y dinamómetros, siendo algunas pruebas comunes tanto para esta regulación como para las regulaciones API.

  Los ensayos ACEA reflejan los requerimientos del lubricante para mejorar:

  - Protección para el desgaste
  - Limpieza del motor
  - Resistencia a la oxidación
  - Resistencia al aumento de la viscosidad

  Dichas normas han sido continuamente revisadas, hasta que en el 2004 se dio la actual clasificación de acuerdo al tipo de combustible que emplee el equipo. Dicha regulación quedó determinada de la siguiente manera para los motores diesel:

Regulación		**Tipo de unidad**
A3 / B4		Aceite muy estable, para permanecer en el Grado SAE, dirigido al uso en motores nafteros de alta perfomance y diesel de inyección directa
E: Aceites para Motor Diesel de Servicio Pesado.	E2	Aceite para propósitos Generales en Motores Diesel Pesado de aspiración natural o turbocargados, con servicios de medio a severo y mayormente con intervalos normales entre cambios.
	E4	Aceite muy estable, para permanecer en el Grado SAE que provee excelente control de la limpieza de los pistones, desgaste, manejo del hollín y estabilidad del lubricante.
	E6	Aceite muy estable, para permanecer en el Grado SAE que provee excelente control de la limpieza

		de los pistones, desgaste, manejo del hollín y estabilidad del lubricante. Está recomendado para motores diesel de alta potencia que cumplen los requerimientos de emisiones de Euro 1, Euro 2, Euro 3 y Euro 4; y trabajan bajo condiciones muy severas,
	E7	Aceite muy estable, para permanecer en el Grado SAE que provee efectivo control de la limpieza de los pistones, del pulido de las camisas y estabilidad del lubricante. Además provee excelente control del desgaste y los depósitos del turbocargador, manejo del hollín y estabilidad del lubricante.

Tabla 2.2.3.2.2.- Clasificación ACEA de aceites para motores a diesel.[34]

Un par de notas importantes de ser consideradas para un adecuado análisis del aceite y en si del funcionamiento del motor serán:

- Al seleccionar un aceite para cualquier aplicación de motor se debe satisfacer tanto la viscosidad como la calidad del aceite lubricante. Si satisface solo uno de estos parámetros serán insuficiente para satisfacer las especificaciones de una aplicación.
- Nunca se debe empeorar la calidad de un aceite lubricante. Dicho en otras palabras se deberá siempre utilizar el aceite que cumpla con la clasificación API que recomiende el fabricante. Si uno decide utilizar un aceite con una regulación API diferente a la sugerida, se recomienda que el aceite empleado sea de mejor calidad, nunca se debe reducir pero si se puede mejorar la calidad.

2.2.4. SELECCIÓN DE LUBRICANTES

La selección del lubricante se realizará de acuerdo a las necesidades del sistema a lubricar así como de los recursos que se hayan planificado invertir para el mantenimiento de los equipos. Dentro de las necesidades del equipo se

[34]http://www.cal.org.ar/clasificacion.pdf

encuentran el diseño, las condiciones de operación, el método de aplicación, y las consideraciones de salud, seguridad y ambiente; todos estos parámetros determinados por el fabricante del equipo y controlados en la compañía. Sin embargo, siempre es adecuado comprobar que los aceites utilizados cumplan con las condiciones arriba mencionadas. Por ello es necesario tener claro los pasos a seguir para realizar una selección adecuada. Así pues se proponen unas ideas generales a seguir en la selección del lubricante:

- Conocer las recomendaciones del fabricante del equipo en cuanto a calidad y viscosidad del aceite para cuando esté operando. No se recomienda alterar la calidad de un lubricante, ya que según la calidad del mismo se tiene definidos los aditivos. Por lo tanto no se debe pensar que el aceite y los aditivos habrán de ser controlados por separado. Los aditivos son parte del aceite de acuerdo a la calidad del mismo.
- Nunca se debe agregar aditivos extras a los ya existentes en el aceite lubricante, porque se corre el riesgo que los aditivos adicionados recientemente no sean compatibles con los aditivos del aceite y esto desencadene en una falla del motor por deficiencia en la protección del aceite.
- Las condiciones ambientales en las cuales habrá de funcionar el equipo son quizá uno de los parámetros más importantes de ser considerados.

Adicionalmente hay que aclarar que la viscosidad del aceite a altas y bajas revoluciones (las revoluciones determinan si el equipo está en carga máxima o ralentí) no deben variar excesivamente. En cuanto a la película formada, ésta deberá ser lo suficientemente espesa en las zonas de contacto entre los elementos rodantes para cumplir con su función de lubricación.

2.2.5. PERIODOS DE EVALUACIÓN

Cuando se estudia a sustancias lubricantes, se debe recordar que las mismas poseen un determinado periodo de vida útil. Dicho periodo de vida útil aunque ha sido previamente determinado por pruebas de laboratorio, no siempre es

determinante ya que el tiempo y forma de trabajo del equipo determinará si dicho tiempo dado por el fabricante será menor o mayor al tiempo de vida útil real. Por ello, se debe que tanto las normas internas de la compañía como el modo de trabajo del equipo serán los determinantes para determinar los periodos de evaluación del lubricante.

En la siguiente tabla se enuncia un periodo de evaluación que se debe considerar en función del modo y condiciones en las que se encuentra operando el equipo.

Aplicación	Horas
Motores en condiciones extremas de operación (vehículos fuera de carretera)	100 – 200
Motores que trabajan en carreteras (omnibuses diesel)	150 – 250
Motores marinos, industriales y estacionarios	200 – 300

Tabla 2.2.5.1. Intervalos recomendados para la toma y análisis de una muestra de aceite en motores diesel[35]

Ahora bien, dentro de las normativas de la empresa se tienen considerados ciertos intervalos de tiempo de acuerdo a la utilización del equipo o en algunos casos de acuerdo a tiempos definidos máximos en que un equipo puede encontrarse sin operar.

Una vez que se ha procedido a la toma de la muestra de aceite, se debe saber cuales son los parámetros que se considerarán para la interpretación de los resultados. Aquí una tabla de ayuda para dicho proceso:

Rango	Correspondencia
Normal	Valores cercanos a los de un aceite nuevo (sin uso). Las muestras de aceite seguirán siendo tomadas según la programación o cuando se intervenga por alguna reparación.
Atención	Valores que exceden significativamente los niveles normales. El

[35]http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/imag_diagnostico.htm

	aceite se encuentra en condiciones de uso, pero por tiempo limitado. Iniciar un muestreo continuo para controlar el estado de la máquina.
Acción	Valores extremos, que si son sobrepasados, ponen en riesgo el estado técnico del motor o puede quedar seriamente dañado. Se requiere tomar una acción correctiva inmediata.

Tabla 2.2.5.2.- Interpretación de los rangos de cambios.[36]

2.2.6. Problemas comunes asociados al aceite y su estado

Los sistemas modernos de engrase a presión han reducido el desgaste del cigüeñal y de los cojinetes a unas cifras muy pequeñas si se las compara con las corrientes algunos años atrás. Si se consigue mantener una película de aceite de engrase entre las superficies de trabajo, no es fácil que se produzcan frecuentes averías y, a tal fin, el aceite se transmite directamente a los cojinetes y a todas las superficies de trabajo por medio de conductos y tuberías, y gracias a la presión de una bomba, para con ella engrasar forzosamente a todos los puntos que hay que engrasar.
La mayor parte de los problemas se refieren al aceite mismo, y a lo que le sucede al aceite cuando se emplea en el motor. Estos son los problemas más comunes:

1) Contaminación del aceite lubricante por partículas externas y/o por sustancias resultantes del proceso de combustión: esto ocurre principalmente porque ciertos productos pesados llegan hasta el depósito de aceite del motor y reaccionan con el aceite hasta diluirlo. Parte de estos productos pesados entran a través de los anillos del pistón. Los elementos contaminantes que ingresan por este medio son:

   a) *Silicio (polvo):* elemento generalmente constituyente de la tierra que entró por el filtro de aire o alguna parte del sistema de alimentación del aire, aunque también puede provenir de un motor nuevo o recién

[36]http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/hidraulica_mecanica/2001_n2/images/pag27_tab4g.jpg

rectificado porque la computadora lee como “silicio” la Silicona que sale de nuevos retenes y selladores, y de los aditivos del aceite como antiespumante.

Se debe además recordar que la tierra que ingresa es abrasiva y destroza las camisas, los anillos y todo donde existe fricción y entra en contacto con el aceite. El motor por cada litro de combustible diesel que consume, precisa de 8,000 litros de aire para su combustión. Este aire debe ser totalmente puro y libre de contaminantes. Para eso el filtro de aire debe estar bien sellado y ser eficiente.

b) *Agua:* El agua causa herrumbre y aumenta el potencial corrosivo de los ácidos. También reacciona con ciertos aditivos para formar productos agresivos; también actúa como catalizador para promover oxidación en la presencia de metales como hierro, cobre y plomo. Cuando hay agua libre en el cárter, pueden crearse micro-organismos que se comen el aceite, formando ácidos que causan corrosión y obstruyen el filtro.

   El agua reduce la película lubricante e interfiere con la lubricación dejando las piezas susceptibles al desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga. En áreas de presión las gotas de agua colapsan causando cavitación. El agua ingresa por los respiraderos, retenes y el sistema de enfriamiento. También se acumula mediante la condensación (humedad en el motor cuando se enfría).

c) *Sodio:* Si la muestra fue tomada con el motor caliente, cualquier ingreso de agua normalmente debería haberse evaporado y solo dejar residuos de sus minerales. En algunos casos el sodio puede entrar con la humedad del aire al motor, pero generalmente es un residuo de agua. Esta agua puede haber entrado por una empaquetadura de culata “soplada”, camisa o bloque perforado o simplemente por lavado del motor con agua a alta presión. De todas maneras, siempre hay que controlar este contaminante.

d) *Potasio:* La contaminación por potasio es similar a lo que ocurre con el sodio, siendo muchas veces mayor a la misma contaminación por sodio. El potasio aparece por la presencia de agua que ingresa a otras secciones del motor que no es la cámara de combustión debido a que el

motor no se ha calentado lo suficiente. Asociado a la contaminación tanto por potasio como por sodio se observa herrumbre de los equipos.

e) *Aluminio:* El aluminio aparece en el análisis por varias causas. Una parte de esto puede ser desgaste de elementos como las camisas o el block, culata entre otras partes; otra puede provenir del aire contaminado con tierra que se introduce en el motor. La tierra y polvo que respira el motor contiene un porcentaje de aluminio que varía entre 0.29% a 0.33%. Esto quiere decir que por cada 10 ppm de tierra que se observa en el análisis se deberá tener cerca de 3 ppm de aluminio por la tierra. La contaminación de aluminio se evita controlando el ingreso de silicio.

2) Contaminación del aceite lubricante por presencia de partículas metálicas consecuencia del desgaste propio de los elementos internos del motor: Otra de las causas para que haya contaminación es por el desgaste de ciertos elementos internos del motor; es así que todos los análisis de aceite de motor usado reportarán elementos de materiales de desgaste.

   Para reducir el desgaste utilizando el análisis de aceite, tenemos que entender de qué partes del motor provienen esas partículas de desgaste. Existen muchos diseños de motores, utilizando variados materiales.

   En general, los bujes y cojinetes de árbol de levas, martillo, pasadores y pistones son de bronce, mientras los cojinetes de bielas y bancada que reciben mayores fuerzas son de dos o tres metales. La última capa normalmente es de plomo para gastarse en el asentado del motor y dejar mejor circulación del aceite sin turbulencia. Es por ello que el análisis se basará en un motor estándar, en donde encontraremos los siguientes elementos de desgaste:

a) *Hierro:* normalmente el hierro viene de la fricción entre las paredes de los cilindros (sean camisas o el bloque mismo) y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadenilla, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas.

El hierro puede provenir del desgaste o herrumbre. Un motor que tiene aceite contaminado por tierra, falta de viscosidad, o alto hollín (entre otros) tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Si el aceite está con agua, todas las piezas de hierro son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre a controlarla.

- *Desgaste de anillos y cilindros:* Cada hora que el motor está encendido, los pistones suben y bajan, raspando los anillos contra las paredes de los cilindros. En un viaje de 10 minutos en un auto normal, cada anillo de cada pistón viajó 6 kilómetros raspando las paredes. Si el aceite pierde su viscosidad, el desgaste es severo. Si el aceite está contaminado, los contaminantes rayan las paredes. Mucha de ésta lubricación es hidrodinámica, dependiendo de la viscosidad para evitar desgaste. Cuando falla la lubricación hidrodinámica los anillos dependen de los aditivos anti-desgaste que proveen lubricación límite. El trabajo del anillo superior es "barrer" el aceite al bajar en el cilindro, dejando las paredes secas para la combustión. Este anillo depende 100% de la lubricación límite.
- *Desgaste de la bomba de aceite:* La bomba de aceite solamente puede gastarse si existe contaminación del aceite, nivel bajo de aceite (falta de lubricación), o nivel demasiado alto de aceite (causa espuma que se rompe en la bomba provocando cavitación y falta de lubricación).
- *Otras piezas:* El desgaste del cigüeñal, árbol de levas, válvulas y otras piezas similares no depende tanto de la carga o las presiones, sino la lubricación hidrodinámica y la contaminación. Alto contenido de hollín o tierra causa desgaste severo de estas piezas.

b) *Cobre:* normalmente viene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas. Los cojinetes y bujes normalmente son aleaciones y capas de diferentes metales blandos diseñados para absorber impacto y desgaste en lugar del cigüeñal y las bielas. El residuo de estos elementos viene de desgaste o corrosión.

- *Desgaste de cojinetes y bujes:* Cuando falta lubricación hidrodinámica por falta de viscosidad o velocidad el motor depende de los aditivos anti-

desgaste en el aceite para proveer lubricación límite (también llamado marginal o estática). Si el aceite no puede cumplir con este requerimiento por falta de aditivos, al existir degradación o sobrecarga, el cojinete roza contra su contraparte (el cigüeñal, biela, etc.) y desgasta.

- *Desgaste de arandelas de empuje:* Las arandelas de empuje siempre están en contacto con el bloque cuando exigimos la máxima fuerza del motor o lo sobrecargamos tratando de acelerar rápidamente o subir las montañas. Este desgaste normalmente aparece como cobre.
- *Desgaste de guías de válvulas:* Las guías de válvulas deberían durar muchos años. Sin embargo, cuando el aceite es de baja calidad y empieza a carbonizarse en los vástagos, este carbón desgasta las guías, causando cobre en los análisis y alto consumo de aceite.
- *Corrosión:* El enfriador de aceite (si tiene) es sujeto a corrosión por los ácidos y la humedad en el aceite. Esto es mayor cuando el motor es utilizado en viajes cortos (3 a 5 km) o no tiene termostato, y el motor no tiene tiempo para calentarse. También ocurre cuando el motor queda estacionado varios meses sin usar (invierno, entre cosechas, etc.)

c) Plomo: El plomo viene de cojinetes, volandas de empuje, bujes de bielas. La causa más común del plomo en el aceite es la corrosión de los cojinetes en motores que son guardados un mes o más con aceite semi-usado o sucio. Los contaminantes y los ácidos que se forman en el aceite causan corrosión cuando no está circulando para refrescar los aditivos en contacto con los cojinetes. Se observa mucha corrosión de cojinetes en equipo agrícola y equipo de construcción que se utilizan en ciertos periodos del año y se guardan meses sin usar.

d) *Aluminio:* Las partículas de desgaste de aluminio (después de eliminar lo que ingresa como tierra) viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones, arandelas de empuje y el turbo.

Normalmente los cojinetes y bujes trabajan 100% en lubricación hidrodinámica. Solamente cuando falla esta lubricación o se contamina el aceite ocurre contacto entre las piezas y desgaste adhesivo.

Desgaste de aluminio de los pistones ocurre cuando hay falla de lubricación hidrodinámica o se abre mayor espacio entre las paredes de los cilindros y los pistones permitiendo el movimiento lateral de la falda del pistón.

e) *Cromo:* El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite.

f) *Estaño:* El estaño viene de las aleaciones de metales en los cojinetes y bujes (varios) y volandas de empuje. Estos dependen 100% de la lubricación hidrodinámica.

g) *Plata:* La mayoría de los motores no tienen piezas de plata, pero en los que tienen (EMD) el uso de lubricantes con Zinc causará corrosión de plata.

3) Degradación del aceite. La degradación debe ser entendida como la disminución de la eficacia del aceite. Se analiza este aspecto del aceite porque la degradación muchas veces no presenta contaminantes, sino que más bien afecta a las propiedades inherentes del aceite lubricante.

Las causas de la degradación del lubricante pueden ser: baja temperatura del agua de las camisas, alta humedad, consumo de aceite, carga del motor, tipo de combustible y falta de mantenimiento. Mientras que las formas más comunes de comprobar la degradación son: la presencia de productos de oxidación, derivados de azufre y productos de nitración. Estos productos pueden medirse en una muestra de aceite para indicar el estado del aceite en cualquier momento.

Causa	**Efecto**
Baja temperatura del agua de las camisas.	La temperatura de salida del agua de las camisas del motor fomenta la formación de ácidos corrosivos. Primero, aun con menos del 0,5°(0 de azufre en el combustible, cuando la temperatura es inferior a 79°C (175°F), se forman fácilmente vapores acídicos y comienza el ataque corrosivo. Segundo, las bajas temperaturas aumentan el contenido de agua en el aceite, la cual reaccionar con algunos aditivos, causar su dilución y reducir las cualidades de lubricación del aceite.

	Esto puede causar la formación de escama, depósitos, barniz y carbono, y esto, a su vez, fomenta los gases que van al cárter, el pulido del diámetro interno de las camisas de cilindro y el atascamiento de anillos de pistón.
Alta humedad	En aquellas aplicaciones donde la humedad es de 85% o mayor es fácil que se formen ácidos gaseosos por el alto contenido de agua en el aire. Esto puede aumentar también los efectos corrosivos
Consumo de aceite	El ritmo de consumo de aceite puede dar datos valiosos en cuanto al motor. Los cambios en el consumo, ya sean graduales o repentinos, son indicaciones de desgaste de anillos y camisas de cilindro o atascamiento de anillos de pistón. Es sumamente importante bombear suficiente aceite (con un NBT o reserva de alcalinidad adecuados) al área de los anillos para neutralizar el ácido.
Incorrecta relación de carga/velocidad	La carga del motor juega un papel importante en la degradación del aceite. Los sistemas de lubricación y enfriamiento de los motores que operan a la velocidad de régimen y alta carga, operan a su máxima eficiencia. Sin embargo, si se reduce la carga con el motor trabajando a la velocidad de régimen, los sistemas de lubricación y enfriamiento continuarán operando eficientemente, pero puede enfriarse demasiado el motor y formarse condensación. Esto puede afectar las camisas y los anillos y aumentar los gases que van al cárter del motor.
Combustible inadecuado	Los combustibles con temperaturas de destilación más altas pueden deteriorar al motor porque los productos destilados más pesados no se queman completamente en un ciclo de alta velocidad de un motor diesel. El motor está sujeto a concentraciones más altas de hollín y otros derivados sin quemar o parcialmente quemados, los cuales fomentan la formación de depósitos. Los gases de escape en el cárter que pasan por las paredes de los

	cilindros y van al sumidero recargan aún más al lubricante.

Tabla 2.2.6.1.- Causas más comunes asociadas a la degradación del aceite

En las siguientes tablas se mostrarán las zonas de desgaste más comunes dentro de un motor diesel, las partículas que aparecen de las mismas y los posibles elementos de los que pueden proceder.

Motor	Fe	Cu	Pb	Al	Si	Cr	Sn	Na	K
Cojinetes		X	X	X			X		
Bujes		X		X			X		
Árbol de levas	X								
Refrigerante					X	X		X	X
Cigüeñal	X								
Camisa	X					X			
Válvula Escape	X					X			
Cojinetes anti-fricción	X					X			
Empaquetaduras					X				
Gasolina			X					X	
Carcasa	X			X					
Tierra					X				
Aditivo					X				
Enfriador de Aceite		X							
Bujes de bomba de aceite				X					
Bomba de aceite	X			X					
Pistones	X			X					
Anillos	X					X			
Volandas de empuje		X	X	X			X		
Engranajes de cadenilla	X								
Turbo	X			X					
Guías de válvulas	X	X							
Tren de válvulas	X								

Bujes de bielas		X	X	X			X		
Bielas	X								

Tabla 2.2.6.2. El desgaste puede provenir de varias partes del Motor. Esta tabla indica el origen más probable del material que reporta análisis del aceite.[37]

Transmisiones	Fe	Cu	Pb	Al	Si	Cr	Sn	Na	K
Bujes		X		X					
Embragues	X	X							
Aditivo de Refrigerante					X	X		X	X
Cojinetes anti-fricción	X					X			
Engranajes	X								
Tierra					X				
Aditivo de Aceite					X				
Enfriador de Aceite		X		X					
Bombas	X			X					

Tabla 2.2.6.3. El desgaste puede provenir de varias partes de una Transmisión Manual. Esta tabla indica el origen más probable del material que reporta el análisis del aceite.[38]

Compresores de Aire	Fe	Cu	Pb	Al	Si	Cr	Sn	Na	K
Cojinetes	X	X	X	X			X		
Bujes		X					X		
Aditivo de Refrigerante					X	X		X	X
Cilindros	X								
Cigüeñal	X								
Cojinetes anti-fricción	X								

[37] www.**widman**.biz
[38] www.**widman**.biz

Tierra					X				
Enfriador de Aceite					X			X	
Pistones				X					
Anillos	X								
Rotores	X								
Tornillos	X			X					
Ejes	X								
Volandas de empuje		X							
Platos de desgaste		X							

Tabla 2.2.6.4. El desgaste puede provenir de varias partes de un Compresor de Aire. Esta tabla indica el origen más probable del material que reporta el análisis del aceite.

2.2.6.1. Límites de desgaste normal

La tabla siguiente demuestra unos valores típicos o límites de silicio y desgaste. Niveles por encima de éstos deberían ser investigados y tomar acciones para evitar acortar la vida útil del motor. Mientras se puede decir que estos límites son aceptables, hay que reconocer que entre más bajo el desgaste, mayor la vida útil del motor.

Estos valores son para el momento del cambio de aceite.

Elemento	ppm	Comentarios
Silicio (Tierra)	5-10	Niveles encima de 15 ppm empiezan a mostrarse con un desgaste significativo.
Hierro	5-50	Un motor pequeño debería ser entre 5 y 15 ppm, mientras un motor grande puede ser entre 10 y 50 ppm.
Cromo	1-8	Depende mucho de la cantidad de piezas cromadas en el motor.
Aluminio	2-15	Después de descartar lo que entró con la tierra, dependerá mucho del diseño del motor. Un bloque de aluminio mostrará más desgaste de aluminio y menos partículas de

		hierro.
Cobre	2-5	Aceleración fuerte o enfriador de aceite mostrará valores más altos. Muchos motores pueden quedar cerca de 5 ppm.
Sodio	0-10	Depende del combustible y medio ambiente. Valores mayores son contaminaciones por agua.
Plomo	2-10	Aceleración fuerte o largos periodos sin utilizar el motor.
Estaño	1-2	Aceleración fuerte en algunos motores.

Tabla 2.2.6.1.1. Límite y fuente de aparecimiento de elementos de desgaste

2.2.6.2. Problemas Comunes fáciles de determinar en una muestra de aceite lubricante.

1) Formación de lodos: cuando el aceite alcanza la temperatura de régimen del motor, agitándose simultáneamente con aire se produce una determinada oxidación, y mientras mayor tiempo se produce esta oxidación mayor será la degradación del aceite hasta convertirse en lodo. La estructura de estos lodos es mucilaginosa, espesa y viscosa; y que se deposita fácilmente a través de los conductos de engrase. Este fenómeno ocurre con gran facilidad en el cárter, ya que allí es donde el aceite se encontrará agitándose continuamente.

2) Depósitos en el cárter: como se ha mencionado, en el cárter se formarán con gran facilidad los lodos, pero hay que diferenciar claramente dos a tres tipos de acuerdo a su naturaleza y formación. Quizá el lodo más nocivo formado sea el que aparece de la combinación entre el aceite y oxígeno a elevadas temperaturas, ya que este lodo es muy similar al alquitrán, y cabe mencionar que este lodo no es consecuencia de la acción de elementos contaminantes externos.

3) La espuma y sus causas: este problema de los motores es causado cuando hay exceso en la cantidad de aceite. Hay que recordar que todo aceite produce burbujas cuando se airea, aunque este aireamiento es a veces beneficioso para el equipo, siempre y cuando su duración no sea

prolongada. El proceso de aireación puede ocurrir cuando la bomba de aceite aspira, así que siempre será necesario cuidar más allá que se airee, que la duración de las espumas sea corta.

4) Filtros para aceite de engrase: en este aspecto se trata de controlar la calidad de la filtración, ya que cada elemento filtrante tiene propiedades y funciones específicas dadas ya sea por los elementos que lo constituyen o por el rendimiento cuando está en operación.

2.3. Mantenimiento de motores.

El mantenimiento de equipos en las industrias es de vital importancia, ya que con un adecuado programa para el mismo se puede conseguir que los equipos tengan largos periodos de vida útil sin que su eficiencia se vea disminuida. Ahora bien, existen varias técnicas de mantenimiento que pueden ser aplicadas, entre las más conocidas están el mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo, proactivo. Estas técnicas no son independientes unas de otras, sino que pueden ser una complemento de otra. En este caso, se busca dar una mejora al mantenimiento preventivo actual que posee la compañía al crear un mantenimiento preventivo de motores basado en análisis de muestras de aceite, o conocido en la actualidad como mantenimiento proactivo. Con esto se busca más que nada evitar la paralización de equipos por daños, ya que aunque se ha llevado a cabo el mantenimiento preventivo de los equipos en lo que corresponde a cambio de fluidos de trabajo y mantenimiento de la estructura externa, a nivel interno en los motores no se ha hecho ningún tipo de evaluación. Por falta de cuidado en este aspecto, se han suscitado problemas con equipos, los mismos que han desencadenado en reparaciones completas.

2.3.1. Reseña Histórica del Mantenimiento.

El mantenimiento de los equipos aparece como una herramienta para controlar que los mismos puedan funcionar por largos periodos. En si, el mantenimiento

es una técnica aplicable a todo producto de ingeniería. Pero en si esta técnica de la ingeniería se ha ido desarrollando hasta llegar al concepto actual:

"Es el conjunto de acciones que permite conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir un servicio determinado"[39]

Por ello, la función primera del mantenimiento es preservar bienes, equipos e instalaciones a través de actividades de control y verificación del estado del equipo.

Ahora bien, tomando como base la realidad ecuatoriana, se pueden definir ciertos periodos de desarrollo de esta técnica, y esta evolución será expuesta en la siguiente tabla:

Periodo analizado	**Área de la industria**	**Personal humano**
1971 - 1979	Equipo de producción	Operador (encargado de la operación y mantenimiento del equipo)
	Equipos sencillos	No existía
	Personal de mantenimiento	El mismo personal de operaciones (inexistencia de personal técnico)
1980 a la fecha	Equipos automatizados	No requieren de mayores cuidados
	Equipos de operación humana	Este personal solo se dedica a la operación del equipo
	Personal de mantenimiento	Personal tecnificado, experimentado y responsable cuya única función es el cuidado del equipo.

Tabla 2.3.1.1.- Evolución del mantenimiento en la industria ecuatoriana[40]

Esta corriente que tuvo sus inicios a principios de los años 70 se ha ido día a día tecnificando, ya que a la par del aumento de la producción, se iban

[39] Norma venezolana COVENIN 3049-93 Mantenimiento definiciones
[40] CIMEPI, organización y evaluación del mantenimiento

reduciendo los tiempos muertos de los equipos. Este mantenimiento donde se buscaba la mayor producción posible con los menores costos era conocido como mantenimiento basado en la confiabilidad. Pero no todo el mantenimiento comenzó con base en la confiabilidad, sino por el contrario al principio esta herramienta fue considerada un gasto innecesario, además se lo tenía casi siempre ligado a correcciones en el equipo una vez que este dejaba de funcionar completamente. Es por ello que se menciona brevemente este proceso de evolución del mantenimiento a través de generaciones:

1ª generación: Mantenimiento correctivo total. Se espera a que se produzca la avería para reparar.
2ª generación: Se empiezan a realizar tareas de mantenimiento para prevenir averías. Trabajos cíclicos y repetitivos con una frecuencia determinada.
3ª generación: Se implanta el mantenimiento a condición. Es decir, se realizan monitorizaciones de parámetros en función de los cuales se efectuarán los trabajos propios de sustitución o reacondicionamiento de los elementos.
4ª generación: Se implantan sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y, de la organización y ejecución del mantenimiento. Se establecen los grupos de mejora y seguimiento de las acciones.

2.3.2. Estrategias y Herramientas del Mantenimiento.

Se debe recordar que por más perfecto que sea un programa de mantenimiento, siempre existirán elementos, mecanismos y hasta circuitos que estarán sujetos a desgaste pudiendo fallar o sufrir daños. Es por ello que se han determinado ciertos caminos o tareas que deben ser aplicadas para garantizar el mayor beneficio posible de un equipo. Estas tareas son:

- Respecto al desgaste: hay que cuidar que los elementos inmersos en el proceso de desgaste se encuentren adecuadamente lubricados, con el fin de retrasar el tiempo de cambio, pero no por ello se habrá de descuidar las dimensiones de los mismos, ya que es necesario también

determinar los desgastes máximos que habrán de sufrir las piezas antes de ser necesariamente cambiadas.

- Respecto a las fallas o defectos: una vez que se conoce bien el proceso de desgaste al cual está sometido un equipo, es necesario predecir sus consecuencias, para con ello prevenir o corregir según sea el caso.

Estos dos problemas son la base del mantenimiento, ya que el mismo busca eliminarlos. Para ello se cuenta en el mantenimiento con ciertas herramientas y estrategias que pueden ser aplicadas de manera conjunta o no.

2.3.2.1. Estrategias de mantenimiento

Cuando se habla de estrategias de mantenimiento se debe entender que son los métodos o tácticas posibles de ser aplicadas para conseguir que el equipo no presente fallas. Como se dijo, estas estrategias buscan brindar más posibilidades de corregir un problema antes que suceda.

Las técnicas más importantes por su aplicación son:

- Mantenimiento preventivo: es quizá la estrategia que mayor acogida tiene en la actualidad por su facilidad de aplicación a nivel industrial y por los resultados que presenta en el proceso productivo. Sin embargo, la base de todo este proceso radica en la probabilidad de que una falla ocurra. Entonces el alcance de esta técnica esta en adelantarse a la falla y no permitir un paro prolongado del equipo.
- Mantenimiento predictivo: este método en cambio basa sus probabilidades de que ocurra un imperfecto porque se han realizado varias mediciones periódicas de una variable determinada, y una vez que se tienen dichas mediciones se busca establecer la necesidad o no de efectuar trabajos de mantenimiento.[41]
- Mantenimiento correctivo: este mantenimiento aparece necesariamente en los equipos cuando los mismos han sufrido una avería y por

[41] Duffuaa (pag. 92)

consiguiente, el equipo no puede ser utilizado hasta que el o los elementos averiados sean reparados y/o cambiados. Este tipo de mantenimiento requiere necesariamente que el equipo se encuentre parado y que existan repuestos para cambiarlos.

- Mantenimiento proactivo: este tipo de mantenimiento es una variante actual del mantenimiento preventivo, o dicho de otra forma es una mejora del mantenimiento preventivo, cuya filosofía básica es prevenir la falla en función de un estudio del desgaste. Dicho de otra manera:

  "Las técnicas de Mantenimiento Predictivo, nos indican el momento en el que la pieza o componente está próximo a la falla, pero no nos dice como evitarla. - Afortunadamente, existe una nueva alternativa conocida como "Mantenimiento Proactivo".

  El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones."[42]

- Mantenimiento autónomo: este mantenimiento busca prevenir el deterioro del equipo y los componentes del mismo. En este tipo de mantenimiento no es necesario de técnicos, sino por el contrario se requiere que el personal de operaciones realice inspecciones visuales o revisiones del equipo en funcionamiento, detectando cuando haya pérdidas de eficacia del equipo. Eso si, los operadores nunca estarán en capacidad de arreglar el desperfecto. Ellos son simplemente personal que cuida del equipo, no lo repara.

2.3.2.2. Herramientas de mantenimiento

[42] http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/lubproact.asp

Las herramientas empleadas ayudan a direccionar el análisis de los resultados, y por ello existen diversas. Dependiendo de la calidad de los datos que se tengan, se podrá utilizar una o algunas herramientas, por ello se habrá de enlistar las principales herramientas que de ser posibles deben ser consideradas:

- Análisis modal de fallas y efectos (AMFE)[43]: es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema. Este procedimiento busca los problemas tanto actuales como futuros (de allí el término "potenciales") y mediante un análisis de los mismos predecir posibles fallos y corregirlos, sin que la productividad de la empresa se vea afectada. La implementación del AMFE se basa fundamentalmente en dos aspectos que tienen su esencia en la lógica, la razón y el orden propios del ser humano, y estos son:

    - La experiencia del grupo que lo lleva a cabo.
    - Los datos que se tengan sobre los problemas o fallos surgidos en el pasado.

  El grupo de trabajo que debe llevar a cabo el proceso de AMFE no debe ser numeroso, pero ha de estar formado por personas lo suficientemente experimentadas en el ámbito en que se desarrolle el estudio, o en situaciones similares, como productos o procesos semejantes, etc.
  Dicho grupo de trabajo debe contar con el apoyo consistente de la gerencia para llevar a cabo de forma efectiva el estudio y alcanzar los objetivos perseguidos. Es importante al respecto, fijar unos plazos adecuados y determinar los límites técnicos del estudio.
  Aunque en principio la dificultad no parece muy grande, se requiere un gran esfuerzo para la realización de un AMFE. Más aún, si no surgen dificultades, lo más probable es que no se esté realizando de forma

[43] http://www.barandilleros.com/analisis-modal-de-fallos-y-efectos-potenciales-amfe.html

adecuada y profunda ya que se debe recordar que siempre existirán los problemas, aunque sean mínimos.

2.3.3. Características asociadas al Mantenimiento.

Cuando se habla de las características asociadas al mantenimiento se debe considerar primeramente que esta técnica propia de las empresas busca planificar y organizar toda la información de los equipos, de sus estados y reparaciones. Esta información estará registrada, y mediante un adecuado manejo de la misma se podrá proyectar sus resultados y así poder conseguir tendencias tanto para el desgaste como para el mantenimiento preventivo.

La información es quizá el recurso principal con el cual se contará en este proceso de mejora de la efectividad del equipo; no así el soporte tecnológico, ya que el ordenador por sí solo no ayudará a planear el mantenimiento sino solamente lo facilitará. De la manera como se ordene y tabule la información se podrá generar opciones de mantenimiento, las mismas que ayudarán a tomar decisiones inmediatas y futuras.

2.3.3.1. Objetivo Del Mantenimiento.

"Todo proceso industrial tiene por meta emplear el capital mínimo en instalaciones, maquinaria y mano de obra para que, obteniendo la calidad y cantidad deseadas, puedan conseguirse los mayores beneficios dentro de un aspecto social y moral no especulativo, la más alta productividad se consigue con el empleo más racional, eficaz y económico de la planta industrial o compañía de servicios, y del personal en ellas involucrado"

Sabiendo que con el mantenimiento se habrá de cuidar tanto de los bienes materiales como recursos tanto humanos y económicos de la empresa, el mantenimiento se convierte en la herramienta que debe ser empleada de manera correcta en todos los procesos de la empresa. No se trata de una

herramienta que busca denunciar cuando un proceso no es satisfactorio, sino hacer que dicho proceso genere satisfacción a la empresa en su conjunto.

2.3.4. Tipos de Mantenimiento.

El presente proyecto está pensado en direccionar el estudio de los aceites a un nivel mucho más que un simple análisis de partículas y elementos presentes ya sea en suspensión o dilución. Debido a la gran importancia del mantenimiento preventivo en la actualidad, el análisis de aceite en los motores a diesel es decisivo para determinar la fiabilidad del equipo en funcionamiento. Como este campo del análisis de aceites esta cada día más desarrollado y apoyado por la tecnología, se ha llegado a determinar que no sólo es necesario conocer el estado del aceite una vez que ha sido empleado, sino de las condiciones ambientales, de la misma condición inicial del aceite antes de ingresar en el equipo, y hasta de conocer los mantenimientos realizados previamente.

Todos los requerimientos que se han mencionado previamente tienen como finalidad la determinación del estado del equipo así también la determinación de si el entorno resulta grave o ligeramente desfavorable para el funcionamiento del equipo, y sobre todo determinar si algún elemento móvil interno presenta condiciones desfavorables que puedan desencadenar un paro por daño en el equipo.

Pero uno se puede preguntar si ese no es el objetivo que se persigue en cualquier plan de mantenimiento que se maneje en la actualidad. Es por ello que además de ser un producto del avance científico y tecnológico, es quizá la herramienta más moderna con que se cuenta en el área de mantenimiento para la búsqueda de la causa-raíz de la falla de algún elemento o incluso del equipo en sí. Además ayuda a la predicción de fallas en los equipos.

Ahora bien, para obtener el mayor beneficio posible del análisis de aceites, es necesario realizar no sólo las pruebas de laboratorio en cuanto a

contaminantes, partículas metálicas de desgaste y presencia de sustancias extrañas en el aceite; por el contrario, es necesario implementar una secuencia de estudio para determinar si los contaminantes y partículas/sustancias extrañas son consecuencia del desgaste propio de los elementos móviles o si son consecuencia de fallas en los sistemas de protección del motor.

Por lo tanto, dentro de los tipos de mantenimiento que se manejan en la actualidad, el tipo de mantenimiento que se ha de implementar será el mantenimiento predictivo, y más específicamente el mantenimiento con base en análisis de aceites.

Pero como se ha mencionado este mantenimiento aunque es conocido, el estudio de las muestras de aceite es relativamente nuevo. Por ello, se ha decidido tomar emplear la metodología SACODE, la misma que está estructurada para no solo analizar de manera efectiva a las muestras de aceite, sino que a través de una secuencia de pasos o etapas se podrá determinar con un alto grado de confiabilidad las posibles fallas en el equipo, ya sea por desgaste de elementos móviles, por fallas de dispositivos de seguridad y bloqueo o por contaminación del aceite debido a fallas en sistemas de transporte de fluidos dentro del motor.

2.3.4.1. Mantenimiento Preventivo (empleando la metodología SACODE para la interpretación de análisis de aceites)

La metodología SACODE adquiere su nombre debido a los campos que se habrán de analizar para los aceites lubricantes, ya que como se había mencionado previamente, es necesario analizar al aceite por etapas, ya que dentro de la calidad del aceite se analizará tanto las condiciones iniciales y variaciones propias del aceite, propiedades y sus aditivos (conocido como la salud y degradación del aceite) y la presencia de elementos suspendidos en el aceite que son de naturaleza diferente a los aditivos (contaminación y desgaste de elementos móviles) .

2.3.4.1.1. Aspectos a considerar en la metodología SACODE

La metodología SACODE por lo tanto se encarga del análisis de las muestras de aceite en base a tres parámetros fundamentales que son la salud, la contaminación y el desgaste del aceite..

- Salud: aquellos cambios relacionados con el aceite en sí, por ejemplo: viscosidad, contenido de aditivos (fósforo, zinc, calcio, magnesio, bario, etc.), número total ácido (para aceites hidráulicos), oxidación, sulfatación, nitración, punto de inflamación, índice de viscosidad, número total básico (para aceites de motores), entre otras propiedades.
- Contaminación: todas aquellas sustancias contaminantes presentes en el lubricante, tales como: partículas de tierra y polvo (silicio), agua, solventes, combustibles, materiales del proceso (cemento, hierro, plástico, etc.), otros aceites lubricantes, hollín, refrigerante, etc.
- Desgaste de elementos móviles: son las partículas procedentes de la maquinaria y equipo, como hierro, cobre, estaño, aluminio, cromo, entre otros elementos que forman muchas veces parte del recubrimiento

Otros elementos o parámetros a ser considerados dentro de la metodología serán:

- Las características iniciales del aceite nuevo que se utilizará en la lubricación del equipo y que estarán determinadas por el fabricante (por ejemplo, viscosidad, TAN, TBN, contenido de aditivos -fósforo, zinc, calcio, magnesio, boro, silicio[44]. Es fundamental contar con la información del fabricante del lubricante para poder implementar un programa de análisis de aceite efectivo.
- Límites o valores de Precaución: señalan una condición por sobre la cual se tiene una situación anormal y una acción es necesaria
- Límites o valores Críticos: señalan una condición por sobre la cual se tiene una situación crítica y se requiere tomar una acción inmediata

[44] este elemento puede formar parte del paquete de aditivos cuando el aceite contiene un aditivo antiespumante a base de metilsilicona o bien, puede ser un contaminante procedente de la tierra y el polvo

- Límites o valores Objetivos: aquellos que se establecen como un valor predeterminado que se está buscando, por ejemplo, niveles de limpieza: */13/10 para fluidos hidráulicos o contenido de agua máximo de 200 ppm para aceites de turbina, etc.
- Límites de Envejecimiento: grado máximo de acidez, de oxidación, de sulfatación, de nitración, de nivel de aditivos, etc.

Pero además de un análisis de las propiedades de los aceites, del conocimiento de sus valores de funcionamiento normal, critico y de precaución, es necesario usar ciertos principios de estadística. Esta herramienta matemática ayudará en el proceso de predicción de fallas. Las bases de estadística a considerar serán por lo tanto:

- Límites Estadísticos: límites basados en desviaciones de los promedios históricos bajo condiciones normalizadas. Se aplican para el desgaste metálico: se obtiene el valor promedio y la desviación estándar. Se establecen los límites de precaución como el valor promedio +1 desviación estándar y los críticos como el valor promedio +2 desviaciones estándar.
- Límites Estadísticos Derivados por Tasa de Cambio – Límites basados en desviaciones de los promedios históricos de valores de tasa de cambio
- Normalización: Cuando las muestras han sido analizadas en intervalos de tiempo distintos al objetivo, es conveniente hacer un ajuste con el objeto de evitar el llegar a conclusiones erróneas. Estadísticamente, si las muestras fueron tomadas dentro del rango de +/- 10 % del período establecido, puede no ser necesario hacer el ejercicio de normalización.

2.3.4.1.2. Etapas a seguir para el análisis de aceite mediante el empleo de la metodología SACODE

La metodología SACODE no solo que ayuda a determinar los parámetros que se deben considerar en el análisis, sino la secuencia de estudio de los mismos. Ahora bien, de la correcta separación de los parámetros en los cuadros de análisis tanto de contaminantes, partículas de elementos

desgastados, de variación de las propiedades y de su estado físico en general, se tendrá un análisis mucho más correcto y verás.

Es por ello que, los pasos a considerarse son:

- Recolección de la información previa de los equipos y mantenimientos: se deberá considerar toda la información referente al equipo que proporcione el reporte de análisis
- Tomar nota de todos los detalles referentes al muestreo: la mejor forma de considerar si la toma de la muestra fue la adecuada, deberá ser analizada en base a las siguientes preguntas tentativas:
    - ¿por dónde fue tomada la muestra?
    - ¿bajo qué condiciones?
    - ¿la máquina estaba en operación?
    - ¿se tomó recién después de parar el equipo?
    - ¿la máquina no había estado en uso durante mucho tiempo?
    - ¿cómo fue tomada? por puerto de drenado, por puerto o válvula de muestreo, con bomba de succión o en un codo en línea de retorno?
    - ¿la muestra fue tomada antes o después de filtros?
    - ¿se purgó la cantidad suficiente en caso de haber manguera microbore o conectores?
    - ¿en qué recipiente se tomó la muestra?

Sin embargo, deberá de tomarse en consideración toda la información disponible a objeto de incluirla en el momento de obtener conclusiones

- Observaciones generales de funcionamiento del equipo: tipo de maquinaria, en qué industria opera y sobre todo el ambiente de trabajo del equipo.
- Normalización: es necesario que toda la información de las muestras estén consideradas bajo un mismo parámetro de estudio, en este caso las horas de funcionamiento del equipo. Por ello es necesario normalizar las diferentes muestras de aceite que se tomen.
- Identificación de cada propiedad/característica de análisis - Identifique cada dato, con el Código SACODE (Salud — S, Contaminación — C y Desgaste — D). recordando que dentro de salud del aceite se deberá

considerar tanto las propiedades del aceite como las condiciones iniciales del mismo.

Las siguientes condiciones del proceso están consideradas para ser controladas a través del programa informático, porque se trata de la tabulación y manejo de datos:

- Condiciones iniciales del fabricante y muestras reportadas: estos valores son necesarios para considerar como se va dando no solo el aumento de partículas y contaminantes del ambiente, sino como se degradan las propiedades del lubricante en determinados lapsos de tiempo. Además, con los datos obtenidos de análisis previos se podrá realizar un estudio de las diferentes muestras a lo largo del tiempo (formulación de tendencias de desgaste, contaminación y/o degradación).
- Establecimiento de valores límites: esta condición es observada y analizada en los gráficos posteriores a la tabulación de las partículas de desgaste, aditivos del aceite y de las propiedades analizadas.
- Una vez que se tiene todos los datos tabulados, es necesario comenzar a analizar tanto los valores de PPM o variación de propiedad de cada condición determinada en el análisis de aceite. Aquí se habrá de determinar si las condiciones están dentro de los parámetros normales, o si los ha excedido. Todo ello, habrá de servir para concluir según el dato o parámetro considerado posibles causas de falla.
- Anotar las conclusiones parciales en cada dato y continúese en el orden establecido
- Al terminar, se habrán de reunir todas las anotaciones, se deberá analizar las tendencias de desgaste y variación de propiedades así como presencia de contaminantes ambientales. Según los criterios obtenidos se deberá emitir un informe de posibles fallas y se deberá comprobar además mantenimientos previos realizados para ver si hay falla en el mantenimiento o el elemento ha cumplido ya con su periodo de vida establecido por el fabricante.

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS.

3.1 Manejo de Información

Uno de los aspectos más importantes que se habrán de considerar cuando se trabaja en programas de mantenimiento es la existencia de registros y la organización que se tenga de los mismos. Basado en esta premisa se buscará una organización de los datos y a la vez un sistema que genere alertas en función de los datos.

Los datos que se empleen provendrán de análisis realizados por un laboratorio externo, cuyos resultados son aceptados pero cuyas conclusiones deben ser analizadas de una manera más extensa, ya que las conclusiones emitidas por el laboratorio son muy generales. Es aquí donde el análisis de los datos de las muestras entra en acción ya que de acuerdo a las cantidades presentes de partículas metálicas se determinará el o los elementos que pueden estar a punto de fallar.

Este fallo se habrá de determinar en función de dos aspectos como son el tiempo de vida de determinados elementos internos diseñados con el fin de fallar, y mediante el control de las partículas suspendidas en el aceite.

3.1.1. Evaluación del estado de los equipos y aceites.

El primer paso que se debe seguir en este proyecto de mantenimiento basado en análisis de aceites estará dado por las condiciones actuales de los equipos. Dentro de este estudio de las condiciones actuales de los equipos, será necesario registrar adecuadamente la información correspondiente a mantenimientos anteriores, teniendo especial énfasis en mantenimientos

correctivos, ya que, como se mencionó anteriormente existen elementos que tienen tiempos de vida determinados.

Una evaluación completa de los equipos incluiría el estado actual de las dimensiones de los elementos importantes como son el cigüeñal, los muñones del mismo, el árbol de levas y otros elementos que aunque sufren desgastes mínimos, siempre deben de considerarse debido a la importancia en el funcionamiento del equipo. Pero dado la dificultad de desmontaje de dichos elementos y el poco tiempo dispone para hacerlo, se deberá considerar los periodos dados por el fabricante para su mantenimiento, respetando los mismos.

3.1.2. Análisis de la gestión y planeación actual de los técnicos de mantenimiento.

Cuando se menciona la gestión y planeación actual que se maneja dentro del departamento de mantenimiento, se debe mencionar que dicho análisis parte de ciertos formularios que se manejan dentro de la empresa.

Dichos formularios sirven de referente para conocer no sólo los cambios, o mantenimientos periódicos a los cuales están sometidos los equipos, sino también sirven como informes de fallas en los equipos cuando están en funcionamiento.

Los siguientes son los formularios que se manejan, en ellos se aprecia la información que manejan, así como las señales de advertencia que deben ser informadas a los técnicos de mantenimiento.

ADJUNTAR IMÁGENES DE LOS FORMULARIOS DE MANTENIMIENTO

3.1.3. Tabulación de los datos obtenidos.

Previo a la tabulación de datos, es necesario realizar ciertas actividades, para garantizar no sólo la optimización de resultados sino una adecuada interpretación de resultados. Por ello se consideran fundamentales los siguientes pasos:

1. Realizar una unificación de los lubricantes.
2. Definir un procedimiento de toma de muestras adecuado.
3. Conocer los fundamentos del análisis de fallas, y las fallas más comunes en los diferentes elementos y sistemas del motor diesel.
4. Métodos aplicables y propiedades que intervienen en el análisis de las muestras, y almacenamiento de datos.
5. Análisis e interpretación de resultados con base en las muestras de aceite.

Los primeros cuatro pasos se abordarán en el presente capítulo, adicionalmente, en el cuarto capítulo se abordan las fallas más comunes, para con ello conocer las fuentes de los problemas y sus principales causas.

En el quinto capítulo, por otro lado, se abordará la interrelación entre los datos obtenidos y los problemas analizados en el cuarto capítulo, para realizar un análisis e interpretación de fallas, y con ello poder predecir futuros desperfectos del equipo, o de sus elementos.

3.1.3.1. Realizar una unificación de los lubricantes.

El proceso de consolidación de los lubricantes que se emplean es uno de los pasos principales, por ser el punto de partida para el análisis de la degradación del estado de los lubricantes cuando se encuentran los equipos en operación. Adicional a ser el inicio del programa de mantenimiento con base en los lubricantes, ayudará a un mejor manejo de los recursos de mantenimiento

(entiéndase manejo como compra, utilización y almacenaje de los lubricantes). Los pasos a seguir para una adecuada consolidación son:

1. Requerimientos básicos de los diferentes equipos a lubricar: este requerimiento es importante porque muchas veces los equipos presentan diferentes requerimientos de lubricación sean éstos por sus características constructivas o de operación. Los criterios base que deberán primar en la consideración del equipo serán la viscosidad que emplee, y siempre deberá estar dado con referencia al grado ISO; y las características anti desgaste señaladas por el fabricante. Es importante en este segmento no considerar el lubricante designado por el fabricante, para con ello no predeterminar el uso de uno u otro lubricante.[45]

   Dentro de este nuevo ordenamiento (no por nombre sino por especificaciones) deberá considerarse tanto a los equipos como a los lubricantes que se mantienen en la base. Con esta nueva consideración se busca posteriormente entrelazar tanto al lubricante como al equipo en función de sus especificaciones.[46]
2. Utilidad de los aditivos del lubricante: este segmento está direccionado a conocer bien tanto al lubricante que se está empleando en ese equipo como las condiciones extremas que debe resistir cuando el mismo está en funcionamiento.

Este análisis se lo realiza debido a que dentro del mercado aunque existen aceites con la misma calidad determinada por la norma API, en algunos casos los requerimientos de lubricación específicos pueden ser complementados por un aceite de mejor calidad. En esta etapa no se busca adicionar aditivos a las formulaciones recomendadas por los fabricantes tanto del equipo como del lubricante, por el contrario se busca respetar esa selección pero generar una lista de aceites comunes en función de los equipos y requerimientos existentes.

[45] Cuando se dispone de nombres de lubricantes en lugar de las especificaciones y requerimientos técnicos del equipo, se corre el riesgo de seleccionar un lubricante.

[46] Cuidar que los criterios que se manejen para una nueva selección de lubricante no causen problemas a la compañía (sea este problema una afectación directa a la garantía), por ello se recomienda contactar al fabricante o proveedor previo al empleo de un nuevo lubricante.

Por ello, una vez concluido este análisis del lubricante será necesario hacer un análisis de necesidades de lubricación del equipo versus las especificaciones de lubricación. Se debe además recordar que los aditivos son sustancias químicas que se añaden en pequeñas cantidades a los aceites lubricantes para proporcionarles o incrementarles propiedades, o para suprimir o reducir otras que le son perjudiciales.

En la siguiente tabla se ofrece un esquema de los datos que se tomarán de los lubricantes:

Especificación	**Descripción**
Aceite básico	Utiliza como referencia el origen del aceite, ya que existen aceites nafténicos, parafínicos, hidrotratados, semi-sintéticos, sintetizado o de varias formulaciones de sintéticos tradicionales. Se menciona la necesidad de conocer la base del aceite porque dependiendo del mismo se sabrá tanto los aditivos que habrán de ser añadidos y los tiempos de utilización del mismo, ya que un aceite mineral muchas veces requiere menos aditivos pero su tiempo de vida útil es menor al contrario de los aceites sintéticos que ofrecen tiempos de uso relativamente largos.
Viscosidad	Parámetro de selección basado en la temperatura del ambiente, juego entre las partes móviles del equipo, velocidad de trabajo y carga. Como se ha mencionado la viscosidad es uno de los dos parámetros fundamentales a considerar en la selección de un aceite lubricante.
Aditivos	El tipo y cantidad de aditivos que posea un aceite estarán basados en la calidad que deberá tener el aceite lubricante y que satisfagan los requerimientos del equipo así como el tipo de equipo que se emplee según el trabajo que el mismo deba realizar..[47] Algunos de estos requerimientos se encuentran tabulados en función del trabajo que deban desempeñar dentro del equipo:

[47] http://widman.biz/boletines_informativos/35.pdf

Empleado para	Propiedades del aditivo
transferencia de calor y limpieza (barniz y lodos)	Aceite básico con aditivos anti-oxidantes
limpieza (de barniz) por recirculación	Aceite básico con aditivos anti-oxidantes y detergentes

Algunos requerimientos de aditivos se encuentran tabulados en base al equipo que se posea:

Equipo de trabajo	Tipo y Propiedades del Aditivo
Compresores y turbinas (aceite R & O)	• Aceites libres de zinc • Emulsificar el agua • Resistencia a oxidación y herrumbre • Presiones máximas de trabajo de 100 PSI.
Hidráulicos (aceite AW)	• Aditivos para emulsificación • Resistencia a oxidación y herrumbre • Zinc y fósforo (de 300 a 600 PPM) para proteger las superficies • Adicionalmente se tendrán aditivos anti-espumantes.
Hidráulicos pesados móviles	• Emulsificantes para absorber la humedad en partículas microscópicas • detergentes para evitar el barniz • 900 PPM de zinc y fósforo para proteger las superficies de elevadas presiones (4000 a 6000 PSI)

	Motores de Combustión Interna[48]	Cuando se analiza a los aceites de motores es necesario recordar que hay dos grupos de aditivos que se han de agregar dependiendo de las funciones que deban realizar, siendo dichas funciones: 1. Retardantes de la degradación del lubricante: • Aditivos Detergentes-Dispersantes: para evitar que el mecanismo lubricado se contamine aun cuando el lubricante lo esté. Con ello se busca evitar las acumulaciones de los residuos durante el funcionamiento de la máquina o motor y mantenerlos suspendidos por toda la masa del aceite. • Aditivos Anticorrosivos y antioxidantes: los aditivos anticorrosivos se agregan para proteger contra la corrosión a los elementos o partes móviles y que están fabricados de materiales sensibles por una parte, mientras que los aditivos antioxidantes son adicionados para controlar las alteraciones internas que pueda sufrir el aceite como son envejecimiento y oxidación, que a la larga se deberá entender como degradación del lubricante. • Aditivos Antidesgaste: formulados para controlar el desgaste excesivo de los diferentes elementos móviles o estáticos del motor. Este aditivo es especialmente útil cuando se opera de manera parcial o enteramente bajo condiciones de lubricación límite. Agentes Alcalinos. Son aditivos encargados de neutralizar los ácidos provenientes de la oxidación del aceite, previniendo con ello la reacción de los ácidos con el resto del aceite o

[48] http://www.monografias.com/trabajos10/lubri/lubri.shtml

			la máquina. • Agentes Emulsificadores: reducen la tensión intersuperficial de manera que el aceite puede dispersarse en agua. En la mayor parte de las aplicaciones de lubricación la emulsificación es una característica indeseable. Sin embargo, existen aplicaciones en las cuales los aceites minerales están compuestos de materiales emulsificantes que los hacen miscibles en agua. 2.Mejoradores de las cualidades físicas del lubricante: • Aditivos Mejoradores del Índice de Viscosidad: están diseñados para evitar que cuando ocurran cambios de temperatura muy elevados, el índice de viscosidad del aceite cambie drásticamente. Es decir, ayudan a atenuar la reducción de la viscosidad cuando hay un aumento excesivo de la temperatura del lubricante. • Mejoradores del Punto de Fluidez y congelación: los mismos aditivos mejoradores o elevadores del índice de viscosidad se emplean para favorecer el punto de congelación y en consecuencia, el de fluidez. Se aplican principalmente a los aceites parafínicos, ya que la parafina por su elevado punto de congelación es la principal productora de la falta de fluidez de los aceites, formando aglomeraciones y solidificaciones al descender la temperatura. • Aditivos Antiespumantes: deben ser añadidos ya que el sistema siempre habrá de contener la presencia de sustancias ajenas en el aceite como los gases de escape, con temperaturas

		inferiores de los 100 C, las cuales producen lo que los aceites minerales puros de por sí no pueden controlar como es la formación de espumas debido al gran espesor que les da la película lubricante. Los aditivos antiespumantes tienen la misión de evitar estas burbujas y en la mayor parte de los casos actúan adelgazando la envoltura de la burbuja del aire, hasta su rotura modificando tensiones superficiales e interfaciales de la masa de aceite. • Aditivos Mejoradores de la Oleosidad: primeramente es necesario mencionar que la oleosidad es la capacidad de adherencia del aceite a las superficies metálicas que lubrica. Ahora bien, es necesario mejorar ésta capacidad de adherencia para garantizar que se fijen fuertemente a las superficies lubricadas. • Aditivos de Extrema Presión: útil en equipos que trabajan sometidos a muy altas presiones, se emplean los aditivos EP (Extrema Presión), que disminuyen el desgaste de las superficies metálicas de deslizamiento, favoreciendo la adherencia del lubricante. Estos aditivos, reaccionan químicamente y forman capas mono y polomoleculares que se reconstruyen constantemente en los sitios de altas presiones por efectos de la fricción. De esta manera impiden el contacto metal-metal, evitando los rompimientos o soldaduras de los mismos. Estos aditivos no siempre están exentos de producir ligeras corrosiones, debido a la acción química que ejercen.

Tabla 3.1.3.1.1.- Consideraciones para la unificación de los lubricantes existentes en la empresa.

3.1.3.2. Toma de la muestra adecuada.[49]

La obtención de una muestra de lubricante es de vital importancia, ya que de acuerdo a los cuidados que se tomen en la obtención de la misma, se garantiza la exactitud del análisis, y por ende una adecuada determinación del estado del motor.

Entre las empresas encargadas de la distribución y comercialización de lubricantes se ha considerado tres métodos que pueden ser empleados para la obtención de las muestras. Algunos son de fácil implementación y por ende, de costos reducidos, pero requieren de mayores cuidados; mientras otros requieren de un análisis de su ubicación para su adecuada implementación. Cabe mencionar que para la toma de la muestra se debe seguir un procedimiento, ya que la muestra no debe ser tomada de manera indiferente sino por el contrario, debe cumplir ciertas condiciones para que la calidad de la misma no se vea afectada. Los pasos previos a la toma de la muestra son:

1. La temperatura del motor debe ser la temperatura de operación. El requerimiento de esta temperatura no implica necesariamente que el motor estará en funcionamiento, es sólo una condición previa para garantizar que tanto las partículas suspendidas no se sedimenten sobre elementos internos y con ello no se pueda registrar bien las partículas suspendidas del sistema.
2. La muestra no debe ser tomada directamente de la base del cárter, ya que muchas veces allí hay depósito de metales de desgaste, lodos y hasta la presencia de barniz, peor aún cuando se ha agregado una cantidad considerable de lubricante para llenar el nivel de lubricante. La muestra solamente debe ser tomada del aceite que ha lubricado el sistema por periodos de tiempo considerables.
3. Solamente cuando se desee información muy específica de la cantidad de material desgastado dentro del equipo se recomienda que la muestra

[49] http://www.lubrisa.com/muestras.aspx
http://lubricaciondemaquinaria.over-blog.es/article-toma-de-muestra-de-aceite-usado-guia-rapida-37938763.html

sea tomada del cárter o del espejo de aceite (superficie); caso contrario deberá la muestra obtenerse del centro del depósito de lubricante existente en el cárter.

4. Las muestras que se tomen deberán ser almacenadas en recipientes adecuados para tal fin. Por ello, el laboratorio que se encargue de dichas muestras habrá de proveer de recipientes limpios y secos, los mismos que deberán ser almacenados en lugares secos y limpios.
5. Cada vez que se obtenga una muestra de aceite, la misma deberá ser obtenida usando implementos de ser posibles nuevos, sino al menos que previamente hayan sido limpiados adecuadamente, evitando así que sustancias contaminantes de anteriores muestras puedan mezclarse y dar una información errónea del estado del aceite actual.
6. Las muestras no deberán ser tomadas de una corriente de drenaje de aceite, y peor aún deberá proceder de un filtro, ya que ambas fuentes para la toma de muestras habrán de presentar un estado erróneo, incluso extremo de los materiales de desgaste o presencia de otras sustancias. Por ello, es recomendable la toma de la muestra de la parte media de la reserva de aceite existente en el cárter, como se había mencionado anteriormente en el punto 3.

Una vez que se tienen claras las recomendaciones previas a considerar para la toma de la muestra de aceite, se mencionan los tres métodos usuales para la obtención de la muestra:

1. Toma de muestra con pistola de vacío: es quizá el método más fácil de ser ejecutado ya que, consiste en emplear una pistola o bomba de vacío, la cual en su base tendrá una boquilla para acoplar el recipiente plástico y en el otro extremo estará el ducto de succión que habrá de ser introducido por el orificio de la bayoneta del aceite. La extracción de la muestra de aceite lubricante se hace directamente desde el depósito de aceite en el cárter hacia el recipiente, eso sí cuidando que la bomba este recta en todo momento para evitar succión de aire con lubricante.

2. Válvula de muestra o Método de la llave de purga: este es quizá el método más efectivo de los que se han diseñado, y está pensado en la facilidad de extracción de la muestra; y sobre todo de acuerdo a la ubicación de la misma se garantizará la calidad de la muestra, ya que dicha llave de purga se colocará en el ducto posterior al motor y antes de que pase por el filtro.
3. Drenaje del cárter: este es uno de los métodos más empleados, ya que las muestra son recolectadas cuando se realiza un cambio de aceite. Sin embargo este método requiere que la muestra sea obtenida luego de dejar que una cantidad aproximada a un litro de aceite fluya previo a la toma de la muestra. Un inconveniente radica en que siempre es necesaria la limpieza del área contigua al tapón del cárter, para evitar que suciedad del ambiente se mezcle con el aceite.

Ahora bien, esta técnica de análisis de aceites aunque no es nueva, en la actualidad se ha tecnificado gracias al avance de la tecnología. Adicional a estos avances, se ha logrado mejorar la toma de muestras de aceite, estableciendo procedimientos para dicha toma, asegurando con ello la calidad de la muestra. Un punto de consenso dentro de los diferentes procedimientos analizados está en tomar la muestra del aceite una vez que se ha determinado el cambio del mismo por mantenimiento preventivo.
Cuando se proceda a la toma de la muestra hay que cuidar ciertas condiciones de limpieza y/o aislamiento, a fin de garantizar que la muestra arroje resultados sólo de los contaminantes existentes en el aceite, y no de contaminantes extras del ambiente o entorno de trabajo.

Se debe dejar de lado la toma de la muestra una vez que el aceite es evacuado del cárter por el conducto de drenaje, ya que allí no se garantiza que haya ausencia de contaminación del ambiente ya que se recomendaba tomar la muestra a una distancia aproximada de 15 cm alejada del borde de salida del aceite.

Sin embargo, para futuras muestras se ha determinado que la mejor forma de obtenerla es la utilización de la bomba de vacío, siempre con una manguera nueva. Y a largo plazo se buscará adicionar en uno de los conductos de lubricación o a su vez en la base del cárter una válvula. Con ello se busca extraer las muestras de una manera más fácil y siempre cuidando que el equipo se encuentre en funcionamiento, para garantizar la calidad de la muestra.

En un inicio la muestra se comenzó a tomar con cada cambio de aceite realizado en cada mantenimiento preventivo al que era sometido el equipo. Ahora se buscará que las muestras sean tomadas en intervalos de tiempo iguales, y de preferencia mientras el equipo se encuentre en funcionamiento. Con ello se busca garantizar tanto la calidad de la muestra (ya que dependiendo de los tiempos de funcionamiento la cantidad de partículas metálicas mostrará la verdadera velocidad de desgaste del equipo) y que los resultados obtenidos sean lo más cercanos a la realidad del equipo en funcionamiento.

3.1.3.3. Fundamentos del Análisis de Fallas en Equipos Diesel

Cuando se analiza equipos que se encuentran sometidos a rozamiento interno de los diferentes elementos que lo componen, se presentan en los elementos sometidos a movimiento los siguientes problemas de fallas. Cabe mencionar que dichas fallas pueden ser apreciables e incluso medibles (con una gran aproximación a la realidad que afecta al elemento) en una muestra de aceite utilizado.

Por ello, cuando se hable de fallas en el equipo hay que saber en cuál de las siguientes categorías podría estar la o las causas para la falla:

- Suciedad o abrasión
- Falta de lubricación
- Falla por impacto

- Fatiga del metal
- Corrosión
- Erosión

Para comprender de mejor manera las consecuencias apreciables en el aceite cuando un elemento falla, se procederá a explicar cada una de las posibles causas de fallas:

- Suciedad y abrasión: estos dos términos se explican de manera conjunta porque la suciedad proveniente del ambiente presenta partículas metálicas contaminantes como son el silicio, aluminio y en menor grado hierro. Dichas partículas por su naturaleza causan abrasión en los elementos internos del motor. Las formas más comunes de ingreso de dichos elementos es por una deficiente filtración del sistema de admisión de aire, así también por los escasos cuidados que se toman al momento de realizar cambios de aceite.

- Falta de lubricación: es quizá uno de los menos comunes, pero cuando ocurre suele presentarse con gran incidencia en el equipo, debido a que los equipos requieren de una lubricación continua para seguir funcionando. La falta de lubricante en elementos con altas tasas de movimiento puede causar que en segundos los elementos se deformen o incluso se vean seriamente afectados por quemaduras.
  Se recomienda por lo tanto que el aspecto de la lubricación sea controlado periódicamente, sobre todo cuidando que:
  - No exista un nivel bajo de lubricante
  - La línea de suministro de lubricante no se encuentre obstruida.
  - No existan fugas de aceite (sobre todo de elementos como el cárter).
  - Los filtros hayan sido cambiados de manera adecuada, y en los intervalos de tiempo especificados tanto por el fabricante (del equipo y de los filtros) como por el departamento de mantenimiento.

- Falla por impacto: esta falla es consecuencia de aplicar una fuerza o carga de manera rápida y muchas veces brusca, ya que la intensidad de dicha carga superará la resistencia propia de la pieza, y será causa de una falla instantánea. Dicha falla puede estar presentada por una fractura completa de la pieza, ya que aunque muchas veces el resultado de la aplicación brusca de la carga es una fisura, esta es sólo el principio básico de una fractura. Este tipo de falla puede ser producida por:
    - Abuso por parte del personal de operaciones.
    - Apriete excesivo de los elementos cuando se ha realizado un mantenimiento sobre el equipo.
    - Maltrato de las partes.

- Fatiga del metal: este incidente o falla en el equipo puede ser la consecuencia clara de esfuerzos y deformaciones repetidas y continuas que aparecen sobre el o los elementos/piezas en movimiento.

  Elementos como el cigüeñal, eje de levas, balancines, eje muerto, resortes, brazos de dirección y raíces de dientes de engrane son los elementos más susceptibles de fallar por fatiga del metal porque el esfuerzo que deben soportar estará aplicado a través del eje de la pieza. Cabe mencionar que los elementos de máquinas están diseñados para funcionar con vida infinita, es decir, si antes de los 10^6 ciclos no han fallado, una vez que exista dicho falla será por consecuencia directa de algún concentrador de esfuerzos, mas no por fatiga del material. Aquí se presenta por lo tanto a la fatiga del material como la consecuencia.

  Es necesario así mismo mencionar que los materiales pueden presentar diferentes fallas tanto a nivel superficial como en la constitución y conformado del material. Sin embargo, dentro del análisis que se pretende seguir en este estudio se deberá cuidar que el desgaste propio del material no llegue a ser excesivo y perjudicial al punto de ser una causa directa para la formación de concentradores de esfuerzos, hecho que desencadenará en una falla por fatiga.

- Corrosión: esta falla aparece como deterioro del material debido a una reacción en su ambiente, y está caracterizado por un ataque químico a la aleación superficial de protección de ciertos elementos.

  Los aditivos del aceite se degradan luego de ciertos intervalos de operación, y producto de esta degradación pueden aparecer en el aceite compuestos corrosivos, de allí que sea importante el cumplimiento del cambio de lubricante en los tiempos indicados por el fabricante o antes. Los compuestos corrosivos que se forman al interior del aceite son consecuencia no sólo de la degradación del aceite, sino de su combinación con sustancias de otras partes del equipo como:

  - Refrigerante del sistema de enfriamiento que se ha filtrado al aceite.
  - Paso excesivo de gases de escape de la cámara de combustión hacia el cárter, consecuencia de anillos desgastados.
  - El combustible, debido a que mientras mayor sea la concentración de azufre en el mismo, más facilidad tendrá de producir degradación.

- Erosión: esta falla es consecuencia directa de la acción del aceite o el agua, ya que ambas sustancias al ser forzadas a fluir a elevadas presiones y altas velocidades a través o sobre una superficie metálica puede causar cavitación en la misma. Este problema se evidencia con gran facilidad de identificación en partes expuestas al flujo del agua como ocurre generalmente en el lado húmedo de las camisas del motor.

3.1.3.4. Métodos aplicables y propiedades analizadas en las muestras de aceite.

Las muestras que se han obtenido deben ser analizadas en laboratorios especializados en análisis y detección de partículas y sustancias suspendidas en sustancias lubricantes. Sin embargo, dado el tiempo que se necesita para obtener dichos resultados se ha decidido instruir al personal de mantenimiento en técnicas simples y de fácil implementación para analizar el aceite en sitio.

Este análisis que se propone no implica la eliminación de los análisis del laboratorio, sino más bien se busca prevenir aún más las posibles fallas que se presenten en el equipo.
Dado que muchas veces pueden existir problemas a nivel interno del motor, se busca con este proyecto corregirlos mientras no son tan marcados, evitando con ello paros innecesarios en el equipo. Pero se debe recordar que los problemas detectados de manera empírica son sólo las causas de problemas comunes; sin embargo, ello no ayuda a detectar las tasas de desgaste interno.

Es por ello que las muestras serán analizadas bajo dos ópticas muy diferentes pero que en si son complementarias. Por ello, el primer análisis que se realizará es conocido como una *EVALUACIÓN SENSIBLE DEL ACEITE*, evaluación que considerará tanto la apariencia visual, variaciones significativas de viscosidad, la presencia aparente de agua en el aceite y la alcalinidad aproximada del aceite. Estos parámetros se los considera como pruebas sencillas y útiles porque ayudan a saber de problemas serios en el aceite, sin que ellos sean causa directa o indirecta del desgaste. El segundo análisis al que se somete a una muestra de aceite radica en un *ANÁLISIS DE LABORATORIO,* con el cual se busca conocer los valores exactos de ciertos parámetros fundamentales como son la cantidad exacta de agua, la presencia o no de combustible, la viscosidad y sobre todo determinar la presencia de partículas metálicas producto del desgaste.

Se debe recordar siempre que los datos que se obtengan, sobre todo de las pruebas del laboratorio, ayudarán a tener una idea del funcionamiento de la máquina y del desempeño del aceite. Esta idea cercana del funcionamiento del equipo se logra ya que las pruebas son normalizadas y generalmente se basan en aspectos del funcionamiento del equipo, en otras palabras se busca que los procesos empleados sean lo más similares a las condiciones de operación del equipo.

3.1.3.4.1. Evaluación Sensible del Aceite.

Esta evaluación como se mencionó estará basada en observaciones o prácticas simples aplicables a la muestra. Es por ello que se debe conocer bien los parámetros a analizar, y sobre todo poseer una buena capacidad de observación. Los parámetros a considerarse para el análisis serán:

- Apariencia visual
- Viscosidad
- Agua por crepitación
- TBN

A continuación se detallarán las condiciones básicas que se habrán de observar para predecir de manera sencillas problemas de funcionamiento.

- Apariencia visual

Este parámetro no muy certero en cuanto a predicciones se trata de ayudar a saber de manera sencilla si hay elementos afectando al aceite, los mismos que pueden provenir de otros sistemas o elementos del motor.

Sin embargo, cabe recordar que por el mismo uso el aceite adquirirá un color oscuro negro opaco. Cualquier otra característica visual del aceite que no corresponda con el parámetro mencionado anteriormente se deberá a elementos externos tanto al sistema como al proceso natural que sigue el aceite en el sistema de lubricación.

El proceso natural del aceite se entiende como adición de partículas metálicas producto del desgaste normal de los elementos, mientras que si se observan alguna de las siguientes características, será necesario realizar un estudio de las causas de los mismos. Los principales problemas detectados se enlistarán a continuación:

- *Aparición de lodos*: estas formaciones son típicas en aceites que registran altas tasas de hollín, y en algunos casos de agua y polvo también, en suspensión.
- *La coloración de la muestra será de un color café:* esta degradación del color negro en café es muestra indudable de la presencia de agua. La proveniencia de la misma deberá ser analizada, ya que puede ser debido a problemas de sellos, por fugas del sistema de refrigeración hacia el sistema de lubricación o por problemas en los cabezotes (empaques).

  La muestra mientras más lechosa sea, determinará una mayor concentración de agua.
- *La coloración de la muestra es negra oscura brillante*: esta coloración determina problemas de operación en el equipo, ya sea como consecuencia de un calentamiento excesivo o por problemas de eliminación de calor (fallas en el sistema de refrigeración).
- *Mayor oxidación del aceite, produciendo partículas brillantes*: este problema aunque no siempre es fácil de ser apreciado o al menos detectado, se caracteriza por la aparición de unas lacas o residuos sólidos.
- *Percepción de combustible en el aceite*: este problema es apreciable por el personal de mantenimiento solamente cuando las concentraciones de combustible son elevadas, y dicha apreciación será producto del olor emanado por el mismo.

- Viscosidad

Tal vez sea el parámetro más importante para saber si el equipo puede o no seguir en funcionamiento. Esta característica de decidir el funcionamiento o parada del equipo radica en la necesidad continua de lubricación que tienen los equipos.

La forma más simple de analizar este parámetro es mediante una regla graduada en la cual se dispone de dos canales sobre los cuales se deja fluir igual cantidad de aceite. Un canal será designado para una muestra de

aceite nuevo, mientras la otra será para una muestra de aceite usado. Dicha regla se encuentra graduada para determinar los puntos mínimo y máximo de uso, pero siempre en función de la muestra de aceite nuevo.

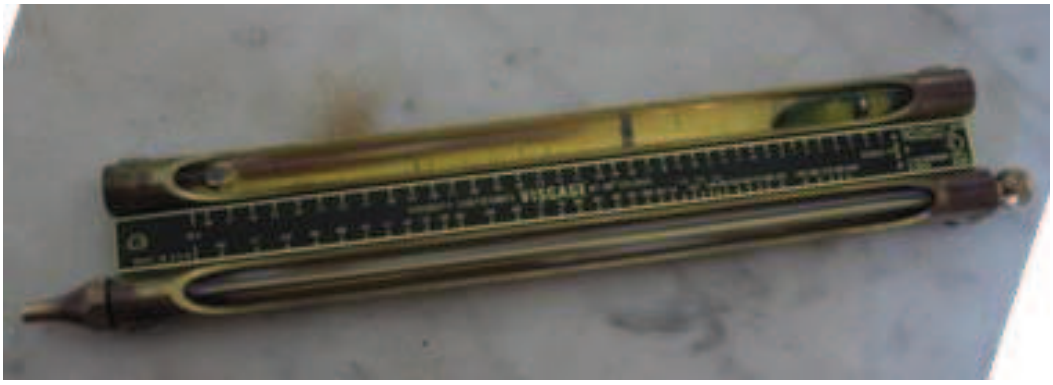


Figura 3.1.3.4.1.1.- comparador de viscosidad para comparación de la viscosidad entre una muestra de aceite nuevo y la muestra de aceite usado.[50]

Hay que recordar que esta prueba no es determinante, pero si es valiosa para un análisis previo, porque la misma no ha sido realizada según las normas a 100°C.

Claro que antes de continuar, es conveniente explicar cómo se realiza esta prueba en campo. El principio de funcionamiento del comparador de viscosidad está en determinar cuánto ha cambiado la viscosidad de una muestra de aceite usado comparándola con una muestra de aceite nuevo. La forma de usar dicho comparador está en que a los dos canales se les adicionará una pequeña cantidad de aceite y luego dicho comparador será inclinado lo suficiente para hacer que las muestras de aceite se deslicen. Se deberá colocar horizontal nuevamente al comparador cuando la muestra de aceite nuevo haya recorrido ¾ del trayecto. Así pues, se podrá inmediatamente observar si el aceite usado muestra una mayor o menor fluidez con respecto al aceite nuevo, y de acuerdo a la graduación en la regleta central del comparador determinar cuánto ha variado la viscosidad.

[50] http://www.llabarca.cl/10artefactos/visgage/visgage_05.JPG

Aunque este análisis sea básico para el funcionamiento, no determina por si solo un problema interno, pero si ayuda a evitar fallas por lubricación. Esta capacidad de evitar fallas de lubricación viene dada porque señala el tiempo de vida útil del lubricante, y como se sabe mientras exista un cambio continuo y programado del lubricante, se eliminarán sustancias abrasivas y dañinas del motor.

- Agua por crepitación

Se conoce a este análisis con el nombre de agua por crepitación porque se busca determinar la presencia de agua por aumento en la temperatura de la muestra, y la posterior evaporación de la misma, la cual en su liberación al exterior producirá un sonido similar al echar sal al fuego.
Ahora bien, como elevar la temperatura puede resultar peligroso, se ha determinado que mediante la adición de una sustancia catalizadora como el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) se puede medir esta evaporación del agua. Sin embargo, para poder observar dicha evaporación se requiere de un recipiente sellado, en el cual se pueda medir la presión antes y después de la liberación del agua. Mientras mayor sea la liberación de agua en forma de vapor, mayor será el aumento de la presión dentro del envase.

- TBN

Es simplemente controlar la reserva alcalina que poseen las sustancias lubricantes, la misma que ayuda a evitar que los ácidos producidos en el aceite por su oxidación puedan atacar sea al mismo aceite o a los elementos lubricados. Muchas veces es necesario conocer este valor de alcalinidad para determinar la oxidación del aceite, indicador directo de la degradación del aceite.

3.1.3.4.2. Análisis de Laboratorio.

Cuando se habla del análisis de laboratorio, se analizarán los mismos parámetros anteriormente mencionados, pero con base en normas. Lo que se busca con este análisis es conocer el verdadero estado tanto de la muestra de aceite (útil para determinar la eficiencia del aceite empleado) así como la presencia de elementos metálicos (producto del desgaste). Con base en estas pruebas se determinará si existen problemas a nivel interno del motor, ya que los mismos son más fácilmente detectables por medio de estas pruebas.

Adicional a la detección de los problemas está la determinación de cuanto y/o como afectan sobre el sistema de lubricación los problemas; y en si se sabrá también si el equipo se encuentra en estado normal o crítico para seguir funcionando.
Las pruebas normalizadas que determinan el estado del equipo son:

- Viscosidad a 40°C y 100°C.
- Insolubles en membrana de 0,3 µm en hexano.
- TBN
- Presencia de agua y combustible.
- Oxidación.
- Metales de desgaste.

A continuación se realizará una breve explicación de los parámetros mencionados anteriormente, para definir los valores o límites que se deben cumplir en cada uno y con ello asegurar el funcionamiento correcto del motor.

- Viscosidad a 40°C y 100°C.

  La evaluación del aceite a 100°C está directamente relacionada con la temperatura de funcionamiento del equipo. Adicional, el análisis se lo realiza a esta temperatura porque la base de la evaluación está en la graduación SAE de los aceites. Sin embargo, los datos que se obtengan en cuanto al

valor de la viscosidad no deben ser interpretados de manera singular, sino más bien deberán complementar y ser complementados por los demás análisis de la muestra.

Esta aclaración de la complementación está basada en la necesidad de entender el estado físico de la muestra, ya que se han observado casos en que la viscosidad de una muestra de aceite nuevo es similar a la de una muestra de aceite usado, ello debido a las partículas en suspensión (como por ejemplo el hollín) que son las encargadas de ayudar a compensar las pérdidas propias de viscosidad producto del uso.

Mientras que, la evaluación de la muestra bajo la consideración de una temperatura de 40°C está más bien relacionada con la detección de combustible disuelto en el aceite.

- Insolubles en membrana de 0,3 µm en hexano.

Esta prueba es realizada con una parte de la muestra y se busca cuantificar la presencia de elementos duros y que no se han disuelto en el hexano. Dichos productos duros son problemas de la combustión, siendo los más representativos el hollín y los lodos. Esta prueba generalmente ayuda a filtrar los elementos orgánicos del aceite, y dejando solamente partículas metálicas en suspensión, así como restos de la oxidación y carbón residual.

El parámetro que se maneja en esta prueba estará determinado en % presente de insolubles en peso.

Los insolubles son generalmente apreciables en la base del cárter de un motor. Por sus condiciones de insolubles, los mismos tienden a sedimentarse en el cárter, de allí que la muestra tomada directamente del cárter no sea la más recomendada. Estos insolubles son producto de la oxidación del aceite en la mayoría de casos, pero a veces no sólo son el resultado de la oxidación, sino de una combinación de este proceso con

elementos externos como el polvo y agua del ambiente, óxidos metálicos y metales atacados por la corrosión.

Esta prueba está enfocada en los elementos de desgaste de gran tamaño. Se busca con la misma saber cuan grandes pueden ser dichos elementos, para a través del aceite prevenir la formación, o mejor dicho hacer que sus dimensiones no sean tan grandes.

- TBN

Esta prueba se la conoce como “la resistencia a la alcalinidad” que presenta un lubricante, y la misma se determina en laboratorio a partir de la neutralización de la base alcalina, para determinar la cantidad de mg de KOH que la muestra requiere para devolver la alcalinidad original a la muestra. En sí, lo que se busca con la muestra es poder determinar si la muestra presenta características de desempeño para seguir o no trabajando.

Adicionalmente, con la pérdida de alcalinidad se van presentando productos ácidos resultado de la combustión, los mismos que en presencia de la reserva alcalina no serían detectables. Por ello, para que estos productos ácidos no aparezcan es necesario, mientras el equipo lo permita, adicionar aceite nuevo al usado.

Sin embargo, el caso más común de pérdida de la reserva alcalina se da cuando hay filtración de sustancias desde la cámara de combustión. Los problemas de filtraciones son a nivel de combustible debido a una combustión pobre; y por presencia de gases de escape que han atravesado por desgaste en los costados del pistón, los cuales habrán de formar una atmósfera con alta concentración de gases de combustión con naturaleza ácida sobre el cárter del motor.

- Presencia de agua y combustible.

Una de las pruebas que más influencia tiene en el comportamiento interno del motor está dada por la comprobación de sustancias líquidas en suspensión en el aceite.
Quizá de todas las sustancias que pueden estar en suspensión, la más nociva sea el agua. Dicha sustancia requiere de bajas concentraciones en el aceite para causar daños en los elementos mecánicos. Este tipo de contaminación aparece como resultado de fugas en sistema de enfriamiento, falla en sellos o empaquetaduras, sobre todo entre cabezote y bloque. Una forma de saber si el agua proviene del sistema de enfriamiento es mediante la búsqueda de residuos de anticongelante o inhibidores de corrosión.

El mayor problema de concentraciones de agua en el cárter se da cuando esta sustancia se encuentra en forma de emulsión, ya que los daños podrían ser serios, reduciendo la vida útil de la máquina y el daño de elementos mecánicos, al reducirse drásticamente no sólo las propiedades sino el tiempo de vida útil del aceite.

Otra de las sustancias nocivas para el motor es el combustible, porque disuelve a la película lubricante de los elementos, quitando así la protección del lubricante a elementos en movimiento. Se la determina de la misma manera que el agua, por acción de una luz infrarroja. Sin embargo, de los resultados que se obtienen de la muestra, aquí se buscan aquellos compuestos altamente volátiles, y que son extraños a los aditivos y componentes esenciales del lubricante.

- Oxidación.

Se determina la presencia de oxidación en el aceite por la cantidad de luz infrarroja que es capaz de absorber la muestra. Esta oxidación del aceite es consecuencia del oxígeno que reacciona con el aceite debido a elevadas

temperaturas del entorno, haciendo que la absorción de oxígeno por parte del aceite sea mayor a la normal. Esta presencia de compuestos oxidados, hacen que la acidez del aceite aumente, contribuyendo a una mayor tasa de desgaste de elementos que poseen cobre, estaño y plomo principalmente. Pero el mismo hecho de que existan partículas suspendidas en el aceite es ya, una fuente de oxidación del aceite, porque dichos residuos sólidos se convierten en catalizadores.

- Metales de desgaste.

El concepto más importante que se debe manejar cuando se habla de metales de desgaste está en que, estos representan el funcionamiento y operación del motor. Por ello, no es necesario sólo conocer las tablas de funcionamiento y desgaste o partículas permitidas por el lubricante, sino conocer el funcionamiento del motor, para saber exactamente el elemento o elementos de los cuales pueden provenir las partículas metálicas.

De un adecuado manejo de las cantidades de partículas suspendidas en el aceite, se puede generar líneas de tendencia, en los cuales se puede observar y predecir, incluso antes de superar el límite de desgaste normal del elemento, cual es el elemento que presenta un desgaste acelerado.

Para hablar de una correcta interpretación, es necesario muchas veces realizar una muestra inicial del aceite, para tomar este resultado como base o partida para ver la tendencia de desgaste de los elementos del motor.

Un aspecto importante que se debe considerar cuando se analiza el aceite, no es solamente las concentraciones de partículas, sino el consumo de aceite, ya que a mayor consumo de aceite menores serán las concentraciones de partículas metálicas que serán determinadas por el análisis, alterando notablemente los resultados.

Eso sí, para poder hablar de consumo excesivo de aceite, el mismo deberá ser consumido con una tasa mayor a los 2 litros de aceite lubricantes por cada 1000 km de operación. Este valor es referido por Juan Antonio Ciancio, ingeniero de lubricación y funcionario de EXXON MOBIL, una empresa dedicada al estudio y aprovisionamiento de aceites lubricantes a nivel mundial.[51]

3.2 Creación de la base de datos.

En esta etapa del proyecto se ha diseñado un programa de ordenador para el manejo y ordenamiento de la información que se genere. De la información que se disponga se podrán obtener curvas que muestren las variaciones en las PPM (partes por millón) que un metal puede presentar en el aceite, así como tablas con elementos cambiados, tiempo de vida útil de los mismos, y frecuencias de cambios tanto de elementos de desgaste rápido como de los lubricantes.

Figura 3.2.1. Introducción al programa que se manejará par el ordenamiento, gráficos y tabulación de datos.

[51] http://taho.servidoraweb.net/~exfakoc/consejos_tecnicos/Consejo-066-Alto-consumo-de-aceite-en-el-motor.pdf

3.2.1. ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

De la forma como se maneje esta base de datos dependerá la eficacia o no del programa de mantenimiento que se está desarrollando. Este programa busca ayudar en la predicción de fallas sea en elementos o en el equipo mediante las tasas de desgaste interno del motor. Además, se debe cuidar de la calidad de lubricación del motor, ya que la misma también se ve alterada por la presencia de partículas metálicas y/o por deficiente desempeño de los aditivos del aceite lubricante; y por lo mismo pueden desembocar en un mal funcionamiento del motor.

Con las consideraciones anteriormente mencionadas, se ha propuesto la realización de la siguiente estructura para el programa de manejo de la información de mantenimiento:

1. Administración de Datos de la Base.
2. Administración del Sistema
3. Consulta de datos para Mantenimiento

Figura 3.2.1.1. Vista principal de las diferentes opciones de manejo y manipulación de datos

3.2.1.1. Administración de Datos de la Base.

En esta primera sección de la base de datos se busca ingresar todos los datos más relevantes de los equipos que están bajo la administración del

Departamento de Mantenimiento. Por ello se busca diseñar un sistema central de control de los equipos, de las partes que se compran para mantenimiento, así como de los aceites.

Este fin se lo logrará al crear una base completa de los equipos y elementos del departamento, para que, con un adecuado manejo de los recursos se pueda determinar los problemas más generales, así como los específicos; relacionar elementos con los equipos, y determinar los periodos de actividad y paro de los equipos, para posteriormente compararlos con los periodos de funcionamiento determinados por los fabricantes tanto de los equipos como de los lubricantes.

Figura 3.2.1.1.1. Ventana del programa con las opciones disponibles para almacenamiento de datos.

3.2.1.1.1. Registro de equipos nuevos.

Cuando se trabaja con la sección de Registro de Equipos Nuevos, la información que se maneja estará relacionada con las características fijas de los equipos. Entiéndase con ello, información que será almacenada una sola ocasión para un determinado equipo. Esta información es el punto de partida para conocer tanto el tiempo que se posee el equipo, su funcionamiento básico

así como las características de fábrica (tanto para lubricación como para cambios de partes/elementos).

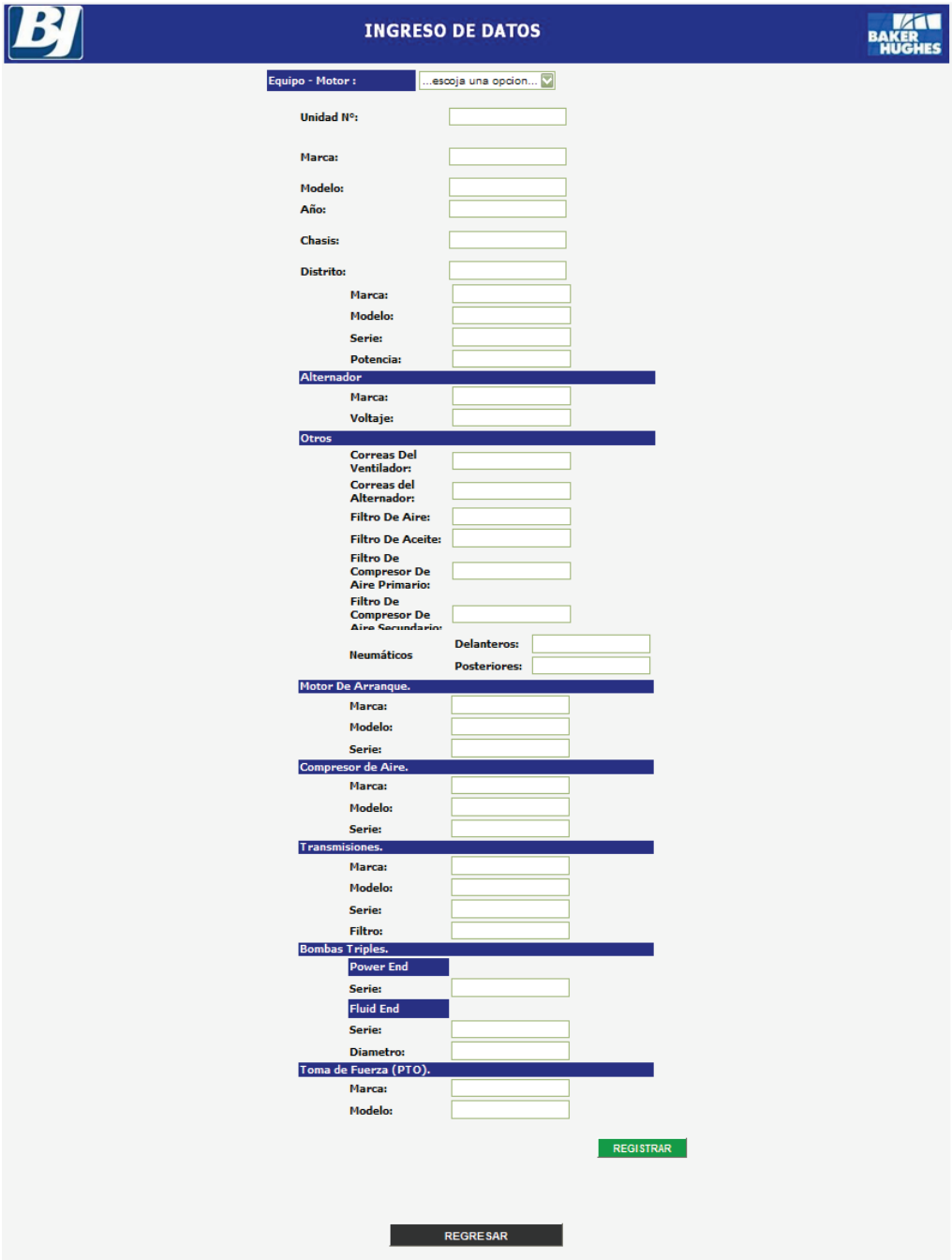


Figura 3.2.1.1.1.1. Características básicas de los equipos

3.2.1.1.2. Registro de aceites nuevos.

El programa de mantenimiento que se está diseñando considera no sólo la unificación de lubricantes, sino un seguimiento de los mismos desde el

momento de su adquisición. Una aclaración importante es no cambiar de marca de lubricante, ya que a pesar de que los fabricantes cumplen con la calidad determinada por la norma API, cada fabricante de aceites lubricantes adiciona o aumenta la concentración de determinados aditivos para brindar un mejor servicio en funcionamiento. Además se corre el riesgo de que los aditivos extras de un aceite nuevo no sean compatibles con el lubricante antiguo, y peor aun que cause fallas en el material de los elementos a lubricar.

En cuanto al manejo de la información sobre aceites lubricantes en esta base de datos, este análisis al momento de la adquisición tiene como objetivo saber las condiciones iniciales de los diversos lubricantes. Es por ello que, se ha decidido tomar valores de partida de los lubricantes cuando se adquiera un nuevo lote.

La información que se obtenga de este análisis previo será de igual forma tabulada en la tabla de la siguiente Figura:

Figura 3.2.1.1.2.1. Tabla de datos de partida para un nuevo lote de lubricantes

3.2.1.1.3. Requisición de piezas/materiales.

Como se ha mencionado, el análisis de las fallas no sería completo sin un adecuado registro de los cambios de piezas y/o elementos del motor. Este paso es considerado como requerimiento previo para el manejo y interrelación de los datos.

Figura 3.2.1.1.3.1. Ventana para el registro de partes/elementos para los equipos

3.2.1.1.4. Enlazamiento parte-equipo.

Dentro de todo el análisis de los equipos, es necesario saber en cual equipo se ha realizado o realizará el cambio; ya que dicho cambio posteriormente será procesado cuando se analicen los cambios realizados a los equipos tanto a nivel de lubricantes como de piezas. Ello ayudará a analizar tiempos de funcionamiento de los elementos posteriormente.

Figura 3.2.1.1.4.1. Ventana para relacionar partes cambiadas con equipos.

3.2.1.2. Administración del Sistema.

Dentro de la Administración del Sistema existe la opción de ingresar datos variables, definición empleada porque son datos que se obtienen a un determinado tiempo y para una condición determinada de funcionamiento del equipo.

La sección de Gestión de Información del Equipo tiene como finalidad brindar el entorno necesario para el ingreso de los datos variables. Estos datos, que se asociarán a un determinado equipo, serán la base del estudio del comportamiento de un equipo.

Figura 3.2.1.2.1. Apariencia de la ventana para la gestión de la información de mantenimiento.

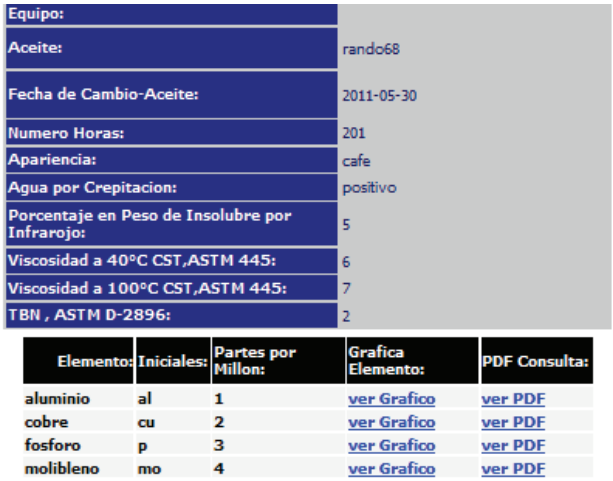
De la Figura precedente se concluyen cuales son los tres análisis o fuentes de datos principales que se habrán de analizar y posteriormente registrar, para determinar tiempos de funcionamiento, desgastes y cambios de elementos en los equipos.

3.2.1.2.1. Cambio de aceite.

Esta ventana está diseñada para almacenar los datos más relevantes de las principales propiedades de los aceites como son la viscosidad, presencia de sustancias extrañas en el lubricante como son agua y partículas de desgaste.

Figura 3.2.1.2.2. Tabla para recopilación de los datos de las muestras de aceite.

Una vez que se han almacenado los datos, el programa posee la opción de graficar los mismos, generando líneas de tendencia del desgaste según sea el elemento. Cabe mencionar que cada elemento graficará los contenidos de PPM de cada muestra, además de los valores máximos permisibles.



Equipo:	
Aceite:	rando68
Fecha de Cambio-Aceite:	2011-05-30
Numero Horas:	201
Apariencia:	cafe
Agua por Crepitacion:	positivo
Porcentaje en Peso de Insolubre por Infrarojo:	5
Viscosidad a 40°C CST,ASTM 445:	6
Viscosidad a 100°C CST,ASTM 445:	7
TBN , ASTM D-2896:	2

Elemento:	Iniciales:	Partes por Millon:	Grafica Elemento:	PDF Consulta:
aluminio	al	1	ver Grafico	ver PDF
cobre	cu	2	ver Grafico	ver PDF
fosforo	p	3	ver Grafico	ver PDF
molibleno	mo	4	ver Grafico	ver PDF

Figura 3.2.1.2.3. Ventana para análisis de líneas de tendencia y búsqueda de posibles fallas

Adicional a la opción de graficar, se tiene un enlace de ayuda en archivos con extensión PDF. Estos documentos estarán a disposición del usuario del programa para determinar las posibles fuentes de las partículas de desgaste. Ello no conlleva a una solución, sino a determinar las posibles causas.

3.2.1.2.2. Ingreso de reparaciones.

La segunda fuente de datos para el control del desgaste proviene de la ventana de reparaciones. Esta ventana lo que maneja es la información de fecha de cambio de elementos así como el número de horas que registra el equipo al momento del cambio. Estos datos servirán para conocer los tiempos de funcionamiento del o de los elementos cambiados.

Adicionalmente, existe un recuadro para reportar novedades que afecten el normal funcionamiento de los elementos; asegurando así que de existir desperfectos, estos sean revisados y corregidos según sea el caso.

Figura 3.2.1.2.4.- ventana de ingreso de las reparaciones y/o cambios.

3.2.1.2.3. Movilización/mantenimiento de equipos.

Ahora bien, se han discutido como fuentes de datos de desgaste los análisis de aceite y tiempo de funcionamiento; pero se debe recordar que dentro del

mantenimiento, no sólo es necesario que el equipo se encuentre en funcionamiento. Dentro de las normativas de BJ Services se maneja intervalos de tiempo máximos en los cuales el lubricante puede estar en el equipo mientras el mismo no funcione/opere. Pasado dicho intervalo de tiempo es necesario que el equipo sea sometido a un mantenimiento preventivo, incluyendo necesariamente el cambio de aceite.

Figura 3.2.1.2.5.- acceso a la sección de registro de mantenimiento y movilización de equipos.

3.2.2. Relacionamiento de la información tabulada.

Cuando se maneja información de mantenimiento, cambios y resultados de muestras de aceites, es necesario no sólo saber cual de aquellas fuentes de información es la que está determinando la falla; sino por el contrario, es necesario saber si más de una fuente de información puede arrojar una pista de la o las fallas presentes. Es por ello que, la tercera sección del programa está diseñada para generar variadas consultas de las propiedades de una muestra de aceite de un determinado equipo o a su vez una consulta de un determinado elemento de desgaste en un equipo determinado.

A través de estas consultas se busca determinar indicios de fallas. Una vez que se ha determinado condiciones extremas de funcionamiento del equipo, se deberá realizar un análisis de las posibles fallas y determinar cuál es la falla más probable.

Figura 3.2.2.1. Entorno del programa informático para ordenamiento y uso de la información almacenada en la base de datos.

CAPITULO IV

CREACIÓN DE UN MANUAL DE DIAGNÓSTICO DIGITAL.

La creación de un manual de diagnóstico digital es la mejor forma de relacionar a los equipos con los resultados que se obtienen de las muestras de aceite. En el siguiente capítulo se habrán de considerar de manera general los problemas que se pueden presentar en un motor diesel, y su relación con el desempeño del aceite lubricante.

El manual de diagnóstico estará realizado en formato digital, en archivos de extensión PDF, los mismos que podrán ser consultados cuando se haga el ingreso de datos en un programa informático de almacenaje y manipulación de la información de las muestras de aceite.

4.1. Diagnóstico de problemas en el bloque motor

Cuando se trata del bloque motor, se debe primeramente saber todos los elementos que se encuentran en movimiento dentro del bloque, o que son parte constitutiva del mismo. Entre los elementos que contiene están los cilindros donde los pistones suben y bajan, conductos por donde pasa el líquido refrigerante y otros conductos independientes por donde circula el lubricante. Generalmente el bloque está construido en aleaciones de hierro o aluminio, siendo estas últimas mucho más livianas y que permiten mayor rendimiento y evacuación del calor.

Dentro de los elementos que se encuentran en movimiento dentro del bloque y que no son elementos constitutivos del mismo se hallan las camisas, los pistones, los aros, bulones, bielas, árbol de levas y el cigüeñal. Por ello, se analizará también a estos elementos, verificando sus materiales, formas, dimensiones, funcionamiento y fallas comunes.

4.1.1. Bloque.

El bloque del motor es quizá la estructura más importante del motor. Se encuentra ubicado entre la culata y el cárter del motor. Generalmente el bloque es una pieza de hierro fundido, aluminio o aleaciones especiales; posee orificios que le atraviesan completamente y que albergarán a las camisas y los pistones.

Estructuralmente hablando, el bloque debe ser rígido para soportar la fuerza originada por la combustión, resistir a la corrosión y permitir evacuar por conducción parte del calor. En la siguiente figura se observarán los ductos que sirven para albergar a los elementos móviles del motor.

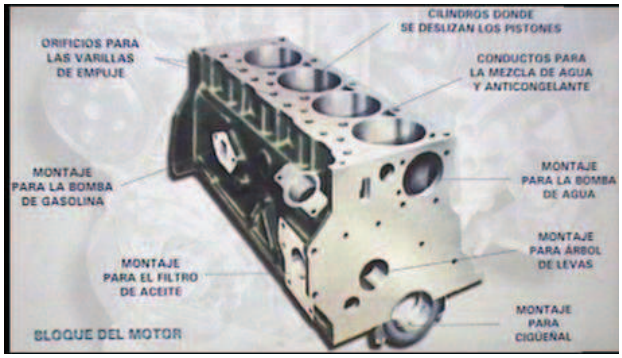


Figura 4.1.1.1. Partes del bloque del motor.

4.1.1.1. Diseño y Fabricación del bloque del motor.

El bloque se diseña de manera tal que su masa sea la menor posible, para reducir el peso y tener una mayor disipación de energía térmica. Dentro del diseño también se toman en cuenta ciertos elementos de protección dentro del circuito de enfriamiento, ya que el bloque también debe ser enfriado por el agua y en menor medida por el aceite. Estos elementos de protección son conocidos comúnmente como fusibles. Estos fusibles funcionan como tapones en el extremo de ciertos conductos de refrigeración del agua, y su finalidad está en cuidar que sobrepresiones en los conductos del agua, ya que de acuerdo a la temperatura del ambiente y del motor el agua puede fácilmente cambiar de

estado, aumentando la presión en las líneas de refrigeración. De allí que estos fusibles son análogos a la válvula de alivio de presiones del sistema de lubricación.

En cuanto a su fabricación, la misma se realiza en serie, y el método de fabricación más empleado consiste en el fundido en moldes de arena con la forma buscada.
El molde en el cual se verterá la aleación de aluminio fundida se fabrica con arena de circonio y aglomerantes en un modelo maestro mecanizado en acero, como aglomerante se utiliza una cola que se solidifica al contacto con un endurecedor gaseoso que se inyecta a la matriz de acero. Todo el proceso es automatizado. El molde total que le dará forma al bloque está compuesto por varios núcleos que se acoplan. Una vez acoplados los núcleos, se procede a colocar las camisas de los cilindros de fundición aleada (principalmente por su elevada resistencia al desgaste), para que el aluminio solidifique sobre ellas. Una vez ensamblado el molde completo se precalientan las camisas de los cilindros para mejorar su adhesión al aluminio.
El aluminio empleado en la fabricación del bloque se inyecta al molde, cuidando que la masa líquida no entre en contacto con el aire. Hay que recordar que en la solidificación del aluminio, el mismo se contrae aproximadamente en un7%.
Como última etapa del proceso de fabricación es necesario realizar un recocido de regeneración de 6 horas de duración para afinar los granos del material y eliminar tensiones residuales producto de la solidificación. A su vez, el tiempo en el horno quema la cola del molde y permite la remoción de la arena. Luego de ser retirados del horno de recocido solo resta cortar el exceso de material y se rectifica la parte donde se montará la tapa de cilindros.

4.1.2. Pistones.

Los pistones son los elementos móviles más importantes por su función de transmisión de la potencia de la cámara de combustión al cigüeñal. Pero las funciones de este elemento no solo están en servir de cara de compresión en

la cámara de combustión, sino que la parte baja del mismo (conocida como falda del pistón) actúa como cojinete para soportar las cargas laterales producto de la posición angular de la biela.

Ahora bien, dependiendo de las condiciones de trabajo, las propiedades de fabricación del pistón serán óptimas y permitirán largos tiempos de funcionamiento; o por el contrario, producirán fallas no solo en este elemento sino en otros elementos relacionados como son los anillos y las camisas. Por ello, se sabe que las fallas principales de los pistones serán:

4.1.2.1. Por Sobrecalentamiento.

Esta falla se debe principalmente a la deficiente extracción de calor, ocasionando que tanto la camisa como el pistón sufran de dilatación. Ahora bien, la falla del sistema camisa-pistón acaece porque la camisa tiene materiales diferentes a los materiales del pistón, y por ende sus dilataciones a igual temperatura serán diferentes. Este problema generalmente altera la forma del elemento, ocasionando en el mismo una deformación, incluso la fundición de los elementos y hasta que se agarrote el pistón en la camisa.

4.1.2.2. Lubricación Inapropiada.

También llamada lubricación marginal, es la ausencia de la película de lubricación hidrodinámica que se necesita para los elementos en movimiento. Esta ausencia de lubricación es la generadora de ralladuras, que si no son atendidas y controladas oportunamente generan raspaduras y falla del elemento.

4.1.2.3. Contaminantes Abrasivos.

Son elementos que aparecen por las ralladuras/raspaduras a las que se ve sometidas las camisas por acción de los anillos. Se lo conoce como

contaminantes abrasivos, porque las partículas sólidas abrasivas se depositan sobre el pistón.

4.1.3. Anillos del Pistón.

Los anillos, segmentos o aros del pistón son generalmente de dos tipos: los anillos de compresión (los primeros desde la cabeza del pistón) y los anillos de aceite (cercanos a la falda del pistón). Los anillos pueden presentar problemas y hasta desgaste y/o fractura ya sea en funcionamiento o montaje:

4.1.3.1. Desgaste por Abrasivo.

Una de las fallas más comunes que presentan los anillos, sobre todo los anillos de compresión esta dado por el material abrasivo que ingresa del ambiente (tierra y polvo).

Cuando se da este proceso de abrasado de las caras del anillo, no sólo que se pierde completamente la cubierta de cromo, sino en muchos casos se aumenta la abertura del aro. Generalmente, los anillos más cercanos a la cabeza del pistón se desgastan con mayor facilidad, y como las superficies están estriadas, existe un mayor desprendimiento de partículas hacia las camisas.

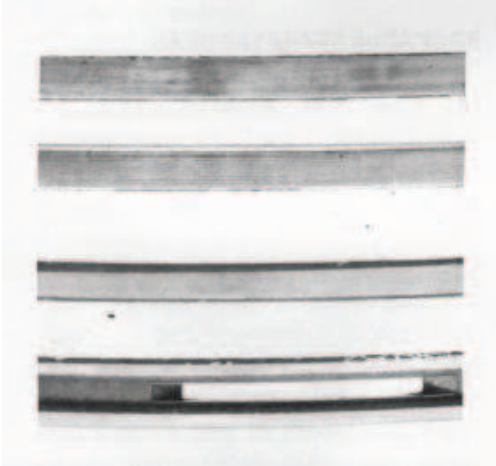


Figura 4.1.3.1.- Desgaste de los anillos. El primer anillo ha perdido su roscado, mientras en el segundo hay desgaste significativo. El tercer anillo presenta superficies desgastadas en los extremos del anillo (zonas oscuras).[52]

[52] Análisis de Fallas de Pistón, MAck TRucks.

Un recordatorio importante es que los anillos superiores o de fuego estarán más expuestos a desgaste por las condiciones extremas de funcionamiento. Sin embargo, ello no quita el riesgo que exista contaminante que alteren sus dimensiones al ingresar por los ductos de admisión. Pero si hay mayor desgaste de los anillos inferiores si es necesario considerar desgaste por partículas abrasivas en el lubricante.

4.1.3.2. Desgaste Por Raspadura/Ralladura.

Las raspaduras de los anillos son fácilmente evidenciables porque las superficies en contacto con las camisas presentan problemas de deformación estructural por las altas temperaturas que alcanzan al no existir el juego, y por ende faltar la lubricación. Si se continúa operando el equipo, las rayaduras llegarán a raspaduras, con un desgaste completo de las paredes de los anillos.

Entre las causas principales que pueden originar este desgaste están:

- Sobrecalentamiento del motor
- Lubricación marginal
- Holgura insuficiente
- Acabado inapropiado del cilindro
- Rodaje inicial inapropiado
- Oxidación del aceite.
- Ingreso de sustancias abrasivas provenientes del ambiente, especialmente polvo.

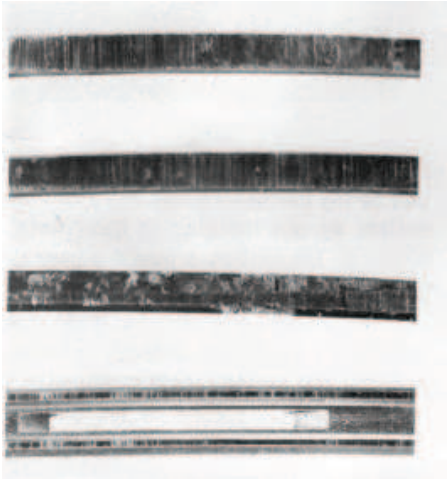


Figura 4.1.3.2.-Desgaste de los anillos por ralladuras. Se observa como las superficies muestran señales de rayado vertical.[53]

4.1.3.3. Daños de los Anillos.

Entre los daños más comunes que sufren los anillos se encuentran:

- Anillos quemados.-
  Cuando ocurre esta falla los anillos se muestran como quemados, debido a los depósitos de carbón que experimentan. Dichos depósitos de carbón restringen el libre movimiento de los anillos, ocasionando que los mismos fallen en su función de sellado de la cámara de combustión entre la camisa y el pistón.
- Rotura de anillos.-
  Cuando se habla de rotura de los anillos es necesario identificar si sucedió cuando fueron montados o en funcionamiento del motor. Si la falla sucede en funcionamiento, se mostrarán depósitos en la mayor parte de su cara, y las secciones donde han fallados los anillos mostrarán un martilleo entre ellas (debido a las vibraciones).
  La consecuencia más significativa estará en el daño permanente al pistón.

[53] Análisis de Fallas de Pistón, MAck TRucks.

4.1.4. Bulones.

El bulón o pasador es el elemento que acopla a la biela con el pistón, permitiendo la articulación de esa unión. Este elemento requiere en su montaje de seguros, los mismos que son los encargados de cubrir los extremos del bulón, evitando que el bulón se mueva y por consiguiente raye las camisas.
Existen tres tipos básicos de bulones:

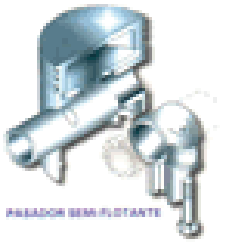
TIPO DE PASADOR	MONTAJE	FIGURA
Pasador fijo	Se inmoviliza el pasador al pistón por medio de un espárrago o tornillo de presión o ajuste con apriete.	
Pasador semiflotante	El pasador queda en la biela siendo apretado por medio de una abrazadera de tornillo, pero gira libremente sobre los soportes del pistón.	
Pasador completamente flotante	El pasador gira libremente con pistón y biela; para evitar el desplazamiento se colocan inmovilizadores de presión en los extremos, los cuales se aseguran en los espacios determinados para este fin en el pistón.	

Tabla 4.1.4.1.- Clasificación de los pasadores o bulones.[54]

Sin embargo, puede ocurrir que el seguro del bulón o pasador de biela no se encuentre bien montado en el pistón, y debido al movimiento oscilante del pistón el material del retén entrará en contacto con la camisa, desgastándose paulatinamente hasta romperse.

[54]http://books.google.com.ec/books?id=GiBcTaBz5f8C&pg=PA574&lpg=PA574&dq=desgaste+de+los+bulones&source=bl&ots=tLFbhr89O9&sig

La falla del equipo ocurrirá porque los pedazos del anillo oscilarán dentro del agujero del pasador, causando desprendimiento de partículas de aluminio. Estas partículas pueden ser abrasivas tanto para el pasador como para el pistón y hasta las camisas.

4.1.5. Camisas.

Son básicamente cilindros que pueden ser fácilmente desmontables, e incluso intercambiables. Con ellos se busca restaurar de una manera fácil a un cilindro a sus condiciones originales. Su principal misión está en sellar la presión de combustión de manera simultánea con los anillos y la empaquetadura de la culata; además de transferir el calor de la cámara al sistema de refrigeración y de servir de guía para el pistón.

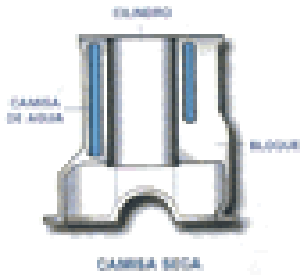
Tipos de camisas	funcionalidad	Figura
Camisa seca	Es un cilindro que se coloca a presión dentro del formado en el bloque, sin existir ningún espacio entre bloque y camisa. En casos de reparación este tipo de camisas permite ser maquinada, teniendo en cuenta que se aumenta el diámetro interior hasta llegar a cierto límite, luego del cual debe ser cambiada.	
Camisa húmeda	Reemplaza totalmente al cilindro del bloque y es apoyada en éste únicamente en su parte superior e inferior siendo rodeada en su totalidad por los ductos de refrigeración. Para una reparación simplifica el proceso ya que sólo se debe extraer la camisa vieja y reemplazarla por la nueva.	

Tabla 4.1.5.1. Clasificación de las camisas[55]

[55] http://www.uamerica.edu.co/motores/d1/pages/bloque.htm

Entre los problemas que presentan las camisas se encuentran:

4.1.5.1. Rallado/Raspado de la superficie interior de las camisas.

Este proceso de desgaste ocurre de manera simultánea entre los anillos del pistón y las camisas, así que el desgaste de los anillos conlleva desgaste de las camisas.

4.1.5.2. Ajuste/Holgura de la Camisa al Bloque.

Este parámetro de diseño es importante de considerarlo, porque de su correcta aplicación se garantizará el correcto funcionamiento de otros elementos del motor, ya que si la camisa no se encuentra con el juego necesario, la transferencia de calor no se dará, y producirá a la larga la fusión de otros elementos como el pistón.

4.1.5.3. Rotura de la brida o asiento de las camisas.

Esta falla del elemento se da por un exceso de presión sea en el montaje de la camisa en su cilindro o, por un mal montaje de la culata sobre el bloque. Aunque tampoco se debe descartar el desgaste al que se ve sometida la brida cuando ésta no está totalmente paralela con su asiento, y como el pistón tiene movimiento angular, lo puede transmitir a la camisa.

4.1.5.4. Erosión por cavitación.

Son generalmente causadas por el contacto del refrigerante con la camisa. Este problema se presenta pocas veces si se da un adecuado mantenimiento al sistema de refrigeración del motor.

4.1.6. Bielas.

Este elemento mecánico tiene como finalidad conjuntamente con el pistón y los muñones del cigüeñal no solo transmitir el movimiento del pistón al cigüeñal, sino que sin este elemento no habría propiamente la transformación de movimiento rectilíneo alterno del pistón en movimiento rotacional para el cigüeñal. Actualmente las bielas son un elemento básico en los motores de combustión interna y en los compresores alternativos. Se diseñan con una forma específica para conectarse entre el pistón y el cigüeñal, y su sección transversal o perfil puede tener forma de H, I.

Las partes que se aprecian en las bielas son:

- La parte trasera de biela que se conecta con el eje del pistón: es la parte con el agujero de menor diámetro, y en la que se introduce el bulón a presión muchas veces, ya que es la forma en que se acopla el pistón a la biela.
- El cuerpo de la biela es la parte central, está sometido a esfuerzos de tracción-compresión en su eje longitudinal, y suele estar aligerado, presentando por lo general una sección en forma de doble T o H, y en algunos casos de cruz.
- La cabeza es la parte con el agujero de mayor diámetro, y se suele componer de dos mitades, y en el orificio entre dichas mitades debe ir sujeto el muñón del cigüeñal. Claro que dicho muñón no está completamente adherido a la biela, sino que existe un elemento llamado cojinete que debe estar entre la biela y el muñón para ser el elemento que se desgastará.

Generalmente las bielas tienen perforaciones con el fin de crear conductos por donde circula el aceite bajo presión desde la cabeza hasta el bulón, con el fin de lograr una buena lubricación. En cuanto al diseño de la biela, este elemento del motor está sometido a mayores esfuerzos y sobre todo a los de tracción
Ahora bien, en cuanto a las fallas que se presentan en dicho elemento, se puede mencionar dos tipos de fallas:

1. Falla de la biela por fractura de la misma: esta falla está presente en más de la mitad casos de falla del elemento. Como se ve este índice es elevado ya que por su diseño este elemento no se desgastará fácilmente, pero como el mismo estará sometido a grandes esfuerzos, estos esfuerzos podrán ocasionar la falla, sobre todo cuando existan concentradores de esfuerzos en la biela.
2. Falla en los cojinetes de biela: como se mencionó en cuanto al montaje de las bielas con el cigüeñal, entre dichos elementos siempre habrá de colocarse a los cojinetes, para evitar el desgaste del muñón del cigüeñal y de los asientos de la biela.

Por lo tanto, las fallas por fractura no pueden ser determinadas fácilmente a través del análisis de aceite. En cuanto a los cojinetes, estos si pueden ser estudiados y sus fallas predichas porque dichos elementos tienen un diseño que favorece al desgaste, y sus elementos constitutivos son muchas veces sino únicos en el motor, si muy fáciles de ser asociados.

4.1.6.1. Biela doblada o torcida.

Cuando se presentan problemas con las bielas, es necesario tomar en cuenta este problema por sus connotaciones en todo el motor. Sin embargo, en los cojinetes este problema se aprecia por un desgaste en un extremo del cojinete, haciendo que solamente esa zona reducida presente este desgaste por contacto metal-metal entre el cojinete y el muñón. Este desgaste afecta a ambas tapas del cojinete, claro que en los extremos opuestos.

4.1.6.2. Cojinetes de biela

Cuando se trata de los defectos en los cojinetes es necesario mencionar que la o las fallas del cojinete no son fáciles de ser detectadas o aisladas, y en la mayoría de casos estas están interrelacionadas. Este elemento puede fallar por condiciones relacionadas a su funcionamiento, así como por fallas en otros

sistemas de los que dependen, sobre todo por fallas en el sistema de lubricación.

Ahora bien, las fallas más comunes de los cojinetes de biela son:

4.1.6.2.1. Desgaste normal.

Aunque no es una falla como tal, se debe cuidar el tiempo de vida óptimo para este elemento. Como se mencionado, los cojinetes están fabricados para desgastarse, y como su estructura no es solamente hecha con el recubrimiento de desgaste, sino que posee un cuerpo o capa interna de metal que no debe nunca desgastarse y peor aún llegar al aceite, ya que estas partículas serán altamente abrasivas.

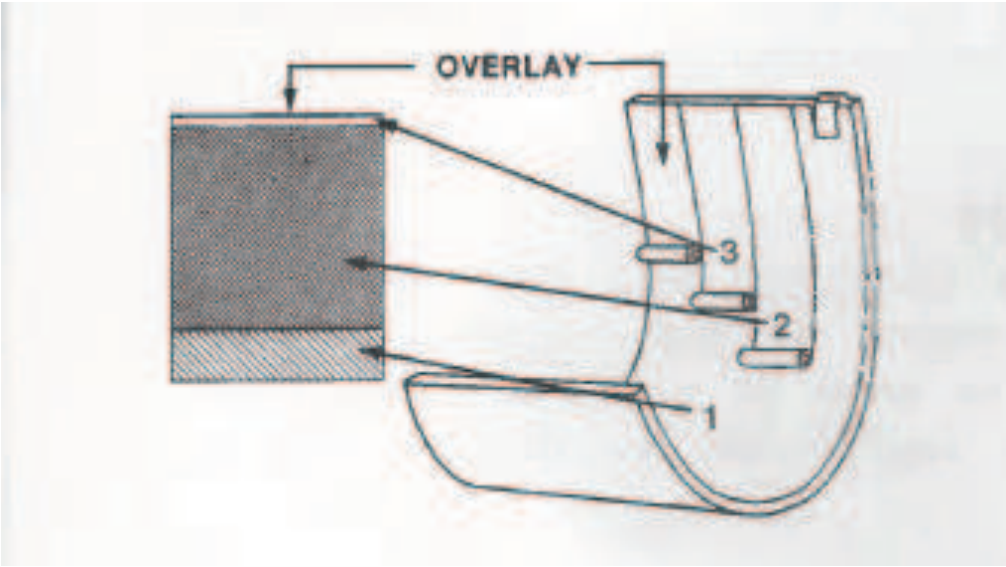


Figura 4.1.6.2.1.1. Estructura de un cojinete, en el cual se pueden observar y diferenciar las distintas capas de las cuales está compuesto un cojinete: 1. Es el espaldar de acero, o la capa que se asienta en la biela, 2.es la capa intermedia, 3. Es la capa de barrera o dique de níquel, y 4. Es la capa de plomo-estaño, la capa más próxima al muñón del cigüeñal.

4.1.6.2.2. Fatiga de la superficie.

Este problema aparece como fractura en la capa de recubrimiento del cojinete, originada por cargas radiales que poco a poco producen fisuras en dicha capa y que terminan por desprender secciones de recubrimiento.

Figura 4.1.6.2.2.1. Se observa como la fatiga se inicia por fisuras en el recubrimiento, y luego se extienden hasta que se produce desprendimiento del mismo.

4.1.6.2.3. Partículas extrañas en el revestimiento.

Este fenómeno es fácilmente apreciable por marcas de raspaduras en la superficie del cojinete, y en casos también se pueden observar elementos incrustados. La falla propiamente se produce por la incrustación de elementos externos en la capa de material blando, formando puntos altos que entrarán en contacto con el eje, causando un rozamiento y consecuentemente desgaste (efecto de piedra de esmeril).

4.1.6.2.4. Partículas extrañas en el espaldar del cojinete.

Estas partículas alteran el funcionamiento normal del cojinete porque reduce las zonas de contacto cojinete-biela, alterando con ello tanto el contacto superficial, como la transferencia de calor, y produciendo una zona localizadas de calentamiento que reducen la vida útil del cojinete.

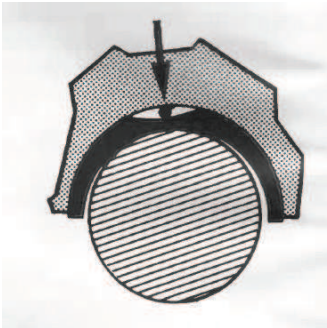


Figura 4.1.6.2.4.1. Partícula externa sobre el espaldar de cojinete, obsérvese como el contacto cojinete-biela se ve alterado

4.1.6.2.5. Falta de aceite.

La falta de lubricación entre el eje y el cojinete trae como resultado la falla del cojinete por quemadura; es decir, el revestimiento se desgasta completamente, apareciendo la superficie brillante, y muchas veces el cojinete se deforma por acción del calor. Es así que, los dos problemas principales que trae la ausencia de una adecuada lubricación son la fatiga del cojinete y el rozamiento metal-metal con su consecuente calentamiento.

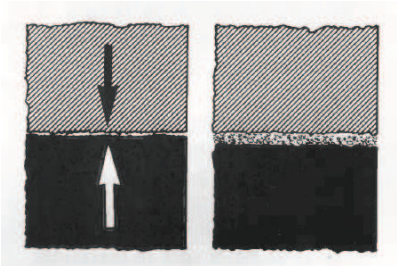


Figura 4.1.6.2.5.1. Presencia

4.1.6.2.6. Corrosión.

La corrosión sucede cuando ciertos elementos del lubricante reaccionan químicamente con los elementos del recubrimiento del cojinete. Las consecuencias de esta reacción química se presentan como la eliminación de las capas del cojinete, o en muchos casos la formación de una capa de óxidos quebradizos sobre la superficie del cojinete, que luego por fatiga del material terminan desprendiéndose con parte del revestimiento.

4.1.6.2.7. Calibre ovalado.

Este problema está directamente relacionado con el calibre de la biela, el cual no posee una forma circular perfecta, sino por el contrario, presenta cierta pérdida de abertura en los extremos de la media curva. Esta reducción de separación se traduce en mayor contacto superficial entre el muñón y el cojinete, produciendo un desgaste metal-metal y una ausencia de lubricación.

Otra forma relacionada al calibre se da cuando el espaldar del cojinete no tiene contacto con el calibre en la parte más baja de este elemento. Aquí el problema como reducción de la transferencia de calor, y la consecuente aparición de puntos o zonas de calentamiento extremo.

4.1.6.2.8. Aplastamiento excesivo.

Cuando se da un aplastamiento extremo del cojinete, se obtienen zonas de desgaste alrededor de las líneas de unión de las partes del cojinete. Este incidente tiene las mismas consecuencias que en el caso de un calibre ovalado.

4.1.6.2.9. Aplastamiento insuficiente.

Este caso es muy diferente a los analizados, porque el contacto entre las dos tapas del cojinete nunca se da, haciendo que una o las dos partes se encuentren libres de deslizarse a lo largo del calibre. Ahora bien, entre los problemas que si presenta se tiene una deficiente transferencia de calor, causando un sobrecalentamiento en todo el cojinete y no solamente en ciertos puntos.

4.1.6.2.10. Tapa de cojinete desplazada.

Este problema se aprecia por un desgaste excesivo en las líneas de separación de las tapas del cojinete. Esto es consecuencia del desplazamiento de la tapa, ya que un lado de la tapa es empujado contra el muñón en la línea de separación. Al existir esta falla se produce un desgaste por contacto muñón-cojinete en el lado opuesto a la línea de contacto de las tapas.

4.1.6.2.11. Bancada deformada.

Este problema aparece con los cojinetes de bancada, y es debido a las cargas excesivas sobre los cojinetes, mostrando un punto de mayor carga en el punto

de mayor deformación. Estas deformaciones del cojinete tienen como consecuencia directa una reducción de la holgura para el aceite, haciendo que el contacto metal-metal sea mayor cuanto mayor sea la deformación.

4.1.7. Cigüeñal.

Este elemento mecánico es quizás el más importante de todo el sistema de conversión de la energía del combustible en movimiento del motor, no tanto porque sea el elemento convertidor del movimiento, ya que se ha explicado previamente que la conversión la realiza exclusivamente la biela, sino porque es el elemento que recibe por así decirlo el movimiento rectilíneo transformado.

Cuando se habla de un cigüeñal es necesario mencionar también su diseño estructural, ya que los muñones del mismo se encuentran paralelos al eje principal del cigüeñal, para hacer de esta manera posible el movimiento. Este diseño de los muñones separados del eje principal es lo que se conoce como manivela. Sin embargo, no todo el movimiento del cigüeñal es causa de la explosión, por el contrario solo el movimiento de descenso del pistón es consecuencia directa de la explosión. El movimiento de ascenso del pistón o etapa de compresión del motor es consecuencia del trabajo realizado por los contrapesos que contiene el mismo cigüeñal. Sin estos contrapesos no se podría realizar el proceso completo, y menos aún vencer la inercia de la biela y su tendencia a moverse hacia abajo del sistema pistón-biela-manivela.
Como se puede deducir de la breve explicación sobre el cigüeñal, el mismo no presenta un diseño complejo en cuanto a lo físico, no así con su diseño mecánico. Lo que si es necesario de mencionar dentro del diseño mecánico no es los esfuerzos que habrá de soportar en funcionamiento, sino más bien problemas que se pueden presentar luego de periodos extendidos de funcionamiento o de una reparación. Se menciona este hecho porque la falla más común que se presenta en este elemento suele estar asociada con fallas de fatiga, claro que en dichos casos la fatiga no es la causa sino la consecuencia.

4.1.7.1. Cigüeñal doblado.

Cuando se observa un patrón de desgaste similar, muchas veces se debe analizar las condiciones del cigüeñal. Cuando el cigüeñal se encuentra deformado produce cargas excesivas sobre los cojinetes de bancada, siendo el resultado final el desgaste del cojinete, y la reducción de los canales de lubricación.

4.1.7.2. Muñón deformado.

Este tipo de falla aparece por un muñón deformado, y es fácilmente apreciable en ambas tapas del cojinete. Ahora bien, existen tres tipos de desgaste que puede generar un muñón defectuoso:

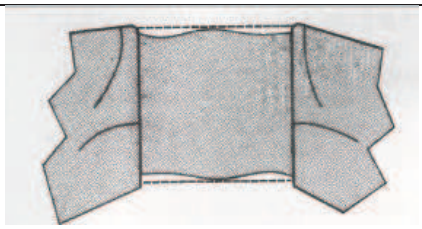
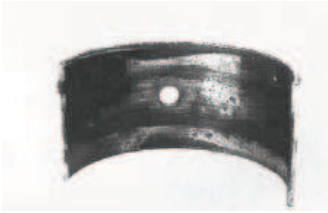
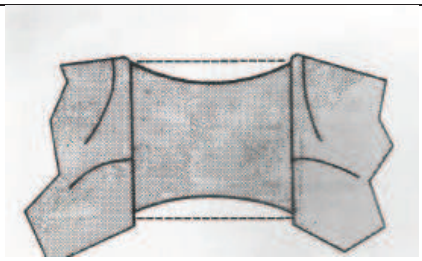
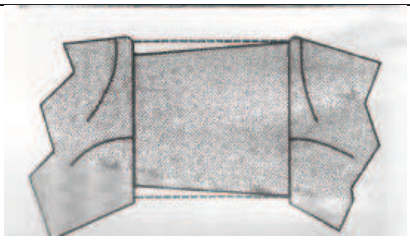
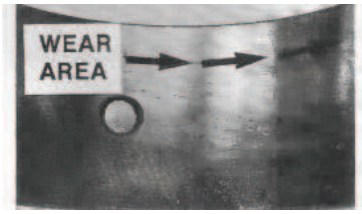
Patrón de desgaste	Esquema del daño en el cojinete	Figura de un cojinete real
Forma de barril		
Forma de reloj de arena		
Muñón cónico		

Tabla 4.1.7.2.1. Fallas en el cojinete causado por un muñon deformado

Estas deformaciones se presentan por una distribución irregular del muñón, generando un mayor rozamiento y su consiguiente desgaste. Adicionalmente,

el cojinete ve disminuida su capacidad de lubricación por una reducción de los canales.

4.1.7.3. Mancha caliente.

La condición de corto caliente es causada por un aumento excesivo de calor en algunas áreas del cojinete, dejando al espaldar de acero del cojinete expuesto al ambiente y sin sus capas de recubrimiento. Este calor excesivo puede ser debido a flujo insuficiente de aceite, a tierra en el espacio de aceite, eje mal acabado, o cojinete desalineado. Todas estas condiciones adversas pueden ser mejoradas con una adecuada lubricación.

4.1.8. Árbol de Levas.

Este elemento, presente en los motores de 2 tiempos y de 4 tiempos, y que según el motor tendrá una disposición determinada, es el elemento constitutivo más importante del sistema de distribución, ya que de él dependen los eventos que conducen a la combustión y posterior obtención de potencia. Pero su funcionamiento está determinado por el número de tiempos en los que el motor realiza la combustión. Los usos de los árboles de levas son muy variados, como en molinos, telares, sistemas de distribución de agua o martillos hidráulicos, aunque su aplicación más desarrollada es la relacionada con el motor de combustión interna alternativo, en los que se encarga de regular tanto la carrera de apertura y el cierre de las válvulas, como la duración de esta fase de apertura, permitiendo renovación de la carga en las fases de admisión y escape de gases en los cilindros.

Lo singular de todo este trabajo radica en que todo este control debe ser realizado según el tipo de motor en uno o dos giros completos del cigüeñal, ya que es este elemento del motor el que controlará la apertura y cierre de las mencionadas válvulas.

Si se estudia al árbol de levas, es necesario mencionar no solo a este eje sino a las levas, que en sí son los elementos fundamentales para que exista el conocido árbol de levas. Las levas son los elementos que deben ser diseñados con cuidado, ya que de la forma de su perfil dependerá la secuencia y tiempo de apertura de las válvulas de admisión de aire y de salida de los gases de escape. Eso sí, una vez que se han fabricado las levas, las mismas deberán ser mantadas sobre un eje previamente diseñado para albergar a las levas en posiciones específicas, siempre asegurando que entre las levas y el eje existan un ajuste adecuado. Cuando todo el árbol de levas está plenamente fabricado, es necesario someterlo a un endurecimiento superficial conocido como cementación.

4.1.8.1. Fallas en el árbol de levas.[56]

Cuando se analizan las posibles fallas que se presentarán en los árboles de levas, se conoce que el desgaste del árbol y de las levas es la falla más habitual. Dicha falla existirá porque el árbol de levas cumple un duro trabajo, en su giro debe empujar todo el tren de válvulas, venciendo no sólo la tensión de los resortes sino también la masa correspondiente de los demás componentes y ciertas presiones internas de los cilindros.

Adicionalmente, comanda la bomba de aceite, el distribuidor, la bomba de gasolina y, en algunos motores diesel, sincroniza e impulsa la inyección. Todo ello se traduce en esfuerzos de torsión y flexión. Pocas veces se considera su real importancia, ya que es uno de los pocos elementos del motor que no presenta problemas. No obstante, su desgaste es inevitable y debe de ser cuidadosamente verificado.

Cuando se controle el desgaste de las levas, se deberá observar simultáneamente el grado y tipo de desgaste que presentan, así como se deberá verificar la posible presencia sobre todo en los bordes de picaduras, desprendimientos, entre otras fallas superficiales generalmente.

[56] http://motores.com.py/foro/f.9/6179-arbol-de-levas.html

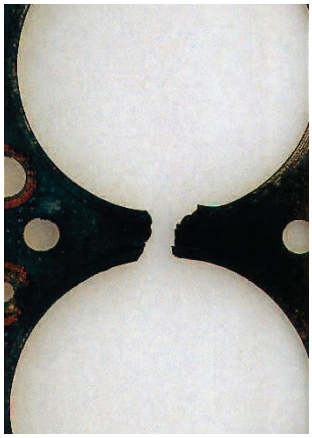
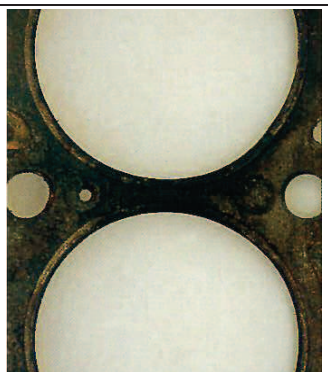
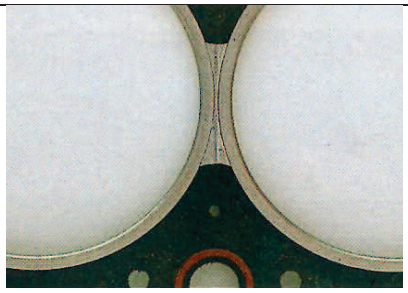
En cuanto a los apoyos, estos se habrán de verificar dimensionalmente, ya que una deformación o desgaste mayor de 0.025mm (.001") obligan a su rectificación y a la instalación de nuevos cojinetes, terminados, de la medida correspondiente.

4.2. Diagnóstico de problemas relacionados con la junta de culata.

Esta parte se analiza ya que, los motores presentan problemas en esta sección cuando el material de la junta falla. La contaminación se da porque el material de la junta no sólo que ha fallado, sino que se ha desintegrado y movilizado con el lubricante que recorre esa sección.

Previo a hablar de los problemas de la junta, es necesario mencionar que el empaque de la junta es una lámina fabricada en diferentes materiales, como son asbesto, latón, acero, caucho, bronce y actualmente se está desarrollando un nuevo material llamado grafoil. Se utiliza para sellar la unión entre la culata y el bloque de cilindros.

Posee varias perforaciones por las cuales pasan los pistones, los espárragos de sujeción, y los ductos tanto de lubricación como los de refrigeración. A continuación se tabulan los principales problemas que se presentan en la junta de la culata y el bloque:

PROBLEMA	MOTIVOS DEL FALLO	FIGURA DEL PROBLEMA[57]
Daño o rotura del empaque	• Falta de apriete o reapriete • Planitud incorrecta de culata y/o bloque • Funcionamiento incorrecto del sistema de refrigeración • Combustión incorrecta • Relación de compresión incorrecta	
Junta quemada	• Falta de apriete o reapriete • Planitud incorrecta de culata y/o bloque • Funcionamiento incorrecto del sistema de refrigeración • Combustión incorrecta • relación de compresión incorrecta	
Marcas Débiles	• Falta de apriete o reapriete	

[57] http://www.ajusa.es/noticias/data/upimages/FALLOS_JUNTAS.pdf

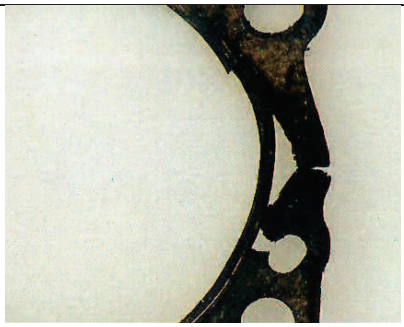
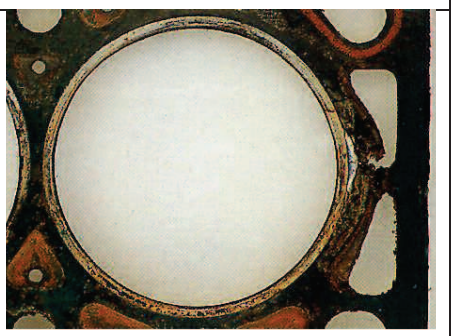
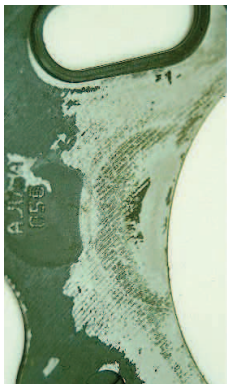
Desplazamien-to y Falta de Material	• Falta de apriete o reapriete • planitud incorrecta de culata y/o bloque	
Deformación del orificio de los tornillos sujetadores de la culata con el bloque	• No utilización de centradores • incorrecto posicionamiento de la junta • junta no correcta	
Daño y desgaste de los orificios de paso del agua y aceite.	• Falta de apriete o reapriete • planitud incorrecta de culata y/o bloque	
Rugosidad incorrecta entre el material de la junta y las superficies de la culata y el bloque motor	• Cuidar que la junta multicapa de acero no sea excesivamente diferente en rugosidad a las superficies del bloque motor o la culata.	

Tabla 4.2.1.- Resumen de las fallas relacionadas con problemas en el empaque entre el bloque y la culata.

4.3. Control de presiones de aceite y averías.

Cuando se habla de lubricación, se habla de mejorar las condiciones de rotación de muchos elementos internos de un motor de combustión interna, y se menciona una mejora porque el aceite ayuda a que dichos elementos puedan rotar sin producir desgaste entre ellos. En otras palabras, el aceite ayuda a mantener separadas las superficies metálicas en movimiento.

Ahora bien, como dichos elementos se encuentran rotando constantemente mientras el motor se encuentra en funcionamiento, hay la necesidad de mantener siempre dicha capa de aceite entre los elementos renovada, porque el aceite no solo lubrica a dichos elementos sino que se convierte en una sustancia de enfriamiento de las mismas, además hay que tener cuidado que los mismos elementos por acción de su movimiento rotacional realizan una especie de bombeo de la película de aceite hacia otras partes del motor. Por lo tanto, es necesaria la reposición de aceite lubricante, efecto que se consigue por acción de la bomba de aceite. Dicha bomba tiene como misión el enviar aceite desde el cárter hasta los lugares y elementos más alejados, con pequeñas dimensiones y pequeñas holguras dentro del motor, impulsando varios litros de aceite por minuto a una presión controlada

Por lo tanto, la presión de aceite es el parámetro más importante que afecta al circuito de lubricación. Analizando al motor de combustión interna, se tiene que el lubricante es obligado a circular por diversos conductos al interior del motor, debido a la presión generada por la bomba de aceite. La presión máxima en el circuito dependerá de la válvula limitadora de presión, y la presión mínima del ralentí del motor.

El bombeo del aceite también estará determinado por factores tan diversos e importantes del lubricante como es la viscosidad del lubricante, ya que un aceite de alta viscosidad mantendrá una presión elevada, mientras que un aceite de viscosidad baja mantendrá una presión débil.

Por este motivo los indicadores de presiones de aceite en los motores nos dan una orientación sobre las condiciones de lubricación al régimen normal de funcionamiento.

La premisa que siempre se debe manejar cuando se controle la presión es que una buena lubricación se consigue con una presión adecuada, lo cual asegura un flujo de aceite suficiente como para mantener lubricado, refrigerado y limpio el sistema de lubricación.

4.3.1. Indicador de Presión.

Dentro del sistema de lubricación de un motor habrá de existir mecanismos de control, uno de ellos o quizá el único existente en el motor será el indicador de presión. Este dispositivo tiene la función de controlar que la presión del aceite será la adecuada, y con ello garantizar que la lubricación se lleve a cabo de la mejor manera posible.

Así mismo, con la ayuda del indicador de presión se conseguirá saber si el motor presenta fallas como consecuencia de desgastes en elementos internos del motor. Se menciona las fallas por desgaste ya que, cuando el motor funciona correctamente y los elementos internos tienen las holguras adecuadas determinadas por el fabricante, la presión de aceite en el motor se mantendrá constante; pero si llegado el caso elementos con lubricación y de fácil desgaste como los cojinetes se llegan a desgastar más allá de los límites recomendados para dichos elementos, la holgura será mayor, y por lo mismo se requerirá de mayor cantidad de aceite para formar la película de lubricación, y con ello la presión en el resto del circuito de lubricación habrá de caer.

En la siguiente Figura se clarifica el camino que debe seguir el aceite desde el cárter hacia el motor, y en qué segmento del circuito de lubricación se encuentra acoplado el mecanismo del indicador de presión.

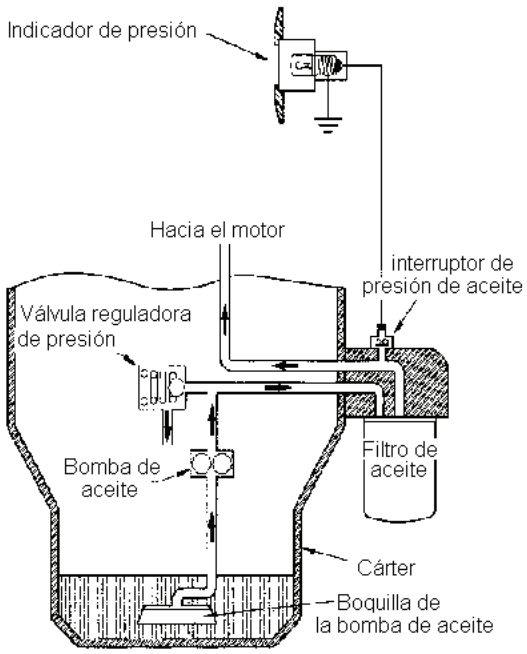


Figura 4.3.1.1.- esquema del circuito de lubricación y del mecanismo indicador de presión.[58]

4.3.2. Problemas comunes asociados a la Presión de Aceite.

Antes de comenzar a mencionar los problemas asociados a un cambio de presión de aceite, es necesario conocer la presión de operación normal de un motor diesel debe ser establecida por su fabricante; y sobre todo recordar que "la presión de aceite es causada por la resistencia del aceite al flujo".

La presión estable, ni alta ni baja, es la base para un funcionamiento seguro del motor. En condiciones ideales, la presión del aceite debe ser estable, por lo tanto, cualquier alza u disminución de la presión debe investigarse. Eso sí, cualquier análisis que se realice con respecto a la presión del aceite deberá realizarse una vez que el motor haya sido puesto en marcha, ya que el aceite frío tiene una resistencia natural alta al flujo, por consiguiente su presión será alta al momento del arranque

Una vez que el aceite ha comenzado a circular, este va tomando temperatura, variando su viscosidad hasta llegar a un nivel de presión estable. Solamente en

[58] http://www.filtercouncil.org/techdata/tsbsp/83-2RS.html

ese momento el motor está siendo lubricado debidamente. Hasta que la presión del aceite se estabiliza, los porcentajes de desgaste son altos debido a la alimentación insuficiente del aceite a las superficies adosadas. Por lo tanto, un buen aceite llega a una presión estable rápidamente.

Una vez aclarado que el sistema de lubricación no es del todo estable, se debe mencionar que dicho sistema tiene dos formas para mostrar su mal funcionamiento, y dichas formas son lecturas de presión alta y de presión baja en el indicador de presión. Tanto la presión alta como la presión baja tienen sus causas y sus consecuencias.

4.3.2.1. Presión Alta del circuito de lubricación.[59]

La presión alta puede no ser necesariamente buena, ya que se puede deber a un aceite demasiado viscoso que esté tapado un conducto, o que sencillamente el ralentí del motor es demasiado alto. Por lo tanto, una presión alta hace trabajar doblemente a la bomba de aceite, lo que resta potencia y pérdida en el rendimiento del motor. Por ello hay que recordar que una presión alta no significa una buena circulación del aceite.

Avería o defecto	Causas posibles o Síntomas	Solución
Falta de Aceite	Testigo de presión de aceite no se apaga	Apague el motor y compruebe el nivel de aceite
Posible falla del motor	Bajo nivel de Aceite	Llenar de aceite a nivel y buscar posibles fugas
Bajo nivel del aceite en el cárter del motor	Testigo de presión de aceite se enciende al tomar una curva	Rellene hasta nivel adecuado
Mayor consumo de aceite y desgaste del	Viscosidad del aceite reducida por dilución	Cambiar el aceite; si el problema persiste, buscar fugas en el

[59] http://pdf.rincondelvago.com/el-motor-diesel_1.html

motor		sistema
Ninguna	Cambio de aceite	Ninguna − el aumento y/o disminución de la presión de debe a otros factores

Tabla 4.3.2.1.1. Tabla resumen de fallas por alta presión

4.3.2.2. Presión Baja del circuito de lubricación.[60]

Al contrario de la presión alta, la presión baja en un motor no necesariamente puede ser mala, ya que podría ser ventajosa para un motor diesel que opere en condiciones normales. Sin embargo, generalmente se suele asociar a la presión baja con desgaste de elementos internos con su correspondiente aumento de holguras. Así también una presión baja quiere decir que el aceite lubricante está circulando vigorosamente por todas las partes donde el motor lo requiera, entendiéndose por lo tanto que aunque el aceite fluye por todo el circuito, su viscosidad no es la apropiada. Esta variación de la viscosidad puede ser consecuencia de diluciones por combustible, problema que afecta directamente a la viscosidad del aceite.

Avería o defecto	**Causas posibles o Síntomas**	**Acción a tomar**
El aceite fluye adecuadamente dentro de la bomba, pero no lo puede hacer a través de los conductos de lubricación	Arranque en frío por debajo de la temperatura recomendada para ese grado SAE. La presión permanece muy alta luego del arranque en frío por bastante tiempo.	Apague el motor. Use un aceite con menor viscosidad a bajas temperaturas, como un multigrado.
Excesivo consumo de aceite. Presión altísima durante el arranque: riesgo de rotura de los filtros y	Válvula de desviación de la bomba trabada en posición cerrada (por depósitos, etc), o mal ajustada en una reparación.	Destrabar, limpiar la válvula de desviación. En los casos que no sea accesible, vale la pena intentarlo con

[60] http://pdf.rincondelvago.com/el-motor-diesel_1.html

el enfriador de aceite.		aceite de alta detergencia.
Falla potencial del motor por caudal insuficiente en cojinetes	Aceite muy viscoso debido al hollín (efecto más crítico en los motores modernos con inyección retardada / control electrónico)	Recambiar el aceite y filtro. Revisar inyectores. Evitar el uso en ralentí por períodos excesivos.
Falla potencial del motor por caudal insuficiente en cojinetes	Aceite muy viscoso debido a oxidación/degradación por recalentamiento	Recambiar aceite y filtro Usar aceites de calidad superior/ períodos más cortos entre cambios
Disminución de la vida útil del motor por lubricación insuficiente	Selección de un aceite con viscosidad demasiado alta	Consultar manual para usar el grado SAE del aceite recomendado por el fabricante.
Reduce la vida del motor (elementos abrasivos en el circuito)	Filtro de aceite tapado. La válvula de desviación permite el paso de aceite sin filtrar	Recambiar el filtro y el aceite. Investigar las causas del taponamiento/ bloqueo.
La presión del aceite permanece alta después de la partida en frío	Posible falla grave del motor Falla potencial del motor	Apagar el motor; cambiar el aceite motor por uno que tenga mejores propiedades a baja temperatura
Aceite demasiado viscoso por causa del hollín, y/o oxidación	Falla potencial del motor	Cambiar el aceite y el filtro; revisar los inyectores; evitar el funcionamiento

		excesivo en ralentí
Viscosidad del aceite demasiado alta	Duración reducida del motor	Consultar manual del operador o su proveedor de lubricantes para el grado de viscosidad correcto
Aceite demasiado frío	falla potencial del motor	Revisar termostato del motor; comprobar que la viscosidad del aceite sea el adecuado
Válvula de derivación deja circular el aceite sin pasar por el filtro	Reducida vida del motor	Investigar su posible obstrucción
Obstrucción de la succión de la bomba	Elementos extraños; vida reducida del motor	Parar el motor, investigar causa

Tabla 4.3.2.2.1. Tabla resumen de fallas por baja presión[61]

4.4. Consumo de aceite.

El aceite ha ayudado a conocer problemas internos de un motor a través de las concentraciones de partículas; pero hay un aspecto adicional que se debe considerar cuando se realiza un mantenimiento del motor y esta relacionado con la cantidad de lubricante que se extrae.

Es conocido que los motores utilizan el aceite como sustancia lubricante, y dado que dicha sustancia está en contacto con diferentes partes o segmentos del motor, en algunos casos este cumple su función, mientras en otros se degrada. Como se ha mencionado, el consumo de aceite es normal que ocurra,

[61] http://s3.amazonaws.com/ppt-download/causa-de-alta-presion-de-aceite-motores-diesel-1203179219269806-2.pdf?Signature=9koxdB0NNQ2Uxc5Svqv0DWyBwVw%3D&Expires=1278918664&AWSAccessKeyId=AKIAJLJT267DEGKZDHEQ

pero en pequeñas cantidades. Cuando el consumo de aceite es elevado, es necesario considerar fallas o averías en secciones muy específicas del motor, que son las que siempre presentan consumo de aceite. Sin embargo, hay que cuidar de la composición del aceite lubricante también, ya que este puede estarse degradando a si mismo.

A continuación se enlistarán los problemas más importantes relacionados con el consumo excesivo de aceite.

CAUSAS	
Transitorias	• Nivel de aceite en el cárter por encima del máximo. • Temperatura de funcionamiento del motor muy elevada que calienta el aceite produciéndole excesiva fluidez. • Aceite no adecuado para el motor.
Permanentes	• Daños por desgaste en secciones/partes internas del motor. • Mal montaje de secciones/partes del motor luego de un mantenimiento. • Fugas en general. • Partículas suspendidas en el aceite, consecuencia de un exceso de lubricante en el sistema.

Tabla 4.4.1. Clasificación de las causas relacionadas con el consumo de aceite

De acuerdo a lo tabulado anteriormente, se verificará las secciones del motor que se someterán a desgaste; para con ello poder relacionar las partículas que se suspenderán en futuras muestras de aceite.

Adicionalmente se debe recordar que, el lubricante en su formulación de fábrica tiene sustancias aditivas que prevén problemas de desgaste y condiciones extremas. Estas sustancias tienen como principal inconveniente sus cortos tiempos de vida en comparación con el tiempo de vida útil del equipo cuando las condiciones del entorno son extremas.

Por ello, se recuerda brevemente las funciones de los aditivos de un lubricante y sus utilidades, previo a conocer cuando exista desgaste de elemento del motor. Las funciones son:

- *La viscosidad:* esta es la propiedad inherente del lubricante.
- *Detergencia:* ayuda a controlar los depósitos sobre las partes calientes del motor que se producen por efecto de los productos de la combustión, así como la descomposición del mismo aceite.
- *Dispersión:* ayuda a controlar que las partículas suspendidas en el aceite (partículas provenientes de elementos desgastados, de la combustión y partículas del aire) no se sedimenten sobre metales, produciendo atascamientos o falta de lubricación hidrodinámica.
- *Alcalinidad:* capacidad de controlar y eliminar los productos ácidos provenientes de la combustión o de la oxidación. Incluso ayuda a controlar la cantidad de agua condensada.
- *Inhibidor de la corrosión:* evita la formación de pares galvánicos, evitando con ello el aparecimiento de desgastes corrosivos.

4.4.1. Influencia de la Lubricación en el Desgaste de Elementos, y su Comprobación con el Consumo de Aceite.

En la siguiente tabla se explican los elementos o secciones del motor que deben ser considerados como focos de consumo excesivo de aceite.

Elemento	Problema Principal
Juntas/seguros	Estos elementos presentan serios problemas de estanqueidad. Los problemas más comunes están directamente relacionados con sus dimensiones y material de construcción
Desgaste de paredes de elementos en contacto con los retenedores	Se da un desgaste de las paredes por presencia de elementos depositados en las superficies externas de los elementos, causando variaciones en las condiciones normales de funcionamiento (variación del

	volumen de la cámara de combustión, aumento de dimensiones, etc.)
Montaje de elementos sometidos a mantenimiento	Este aspecto es necesario considerarlo, porque muchas veces luego de un mantenimiento, las piezas son inspeccionadas o montadas de manera incorrecta.
Mínima extracción de calor de elementos en contacto	Cuando el lubricante no tiene el contacto adecuado con los elementos móviles, puede causar un calentamiento de los mismos, conllevando a una eventual falla por fatiga o problemas térmicos.
Anillos gastados	Cuando la superficie de contacto entre los anillos del pistón y las camisas se ha visto seriamente desgasta, se corre el riesgo que exista contaminación del aceite por parte de los productos de la combustión (gases de escape y el agua), y también el barrido de la capa de lubricación de las camisas será deficiente, provocando que el aceite de dicha capa se queme constantemente.

Una vez explicados los problemas principales, se estudiará a cada elemento:

4.4.1.1. Seguros.

La fiabilidad y duración de los retenes en una determinada aplicación dependerá del estado de los distintos componentes o elementos en contacto con el retén. Por ello se analizará a cada uno de los retenes que hay en el motor diesel.

En la siguiente tabla se los materiales principales de retenes en el mercado:

Designacion	Descripción del material
NBR	Caucho nitrilo (sintético): material es el más clásico en la fabricación de retenes y se emplea en aquellas aplicaciones donde la temperatura, la velocidad de giro, excentricidad y lubricación se consideran como normales.

	Temperatura de servicio entre -45 °C y 120 °C
ACM	Caucho poliacrílico: usado en aplicaciones donde las temperaturas de servicio son superiores y en especial donde existe la presencia de aditivos EP en el lubricante. Temperatura de servicio entre -30 °C y 150 °C
VMQ	Caucho silicona: material especialmente recomendado para altas temperaturas. Aplicación en motores y transmisiones. No recomendado con la presencia de lubricantes GL4 y tipo EP para engranajes. Temperatura de servicio entre -62 °C y 178 °C
FPM	Caucho elastómero fluorado (Viton): material muy resistente a los ataques químicos y a elevadas temperaturas, entre -40 °C y 205 °C
FPM - ACM	Caucho fluorado/poliacrílico (Viton-Poliacrílico):reúne las características de los materiales FPM - ACM.
LE	Cuero
PTFE	Politetrafuoretileno (Teflon): este material se utiliza para aplicaciones de funcionamiento en seco. Presenta bajo coeficiente de rozamiento. Resistencia excelente a los fluidos. Temperatura de servicio entre -93 °C y 232 °C

Tabla 4.4.1.1.1. Materiales constitutivos de los sellos.

Adicionalmente, se ha encontrado una tabla de compatibilidad que debe ser considerada para conocer o estimar el desgaste de este elemento, en función de su entorno de funcionamiento.

Características	**Nitrilo(NBR)**	**Poliacrilo(PA)**	**Silicona(SI)**
Temperatura ºC	*−40º a 120*	*−20º a 150º*	*−50º a 180º*
Aceites de motores	*Excelente*	*Excelente*	*Excelente*
Gasolina	*Buena*	*Deficiente*	*Deficiente*
Diesel	*Excelente*	*Excelente*	*Deficiente*
Agua dulce o salada	*Excelente*	*Deficiente*	*Excelente*

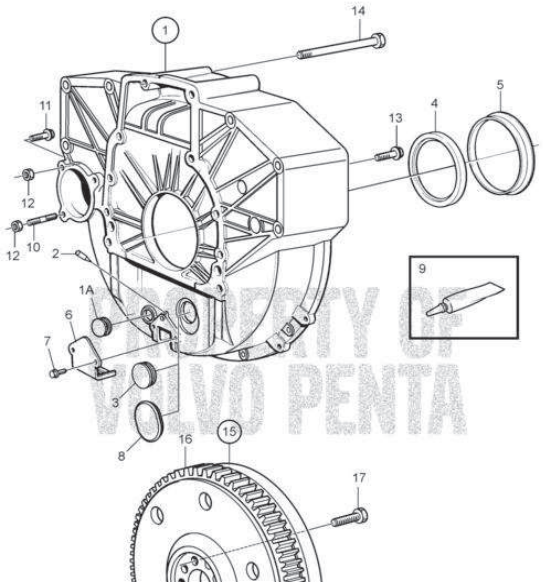
Aceite hidraúlico	*Excelente*	*Excelente*	---
Kerosen	*Excelente*	*Excelente*	*Deficiente*
Lubricantes EP	*Buena*	*Excelente*	*Deficiente*
Propiedades Mecánicas			
Dureza (Shore A)	*70/80/90*	*70/80*	*75/85*
Deformación por compresión	*Buena*	media	*Buena*
Trabajo seco	*Buena*	*Regular*	*Deficiente*
Expansión	*Bajo*	*Bajo*	media
Resistencia a abrasión	*Buena*	*Media*	*Deficiente*

Tabla 4.4.1.1.2. Condiciones y propiedades de los sellos según sus elementos constituyentes.

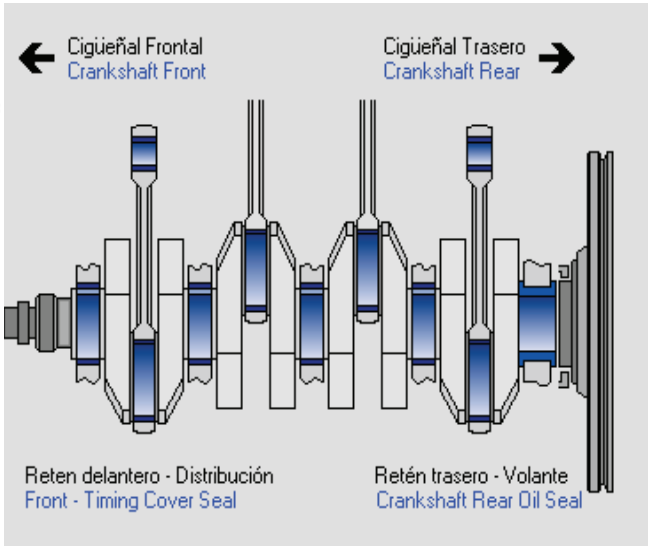
4.4.1.2. Tipos de seguros según su ubicación en el motor

4.4.1.2.1. Seguro del Cigüeñal.

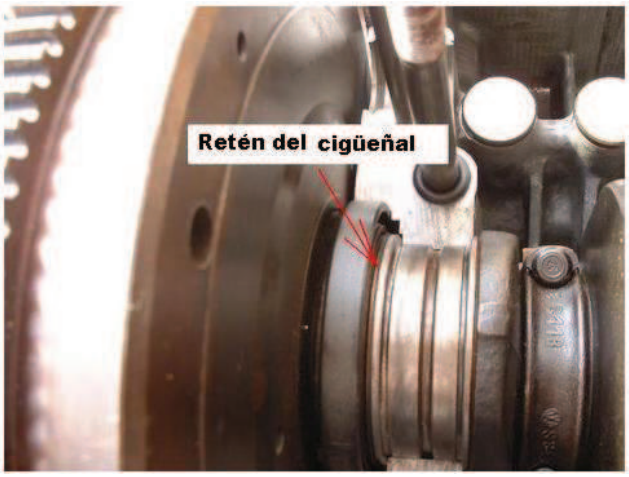
Dada la importancia del cigüeñal, las dimensiones de los retenes deben cumplir siempre los requerimientos de dimensiones y material. Este aspecto no debe ser considerado influyente si el aceite lubricante es el especificado por el fabricante, caso contrario se corre el riesgo de un ENVEJECIMIENTO del material por acción de los aditivos del aceite.



a)



b)



c)

Figura 4.4.1.2.1.1. Elementos del extremo del cigüeñal, observándose el reten del cigüeñal con el número 4 (a) [62]; y la distribución de los retenes delantero y trasero del cigüeñal (b)[63]; retén trasero del cigüeñal, junto al volante de inercia (c)[64]

4.4.1.2.2. Seguro de Válvulas.

Cuando se analizan los elementos lubricados, las válvulas que se encuentran alojadas en la culata del motor también se encuentran lubricadas. Ahora bien, como las válvulas deben estar alojadas en las guías de válvulas, es necesario recordar que dichas guías están fabricadas generalmente de bronce o materiales más blandos que el material de las válvulas.

Las guías generalmente adquieren una forma cónica en la parte superior como consecuencia del desgaste de las mismas, lo que está determinado por la necesidad de evitar la acumulación de aceite, que puede infiltrarse en los ductos de admisión o de escape, además de esta forma el consumo de aceite a través de las guías se evita con el uso de unos cauchos o retenes llamados sellos, dichos sellos se colocan en la parte superior de la guía.

[62] http://www.marinepartseurope.com/PentaPictures500/23378.jpg

[63] http://www.reycomotor.com/Reyco/Dana/Oilseal1.htm

[64] http://www.solokombis.com.ar/Articulos%20Tecnicos/Articulos%20Tecnicos%2002/91m4nl.jpg

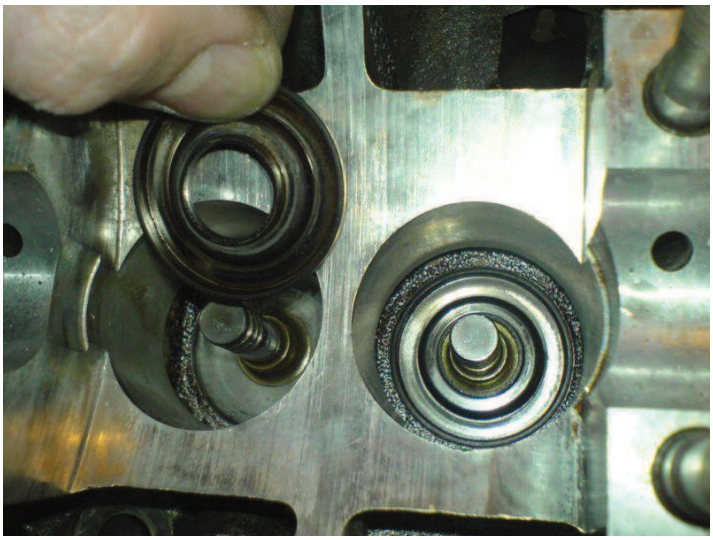


Figura 4.4.1.2.2.1.- Localización de los retenes de aceite de las válvulas[65]

4.4.1.2.3. Seguro del Árbol de Levas.

El árbol de levas al igual que otros elementos que se encuentran en movimiento dentro del motor, utiliza el movimiento del cigüeñal para controlar la apertura o cierre de las válvulas de admisión de aire o escape de gases de combustión. Ahora bien, este seguro es necesario porque en el extremo del eje que se encontrará conectado por otros dispositivos al cigüeñal, requiere de lubricación, la misma que proviene del sistema de lubricación, pero que no debe pasar al resto del árbol de levas. Entonces, el sello ayuda a que solamente el extremo que requiere de lubricación la tenga.

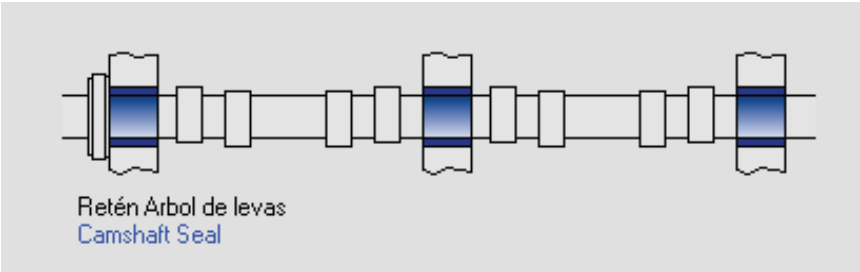
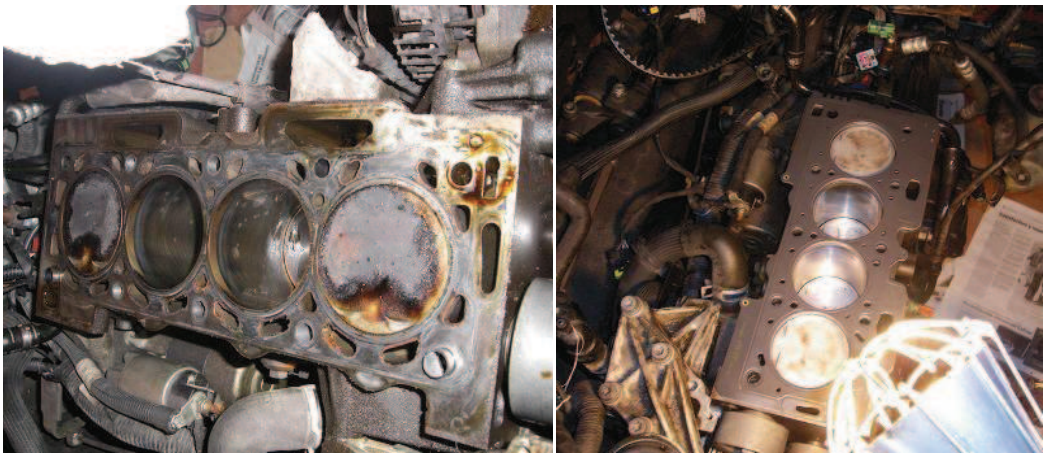


Figura 4.4.1.2.3.1.- ubicación del sello del árbol de levas

4.4.1.3. Junta Culata-Bloque.

[65] http://img301.imageshack.us/f/16wr9.jpg/

Estos elementos deben ser montados correctamente y verificando previamente que las superficies a hermetizar estén en buenas condiciones tanto de planitud, rugosidad como deterioro, para recibir la junta. Todas estas verificaciones previas deben ser realizadas ya que entre dichas superficies se debrá colocar un empaque de MLS (multi layer steel- laminillas múltiples de acero), y por lo mismo, se deberá asegurar el contacto a lo largo de toda la superficie del empaque con las superficies de la culata como del bloque.



a) b)

Figura 4.4.1.3.1.- Observación de un bloque antes (a) y después (b) de una limpieza y comprobación de medidas[66]

4.4.1.4. Anillos Desgastados de los Pistones.

Cuando se habla de consumo de aceite y se encuentra relacionado con los anillos o aros del pistón, es necesario mencionar primeramente que las condiciones de trabajo de estos elementos son extremadamente duras.

El aceite tiene como misión extraer calor del pistón hacia el aceite que lubrica y refrigera su parte interna a la vez que lubrica al bulón, de allí que se encuentre presente en la superficie interna de las camisas. Pero su función no termina allí, ya que el aceite limpia las partículas residuo de la combustión (generalmente carbonilla).

Ahora bien, como el aceite no puede estar simplemente en las paredes de las camisas, es necesario que el mismo sea continuamente removido. Esta es la

[66] http://img204.imageshack.us/i/imgp0351saxoborja.jpg/

función de los anillos, remover el aceite de las paredes. Pero si el contacto entre la camisa y el anillo se ve obstruido por la presencia de estas partículas sólidas duras residuo de la combustión, se corre el riesgo que las paredes sean desgastadas porque se incrementa excesivamente la cantidad y presión del aceite en la camisa, aumentando el juego entre los aros y la camisa.
Por ello, se debe controlar la cantidad de partículas disueltas en el aceite con un análisis y la cantidad de aceite consumido, para detectar un posible problema en los aros del pistón.

4.4.1.5. Refrigeración de los Pistones.

Otro problema que aparece como consecuencia de la presencia de partículas residuo de la combustión está en la disminución de la refrigeración de los pistones. Como se mencionó anteriormente, al aumentar el consumo de aceite, no es que el lubricante está presente en mayores cantidades para extraer calor, sino que éste se ve oxidado por la combustión con el oxigeno, alterando su funcionamiento, en perjuicio de la refrigeración.

4.4.1.6. Bruñido de las Camisas.

El bruñido de las camisas afecta al consumo, ya que generalmente produce partículas abrasivas, que si no son retiradas antes de la puesta en funcionamiento pueden causar desgaste anillo-camisas principalmente.
Es por ello que algunas consideraciones importantes a tomar en cuenta con el bruñido son:

Problema Común	Causas
La rugosidad	• Aparece por un inadecuado acabado superficial. • Debido a la orientación de las rayas de bruñido.

4.4.1.7. Problemas presentes en el Montaje.

Luego de haberse realizado un mantenimiento del equipo y sus partes, hay que montarlas nuevamente. Esta operación debe realizarse bajo ciertas consideraciones propias de algunos elementos móviles como son las bielas, pistones, camisas, entre los más importantes.

En la próxima tabla se detallarán como aparecen problemas directamente relacionados con el consumo de aceite, ocasionados por un mal montaje de ciertos elementos.

Elemento a montar	**Defecto(s) ocasionado(s)**	**Consecuencia(s)**	**Elemento(s) afectado(s)**
camisa	Camisa deformada	Bajo rendimiento del motor, y excesivo desgaste.	• Aros del pistón • Gripaje del pistón
biela	Biela deformada	• Mal funcionamiento de los aros • Variación del movimiento relativo	• Anillos del pistón • Pistón
	Mala alineación de la biela		
Culata y empaque	Deformación en empaque o culata	Deformación y/o desgaste excesivo en camisas. mal acople de los aros	• Camisas
	Espesor del empaque	Golpeo del pistón con la culata o las válvulas, transmitiendo una vibración a los aros y alterando el juego de estos con las camisas.	• Pistones • Camisas • Culata • Válvulas

Tabla 4.4.1.7.1. Resumen de los problemas y zonas que evidencian consumo de aceite

4.5. Diagnóstico de problemas relacionados con la Sobrealimentación.

El término “sobrealimentación” en los motores se encuentra directamente relacionado con el empleo de un elemento que aumente la cantidad de aire con la cual habrá de trabajar el motor de combustión a diesel. Dicho elemento es de vital importancia dentro de los actuales motores a diesel, ya que el mismo garantiza un mayor rendimiento del motor, ya que además del empleo de un mayor volumen de aire, la energía necesaria para que funcione el mecanismo de cargado adicional emplea como energía motriz a los mismos productos de la combustión o gases de escape.

Por ello, es necesario analizar las formas complementarias que puede tener un motor de combustión para garantizar una mayor aspiración de aire. Dicho aumento en el volumen de aspiración de aire puede ser obtenida de:

- Empleando un compresor de aire.
- Empleando un turbocargador.

Estos dispositivos garantizarán un mayor rendimiento del motor, pero presentarán como principal inconveniente el desgaste propio al que se encuentran sometidos dichos equipos externos al motor, pero que trabajan en codependencia con el mismo, ya que de el motor obtienen la energía suficiente para funcionar, y la lubricación así como la refrigeración del motor también es correspondida entre los equipos de sobrealimentación y el motor. Por ello, se analizará a cada uno de estos dos equipos complementarios para el funcionamiento del motor y sus principales fallas relacionadas con la lubricación del motor.

4.5.1. Compresor de Aire.

Los compresores de aire son ampliamente utilizados en los motores por ser una fuente de potencia segura, confiable y conveniente, además que ayudan a aumentar la presión del aire mediante la reducción del volumen de aire aspirado. En los sistemas sobrealimentados es necesario el empleo de los mismos para garantizar una entrada de aire lo suficientemente elevada para tener las relaciones de compresión elevadas que caracterizan a los motores a diesel,

Dentro de los motores que se están analizando existen dos tipos de compresores muy utilizados: los compresores reciprocantes de pistón y los compresores rotatorios dobles de tornillo.

Figura 4.5.1.1.- tipos de compresores

4.5.1.1. Compresor de Aire Helicoidal.67

Este tipo de compresor es generalmente usado en los motores a diesel por sus prestaciones, ya que estos compresores están diseñados para manipular grandes volúmenes de aire, y su accionamiento está dado por el mismo motor de combustión interna por medio de correas o engranajes.

[67] TUTORIAL DE LUBRICACIÓN DE SHELL, Módulo Ocho, secciones I, II y III.

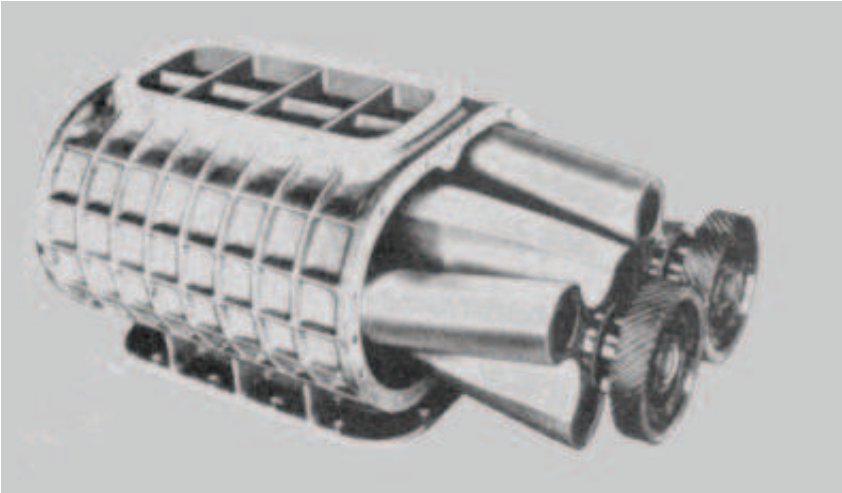


Figura 4.5.1.1.1. Compresor helicoidal típico para sobrealimentación del motor a diesel

Ahora bien, es importante entender como es su estructura. Básicamente están constituidos por dos rotores lobulados construidos con gran precisión que giran sincronizados a través de un engranaje interno. Estos rotores entran en el cuerpo con mucha exactitud de manera que al girar atrapan el aire del exterior por un lado y lo transportan al lado de salida forzado por los lóbulos de los rotores. La forma helicoidal de los lóbulos, hace que la transferencia de aire del lado de la succión al lado de descarga se haga de manera continua y no por impulsos como sucedería si los lóbulos fueran rectos.[68]

La forma de trabajar de estos compresores rotatorios de tornillo consiste básicamente en dos tornillos o rotores, un rotor macho, que tiene cuatro lóbulos de superficie convexa, y un rotor hembra que tiene seis lóbulos de superficie cóncava, que encajan entre sí uno de los cuales tiene una superficie convexa mientras que el otro tiene una superficie cóncava. Los tornillos rotan en el interior de una carcasa con orificios de entrada y salida para el aire en los extremos opuestos.

[68] http://sabelotodo.org/automovil/sobrealimentacion.html

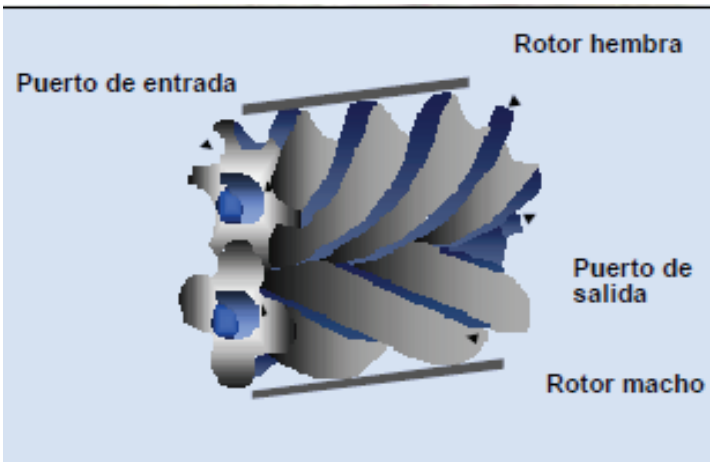


Figura 4.5.1.1.2. Compresor rotatorio de tornillo

La principal ventaja que presenta este tipo de compresor radica en que al no existir válvulas ni fuerzas mecánicas desbalanceadas, los compresores de tornillo pueden trabajar a altas velocidades y producir volúmenes grandes en equipos relativamente pequeños.

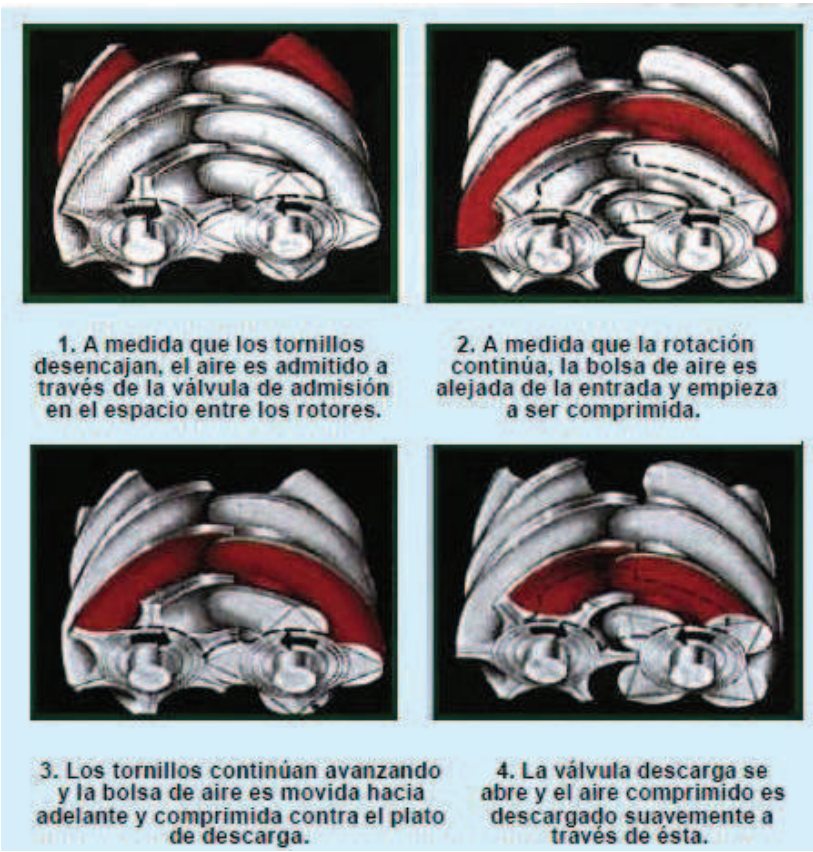


Figura 4.5.1.1.3. Etapas del proceso de compresión de un compresor de tornillos.

Ahora bien, estos compresores tienen un circuito de lubricación específico donde el aceite es inyectado a la cámara de compresión a través de un conducto central. Aquí el aceite no solo que tiene la función de refrigerante del aire, sino que sirve de sello entre el aire y los tornillos y evita el contacto entre los tornillos. Este mismo aceite es bombeado a los rodamientos para lubricarlos. En la siguiente Figura se puede observar el circuito de lubricación básico para un compresor de tornillos.

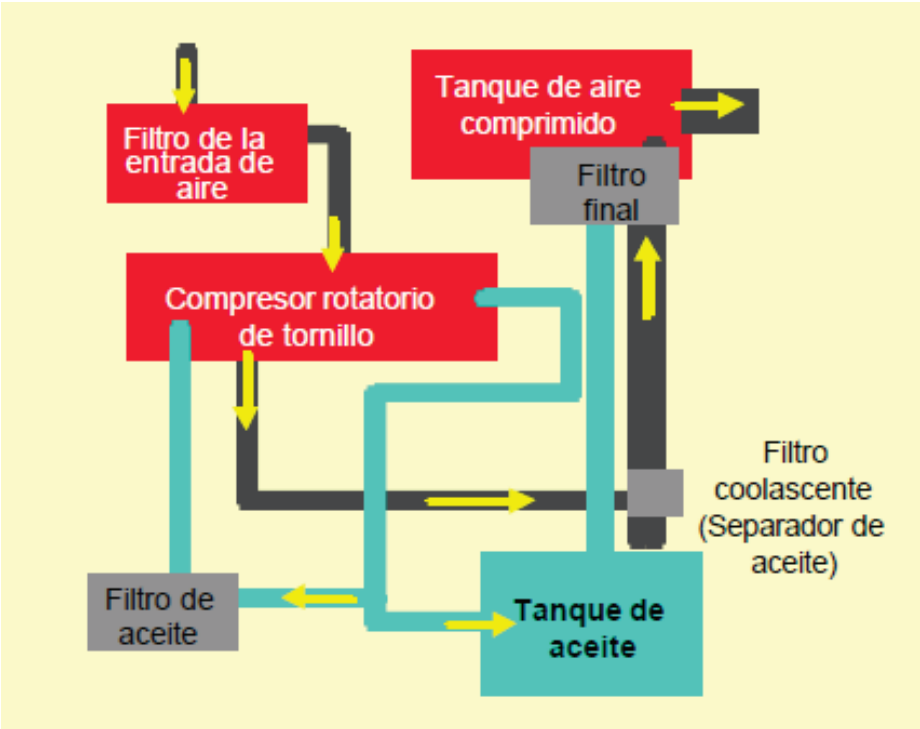


Figura 4.5.1.1.4. Circuito de lubricación de un compresor de tornillos.

Falta mencionar que el aire esta combinado con el aceite, por lo que una vez que ha sido comprimida la mezcla aire-aceite, la misma es enviada al tanque de aire comprimido. Antes de ingresar al tanque de aire comprimido se encuentra un separador de aceite que remueve la mayor parte del aceite, pero por seguridad a la salida del tanque de aire comprimido se encuentra ubicado un filtro adicional para recolectar cualquier presencia de aceite por más mínima que esta pueda ser.

4.5.1.2. Compresor de Aire Reciprocante.[69]

Este tipo de compresor es también utilizado en los equipos como parte del sistema de sobrealimentación. Su funcionamiento es semejante al funcionamiento de una bomba donde el aire es comprimido por un pistón que se mueve dentro de un cilindro. El pistón es empujado, por una biela conectora y un cigüeñal, el cual es movido por el motor a diesel. El flujo de aire que entra y sale de la cámara es normalmente controlado por válvulas actuadoras que se abren y cierran por diferencia de presión en ambos lados de ellas.

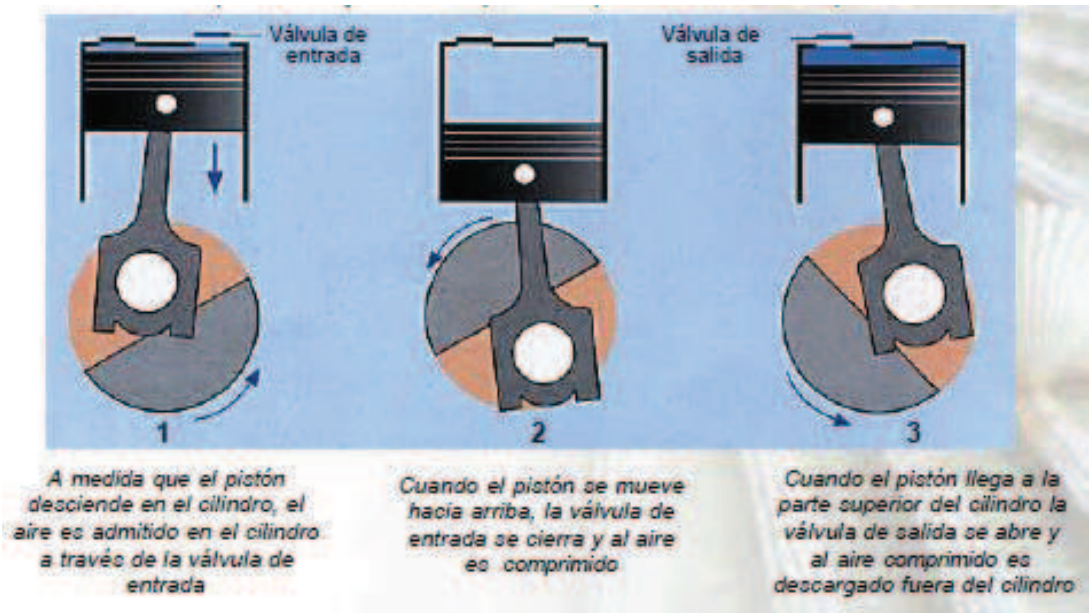


Figura 4.5.1.2.1.- etapas de trabajo de un compresor reciprocante.

Dependiendo de la presión que se desee alcanzar, el compresor puede ser de de acción simple o de varias etapas. Ahora bien, es necesario mencionar que mientras mayor sea el número de etapas, mayores requerimientos de enfriamiento y lubricación habrá de tener, todo esto debido a la disposición de los cilindros y de los pistones.

Pero este sistema de compresión no estaría completamente analizado sino se mencionara los diferentes componentes que lo complementan. El aire que entra al compresor debe ser:

[69] TUTORIAL DE LUBRICACIÓN DE SHELL, Módulo Ocho, secciones I, II y III.

a) previamente filtrado: y para esta operación se tienen diversos tipos de filtros como son los filtros de tela secos o aceitados, baños de aceite o separadores centrífugos.

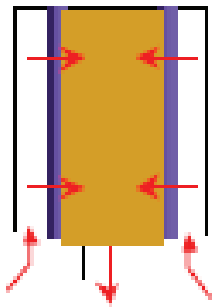
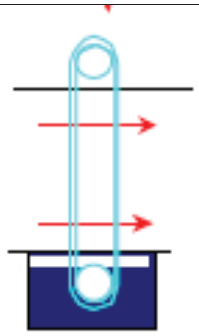
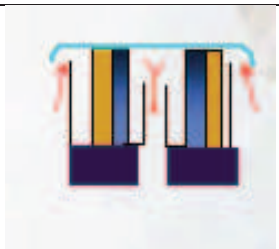
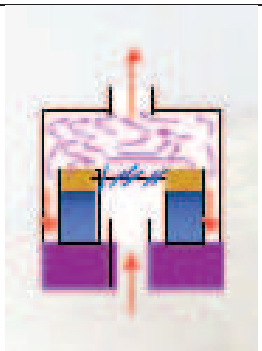
Tipo de filtrado	Características	Esquema del filtrado
Filtración seca	El aire pasa a través de un medio seco	
Impregnación viscosa	Se fuerza al aire a pasar a través de superficies aceitadas a las cuales se adhiere el polvo	
Filtrado por baño de aceite	El aire pasa a través de una capa de aceite, el cual retiene al polvo.	
Separador centrífugo	Se fuerza al aire a girar a elevadas velocidades, consiguiendo así que las partículas suspendidas en el aire sean expulsadas por centrifugación.	

Figura 4.5.1.2.2. Tipos de filtración para compresores reciprocantes.

b) Enfriado: esta etapa es necesaria de ser tomada en cuenta, ya que en el proceso de compresión el aire aumenta su temperatura, y la elevación podría llegar a dañar al equipo, por ello el enfriamiento del aceite se dará por agua o aceite. Este enfriamiento es necesario además para controlar la humedad con la cual entra el aire a la cámara de combustión, ya que la presencia de agua puede causar herrumbre en los depósitos, líneas de aire y equipos.
c) Separadores: esta última etapa es necesaria para eliminar completamente la presencia de agua y aceite del aire comprimido, ya que el aire debe ser enviado a la cámara de combustión lo más seco posible.

4.5.1.3. Fallas en los compresores.

Como se ha podido observar, los elementos móviles que actúan en la compresión de aire son muy similares a los elementos móviles de los motores, diferenciándose en el trabajo que realizan los motores y los compresores. Por lo tanto, las fallas que se han registrado para elementos móviles como pistones, anillos de pistón, bulones, cilindros, cojinetes y biela, son aplicables a los elementos semejantes que se encuentran en el compresor.

4.5.2. Turbocargadores[70]

Los turbocargadores o turbocompresores tienen ese nombre porque son equipos que se encargan de emplear los mismos recursos del motor para aumentar la eficiencia del motor. Cuando se menciona que “emplean los mismos recursos del motor”, es la forma en que se explica que el accionamiento de este equipo es consecuencia del proceso de combustión del diesel, ya que este dispositivo se encuentra estructuralmente compuesto de una sección que aprovecha la energía almacenada en los gases de escape para producir un trabajo en la otra sección del turbocargador.

[70] http://sabelotodo.org/automovil/sobrealimentacion.html

Las secciones que posee un turbocargador son por lo tanto una sección de compresión que es la encargada de cómo su nombre lo dice comprimir al aire, mientras que la sección adyacente es la sección de generación de la energía para el compresor, la misma que está compuesta de una turbina que es accionada por los gases de escape. Por lo tanto, los gases de escape accionan a la turbina, para que esta produzca energía suficiente para que el compresor pueda realizar su trabajo. La turbina como el compresor comparten un mismo eje.

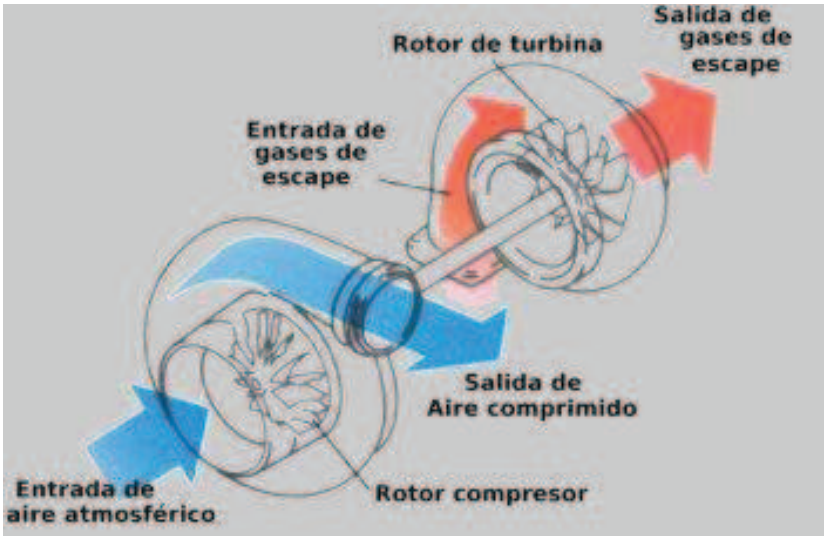


Figura 4.5.2.1.- funcionamiento básico de un turbocompresor.

En principio este método es más eficiente que el empleo de compresores, ya que no se alimenta de la energía mecánica del motor si no que aprovecha parte de la energía remanente de los gases de escape.

Los problemas del turbocompresor están directamente relacionados a las altas temperaturas de los gases de escape y las altas velocidades de rotación de estos aparatos. Como medida de seguridad para este equipo se ha diseñado el uso de una válvula limitadora de la velocidad de giro. Esta válvula de diafragma recibe la presión desde el conducto de admisión, por lo que si la velocidad de la turbina crece mucho, la presión en el conducto de admisión se hace alta, provocando que el diafragma se mueva y que levante una válvula que deriva parte de los gases de escape a la salida sin pasar por la turbina. De esta forma se logran dos cosas; primero se mantiene la presión en el conducto de

admisión al valor máximo óptimo y segundo se impide que la velocidad de giro llegue a valores peligrosos para el turbo-compresor.

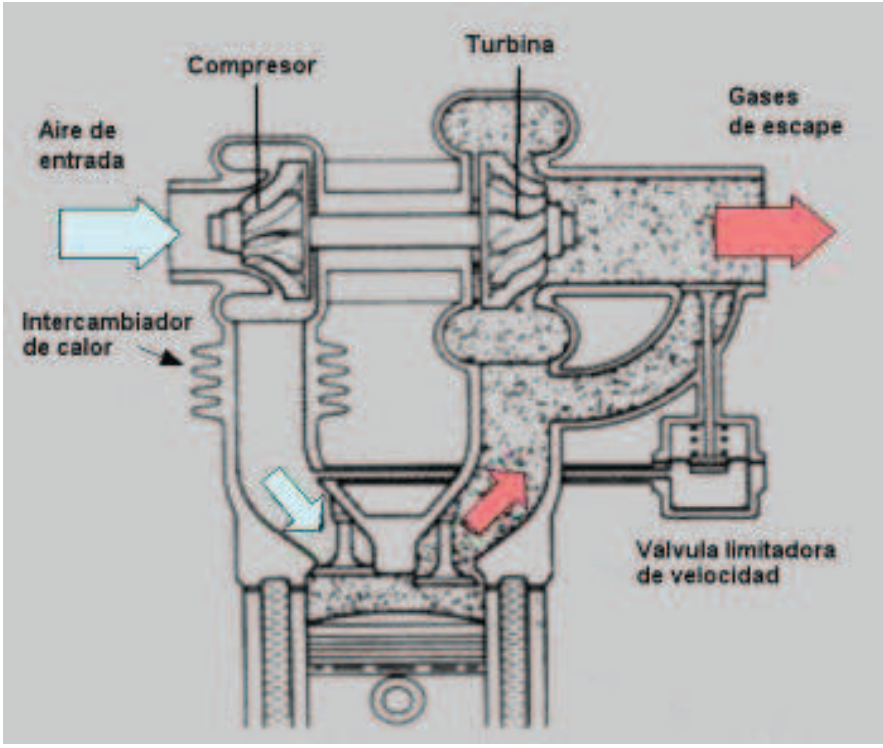


Figura 4.5.2.2.- esquema del proceso realizado por el turbocompresor y la ubicación del dispositivo de seguridad del sistema

4.5.2.1. Fallas en los turbocargadores[71].

Las fallas de los turbocargadores o turbocompresores caen dentro de las siguientes categorías:

1. Falta de aceite
2. Aceite contaminado
3. Entrada de objetos extraños
4. Temperatura de los gases de escape elevada
5. Material o mano de obra defectuosa

4.5.2.1.1. Falta de aceite

[71] Mack Trucks, ANÁLISIS DE FALLA DE TURBOCARGADORES.

Este tipo de falla será quizá la más peligrosa y dañina de todas las fallas que pueden acaecer sobre el turbocargador. Se menciona que el problema es la falta de lubricación, pero no se considera los fallos secundarios derivados de la lubricación. Como se sabe, la lubricación que recibe el turbocargador proviene del mismo aceite que lubrica al motor, pero debido a su ubicación en la parte alta del motor, la lubricación puede ser difícil sin una adecuada presión de aceite. Sin embargo, como no se conoce bien el circuito de lubricación del turbocargador, se suele hablar de problemas asociados a la lubricación cuando otros elementos muestran síntomas de falla, como suele suceder con el compresor, la turbina o incluso el mismo eje que los une.

Por lo tanto, cuando el turbocargador empiece a presentar fallas en funcionamiento, es necesario considerar bien al circuito de circulación, y de ser posible comprobar que exista lubricación en los cojinetes, porque si estos elementos fallan y no son atendidos eficaz y prontamente las consecuencias se extenderán a los demás elementos del turbocompresor.

4.5.2.1.2. Aceite contaminado

Como se ha mencionado, la lubricación del sistema corre por cuenta del aceite el motor y de la eficiencia de su sistema de bombeo desde el cárter hasta los diferentes cojinetes del turbocargador. Ahora bien, este bombeo aunque sea eficaz trae consigo un recorrido lo suficientemente largo como para poder llevar partículas extrañas hasta los cojinetes a lubricar. Otra forma de contaminación del aceite que habrá de lubricar a los cojinetes puede provenir de fallas en los seguros del turbo, ya que la falta de lubricación en los cojinetes conlleva como se había dicho problemas en elementos secundarios como es el eje, el cual se calentará y al no poder eliminarse dicho calor, este se transferirá a elementos de seguridad como los sellos. Las impurezas por lo tanto podrán provenir del aire, y causar con ello graves incrustaciones en elementos de acabados superficiales finísimos como el eje del turbocargador, provocando a largo plazo la falla del elemento.

4.5.2.1.3. Entrada de objetos extraños

Esta causa, aunque no es habitual, suele apreciarse de manera precisa cuando las aletas de la turbina y las aletas de la rueda compresora muestran desgaste. Los objetos extraños tienen dos únicas vías de ingreso que son el conducto de los gases de escape y el conducto de admisión de aire hacia el compresor. Los daños ocasionados serán fácilmente observables como se ha mencionado en las aletas, pero las causas no serán tan fáciles de ser detectadas, sobre todo para las aletas de la turbina.

Cuando se habla de falla de la rueda compresora es fácil identificar cuál material u objeto extraño ha sido el causante, porque muchas veces no alcanzan a ingresar a la cámara de combustión, quedando alojados en los conductos del sistema de admisión de aire. Ahora bien, si los objetos extraños logran ingresar a la cámara de combustión, se corre el riesgo de serios fallos en pistones, camisas, anillos y otros elementos directamente relacionados con el proceso de combustión. Aquí, dependiendo de la naturaleza del objeto, este se podrá reducir a cenizas o podrá mantener su forma.

En casos extremos, si el objeto extraño no fuera destruido y peor aún haya sido causante de falla en el motor, el mismo podría ser causante de una falla en la turbina si es despedido con los gases de escape. Así que, quizá el mejor consejo que se puede manejar para los sistemas turbocargados sea controlar que el sistema de admisión de aire sea lo más eficiente posible, y que los filtros sean reemplazados regularmente.

4.5.2.1.4. Temperatura de los gases de escape elevada

Este problema es más bien causado por defectos de otros sistemas del motor. Se menciona este problema porque se ha mencionado que el funcionamiento del turbocargador es función de los gases de escape. Como los mismos son enviados directamente a la turbina, se corre el riesgo que la temperatura a la cual llegan a este dispositivo sea elevada, y aunque no afectará directamente

al rodete de la turbina, si afectará a otras sustancias y elementos que funcionan de manera complementaria como es la lubricación, los sellos e incluso siendo la causa de un próximo desbalanceo del rodete, o incluso haciendo que los conductos para el traslado de los gases de escape de la cámara de combustión hacia la turbina se vean seriamente afectados llegando incluso a producir fisuras de dichos conductos o en la zona de unión entre el múltiple de escape y la entrada de la turbina.

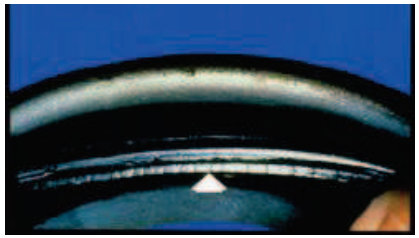
4.5.2.1.5. Material o mano de obra defectuosa

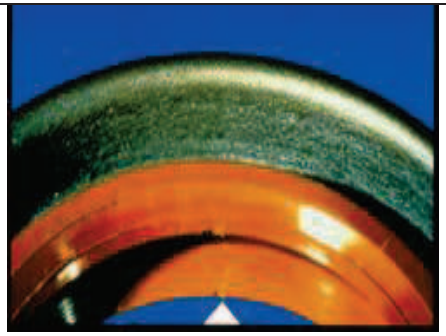
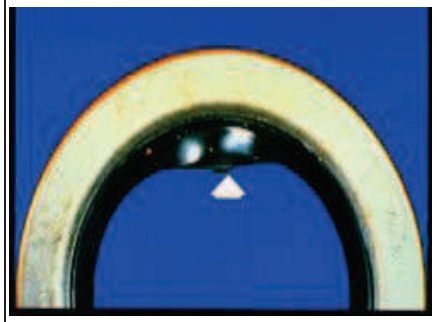
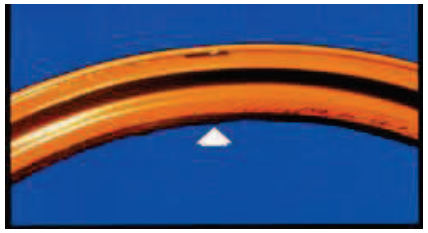
Si luego de un análisis de falla del turbocargador no se ha llegado a detectar fallas causadas por objetos extraños, falta de lubricación e incluso por elevadas temperaturas, se considera necesario investigar la calidad del material así como la calidad del montaje realizado sea previamente por el fabricante o luego de un proceso de reparación por mantenimiento. Conocer o deducir que el elemento ha fallado por la calidad del material es difícil de ser detectado, al menos que se encuentren indicios en el turbocargador y sus partes que lleven a pensar que el material tenía defectos de fabricación o que posterior a un mantenimiento, alguna parte sufrió identaciones o marcas que con el uso pudieron llegar a convertirse en concentradores de esfuerzos.

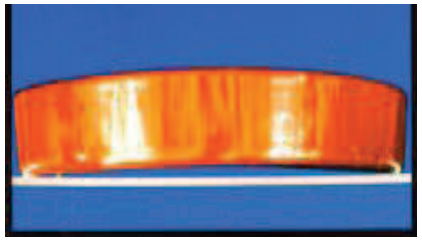
En cuanto a la calidad del montaje, esta causa es fácil de ser determinada porque la misma será palpable a las pocas horas de funcionamiento del equipo. Esta causa de falla se la menciona, porque en caso de suceder una falla los elementos como son los rodetes de la turbina y del compresor, el eje y los cojinetes habrán de causar que las concentraciones tanto de materiales de desgaste como de elementos extraños (sobre todo de aquellos provenientes del medio ambiente) aumenten en los análisis de aceite lubricante.

4.6. Tablas de los principales problemas mecánicos de los elementos móviles del motor diesel.

a) Fallas en Seguros

Problemas comunes	Causas	Figura de la falla
Endurecimiento de la superficie de contacto sellante	• Temperatura de funcionamiento elevada • Falta de lubricación hidrodinámica o límite • Incompatibilidad con el fluido sellante	
La superficie de contacto se encuentra frágil o agrietada	• La temperatura de funcionamiento del lubricante podría exceder los límites recomendados para el material del elemento sellante. • verificar que el retén tenga el tamaño correcto. Un ajuste excesivo sobre el eje puede producir recalentamiento. • Revise si el lubricante es adecuado para el tipo de retén usado.	

La superficie de contacto presenta una fisura o ralladura	• Descuido al almacenar o manipular, o no se usaron las herramientas adecuadas para su ensamblaje. • El eje no fue limpiado ni preparado. • El elemento sellante no fue protegido al instalarlo sobre estrías, ranuras, etc. (Cuidar Que Las Dimensiones De La Fisura No Importan, La Simple Existencia Es Ya Un Problema)	
Superficie de contacto y sello se encuentra soplada (ha cambiado su disposición original)	• Revise si hay exceso de presión acumulada o si se encuentran obstruidos los orificios de ventilación. Cuando se pinta, los orificios de ventilación deben ser cubiertos para evitar su obstrucción. • Asegúrese de que el nivel del lubricante es el correcto. El recalentamiento del lubricante produce expansión y la presión puede revertir el labio sellante.	
La superficie de contacto con el eje se encuentra desgastada (apariencia de haber sido carcomida)	• El acabado del eje puede ser muy áspero en el punto de contacto con la superficie del retén. • El retén no fue debidamente lubricado antes de la instalación. • Revise si la lubricación ha sido adecuada para el tipo de retén usado.	

	• Asegúrese de que el retén tenga el tamaño adecuado. Un ajuste excesivo sobre el eje puede ocasionar recalentamiento o desgaste rápido. • La ovalización o excentricidad del eje ha excedido los límites recomendados.	(Asegúrese de que el retén asiente cerca del rodamiento y revise si éste o las estrías denotan flojedad)
Desgaste de un solo lado del retén (lado externo o lado interno)	• Usualmente, debido a la desalineación del eje con respecto al alojamiento. Esto ocasiona el desgaste rápido en un lugar del labio sellante.	
Se han deformado las piezas metálicas de la caja del retén de aceite	• El diámetro externo del retén puede ser demasiado grande para el alojamiento. El diámetro interno no debe variar en más de 0,0254mm de lo recomendado para el tamaño del retén usado. • Puede haber exceso de deformación circunferencial en el alojamiento. • Si el diámetro interno y los límites de deformación circunferencial están correctos, busque evidencias de descuido en la manipulación o de uso de herramientas de instalación inadecuadas.	

b) Problemas en anillos y pistones.[72]

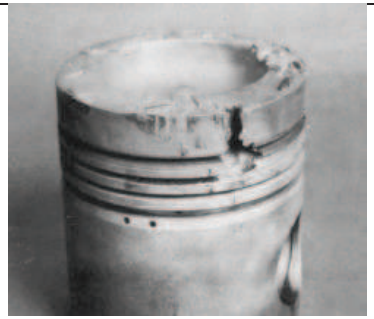
Problemas comunes[73]	**Causas**	**Figura de la falla**
Fractura de la cabeza del pistón y del primer anillo	Cuando existe un sobrecalentamiento .	
Daños en los anillos	Los anillos no son los adecuados, estando los mismos apretados en sus ranuras.	
Daños y deformación de la cabeza del pistón	Elevada temperatura de la mezcla en la cámara de combustión.	
Pérdida de la tensión en los anillos		
Desgaste en la falda del pistón (presencia de un arrastre severo)		

[72] http://www.itacr.com/analisis_averias.html

[73] http://www.itacr.com/analisis_averias.html

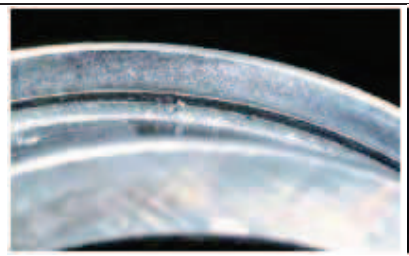
Rotura de la falda	Excesivo juego entre la camisa y el pistón.	
Suciedad entre el pistón y la camisa	Presencia de partículas abrasivas, debido a las rayaduras en la falda, sin presencia de deformaciones asociadas a elevadas temperatura	
Rayado de la falda y desgaste de la misma (en toda la superficie de la falda)	• Juego inadecuado entre el pistón y la camisa. • Elevadas temperaturas de funcionamiento del motor, o en la cámara de combustión. • Combustión anormal • Lavado del cilindro por exceso de combustible.	

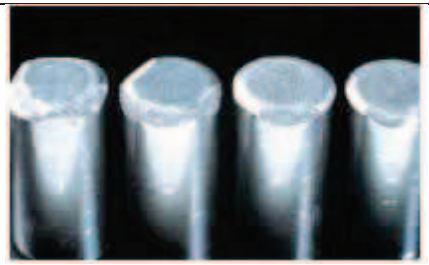
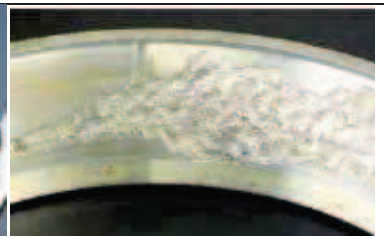
Rayado de la falda y desgaste de la misma (en uno de los costados de la superficie de la falda)	• Elevadas temperaturas de funcionamiento del motor, o en la cámara de combustión. • Arranque en seco. • Problemas en el sistema de enfriamiento del motor	
Arrastre en puntos específicos de un pistón (semejante a tener 4 esquinas)por exposición a elevadas temperaturas de trabajo	• Altas cargas del motor antes de alcanzar la temperatura de funcionamiento. • problemas en el sistema de enfriamiento como falla del termostato. • Agregado de sustancia refrigerante cuando el motor está en funcionamiento. • Falta de lubricación de elementos del pistón • Sobrecalentamiento del motor • Combustión anormal	

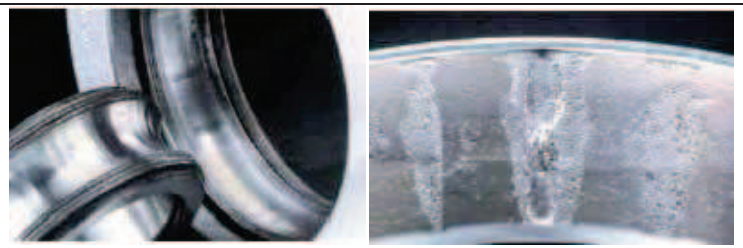
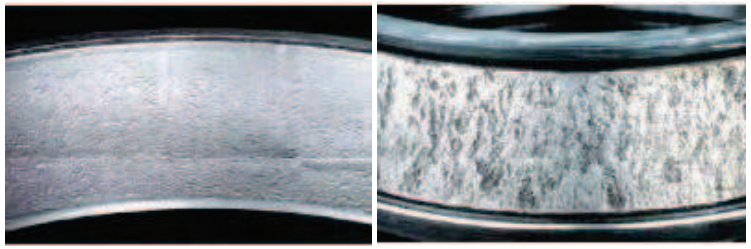
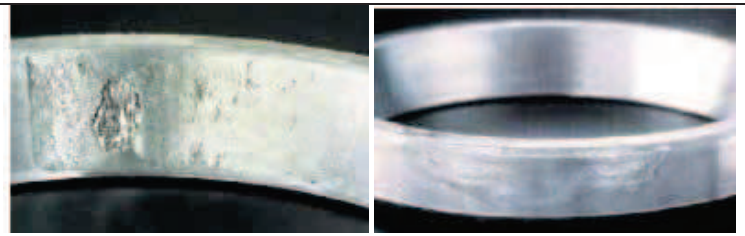
Anillos y pistón quemados	• Formación de carbón que conlleva a un atascamiento de los anillos, haciendo que el sellado entre anillo y camisa no sea el apropiado • Grado o calidad del lubricante inapropiado • Intervalos de cambio de aceite erróneos • Temperatura de funcionamiento del motor baja • Intervalos de funcionamiento del motor muy pequeños. • Problemas del sistema de enfriamiento o sobrealimentación de combustible. • Elevadas temperaturas del aceite. • Combustible inapropiado • Fuga de anticongelante en las camisas • Lubricación marginal	
Rotura de anillos y daño del pistón	• Ranuras y anillos del pistón excesivamente gastados • Sobreesfuerzo en anillos al momento del montaje • Presión de combustión excesiva • Lubricación marginal	

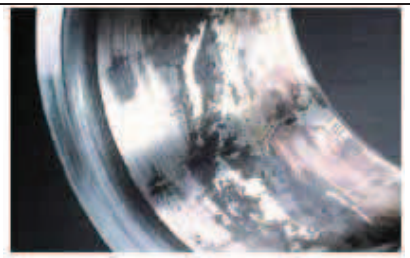
Grietas en el borde de la cavidad	• Sobrecalentamiento en la cámara de combustión • Enfriamiento de los pistones insuficiente • Retraso de la sincronización de inyección • Camisas excesivamente flojas	
Anillo retén del pasador se encuentra roto	• Las partículas que se encuentran suspendidas en el pasador habrán de comportarse como elementos abrasivos, ya que son partículas de aluminio.	

c) Fallas de rodamientos

Problemas comunes	**Causas**	**Figura de la falla**
Extremo grande de los rodillos y las pistas se encuentran gastadas y seriamente rayadas.	• Ajuste inadecuado debido a un juego reducido. • Excesiva carga axial del eje.	

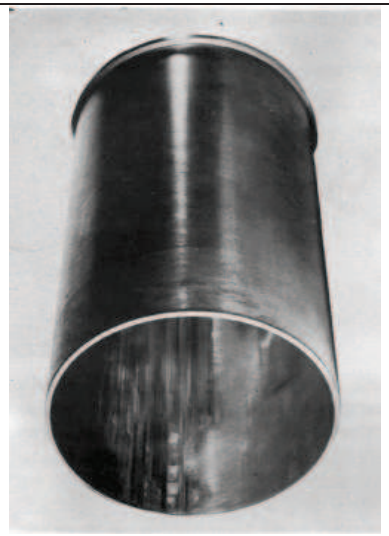
El extremo grande de los rodillos y las pistas está gastado y descascarado.	• Excesivo ajuste rodamiento-eje (generando cargas axiales)	
El extremo pequeño de los rodillos y las pistas está gastado y descascarado.	• Juego interno excesivo - ajuste flojo.	
Desgaste o descascaramiento diagonal de las pistas.	• Montaje fuera de escuadra • Asentamiento inadecuado de los aros • Eje doblado.	
Desgaste en los lados opuestos de los extremos grande y pequeño de la pista.	• Montaje fuera de escuadra (aro inclinado) • Asentamiento inadecuado de los aros • Eje doblado.	

Indentaciones en las pistas que pueden o no desencadenar en desgastes.	• Impactos durante la instalación u operación.	
Pistas y elementos rodantes ásperos y desgastados (desgaste de los rodillos y pistas por abrasión)	• Partículas duras en el lubricante.	
Desgaste localizado en las pistas por ajuste inadecuado en el eje o en el alojamiento	• Aro exterior mal soportado • Alojamiento deforme.	
Fractura de la pista interna del rodamiento (ocurre durante la instalación o en funcionamiento)	Apriete excesivo.	

Tallado y/o pulido del diámetro interior o exterior	Interferencia insuficiente en el eje o alojamiento	
Alisamiento de la pista externa o interna	Película de aceite demasiado delgada para separar los elementos rodantes y las pistas.	
Cambio de coloración de los elementos rodantes y/o pistas	Sobrecalentamiento de los elementos rodantes o las pistas por falta de lubricación	
Falla total del rodamiento	Lubricación inadecuada	

Corrosión entre los rodillos y las pistas que puede llegar a descascaramiento	Humedad o ataque ácido.	

d) Fallas en camisas

Problemas comunes[74]	**Causas**	**Figura de la falla**
Raspado/rallado de la camisa	• Sobrecalentamiento • Lubricación marginal • Holgura insuficiente • Acabado superficial del cilindro inapropiado • Rodaje inicial inapropiado • Oxidación del aceite	
Áreas calientes y con alta tasa de desgaste	• Holgura de la camisa y el bloque	

[74] Análisis de Falla de Pistones, MACK TRUCK

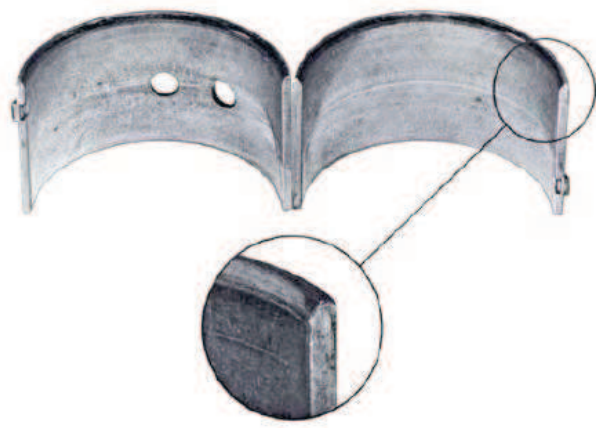
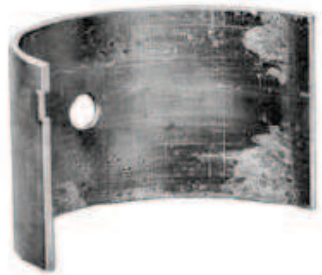
Golpeteo y cabeceo del pistón	• Consecuencia de holgura excesiva.	
Rotura de la brida o asiento de la camisa	• Mal montaje de la culata • Altura desigual de la brida sobre la superficie del bloque • Desgaste irregular del asiento de la brida • Instalación incorrecta del anillo de fuego	
Erosión por cavitación	• Sistema no presurizado	

e) Fallas en bulones de bielas

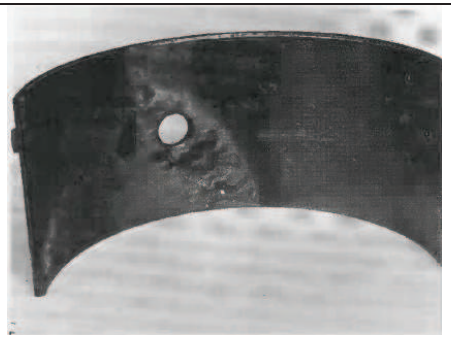
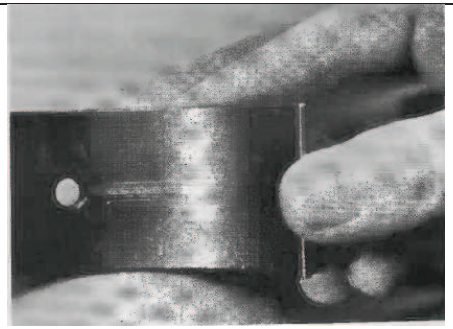
Problema común[75]	**Causas**	**Figura de la falla**
Anillo retén del pasador se encuentra roto	• Muñón de biela cónico • Juego axial del cigüeñal excesivo • Biela desalineada • Retén débil o incorrecto • Cilindro deformado • Retén instalado incorrectamente • Ranura del retén defectuosa	

[75] http://www.itacr.com/analisis_averias.html

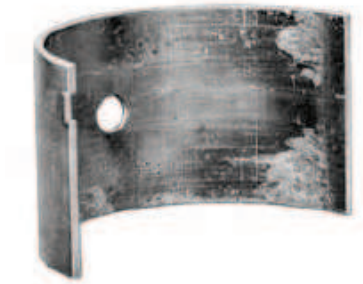
f) Fallas de los cojinetes de biela

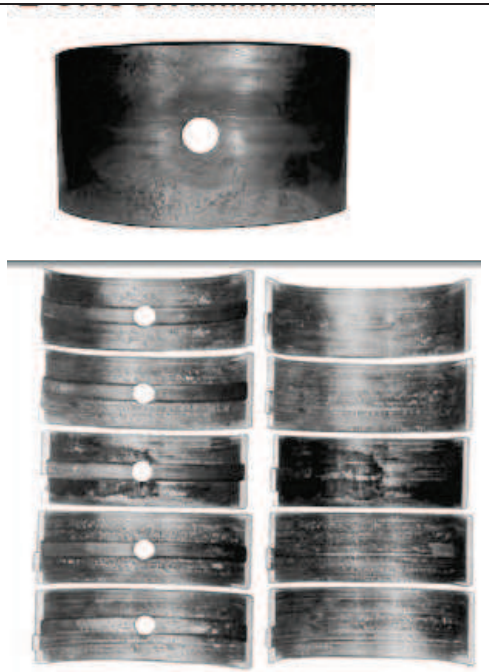
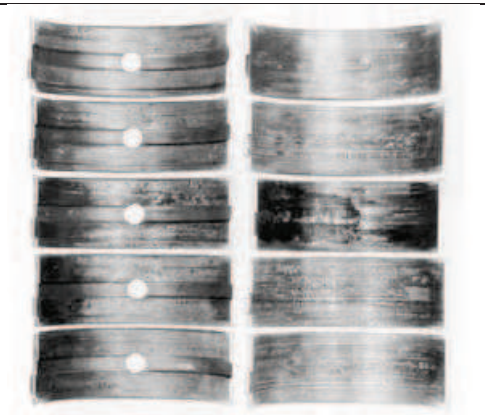
Problemas comunes[76]	**Causas**	**Figura de la falla**
Desgaste excesivo del cojinete	• Falta de lubricación • Ingreso de tierra del exterior	
Elevadas temperaturas en funcionamiento y desgaste del mismo	• Falta de lubricación • Fricción excesiva o falta de transferencia de calor	

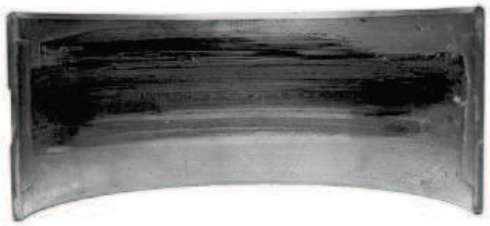
[76] ANÁLISIS DE FALLA DE LOS COJINETES DEL MOTOR, Mack Trucks

Fatiga de la superficie	• Cargas excesivas en áreas localizadas. • Demasiada holgura entre el cojinete y el cigüeñal.	
Ralladuras/raspaduras en la superficie interna del cojinete	• Óxidos, tierra, material abrasivo y/o partículas metálicas presentes en el lubricante. • Elementos desgastados del motor que han sido cubiertos por el lubricante (partículas metálicas).	
Desgaste localizado en el espaldar del cojinete	• Presencia de partículas extrañas (polvo, tierra y/o partículas metálicas) en el espaldar, creando zonas localizadas de calentamiento. • Limpieza deficiente del cojinete y su asiento luego de una operación de mantenimiento. • Falta de cuidado con respecto a las dimensiones y el desgaste del muñón.	

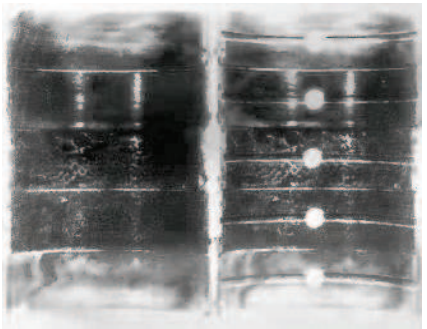
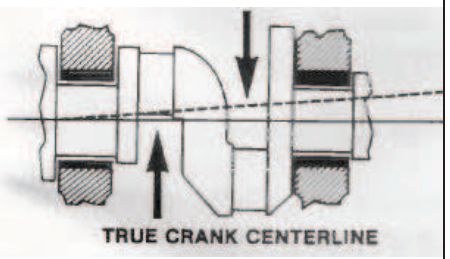
Desgaste total de la capa de revestimiento	• Holgura insuficiente causado por el cojinete, la biela o el eje • Conducto de lubricación obstruido (falla de lubricación). • Funcionamiento incorrecto de la bomba de aceite, o de la válvula de alivio. • Instalación incorrecta del cojinete, obstruyendo así los conductos de lubricación.	
Quemado de la superficie interna del cojinete	• Holgura insuficiente causado por el cojinete, la biela o el eje • Conducto de lubricación obstruido (falla de lubricación). • Funcionamiento incorrecto de la bomba de aceite, o de la válvula de alivio. • Instalación incorrecta del cojinete, obstruyendo así los conductos de lubricación.	

Pérdida del revestimiento por reacción química con el lubricante	• Cambio de aceite no se ha realizado en los intervalos de tiempo adecuados. • Degradación del aceite, causada por oxidación del mismo. • Refrigerante del motor se encuentra en el aceite. • Combustible con alto contenido de azufre. • Paso excesivo de gases de escape.	
Desgaste excesivo localizado en las zonas cercanas a la línea de separación del cojinete	• El movimiento de la biela y por ende sus cargas (de flexión principalmente) causan ensanchamiento del calibre, que no es corregible con un simple cambio de cojinete. • Error de emparejamiento de tapas de cojinete. • Apriete incorrecto de las tapas.	
Desgaste del recubrimiento del cojinete en las líneas de unión de las tapas de los cojinetes	• Demasiado apriete de las tapas del cojinete • Reducción de las tapas del cojinete, aumentando la holgura.	

Daño de toda la superficie de contacto cojinete-calibre	• Aplastamiento insuficiente entre las tapas del cojinete. • Reducción inadecuada de las caras de separación del cojinete. • Inadecuado contacto entre las tapas del cojinete debido a rebabas o materiales externos. • Calibre mayor al necesario, o tope de cojinete estirado.	
Desgaste localizado en las zonas cercanas al borde del cojinete	• Funcionamiento del motor con una biela torcida o doblada. • Excesiva presión en la cámara de combustión, que conlleva a un golpe hidráulico.	

Desgaste y deformación del cojinete de bancada	• Periodos de calentamiento y enfriamiento durante el funcionamiento del motor es la causa principal de deformación de la bancada.	

g) Fallas en el cigüeñal y en los cojinetes del cigüeñal

Problemas comunes[77]	**Causas**	**Figura de la falla**
Cigüeñal doblado	• Falla previa del motor • Caída del cigüeñal	 

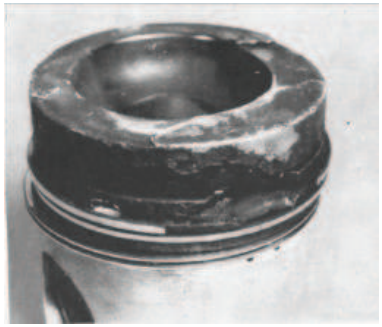
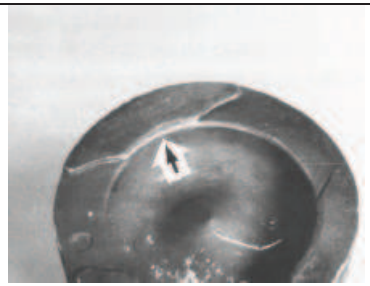
[77] ANÁLISIS DE FALLA DE LOS COJINETES DEL MOTOR, Mack Trucks

Muñón deformado	• Rectificado incorrecto del cigüeñal	
Mancha caliente	• flujo insuficiente de aceite • tierra en el espacio de aceite • eje mal acabado • cojinete desalineado	

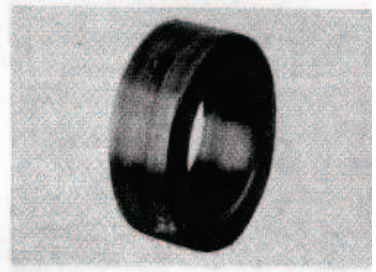
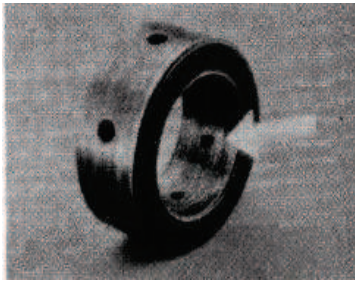
h) Fallas del pistón por sobrealimentación

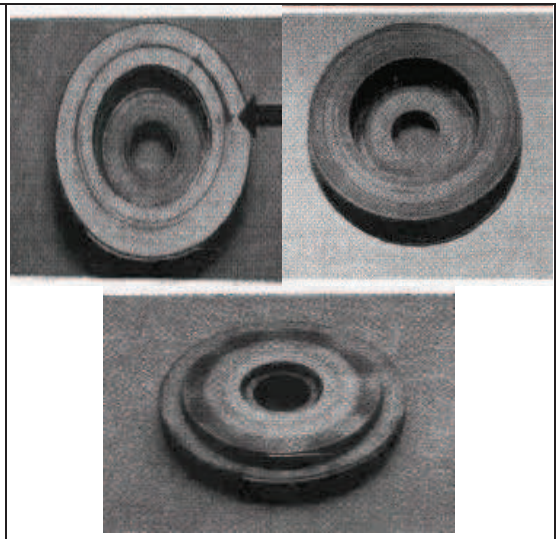
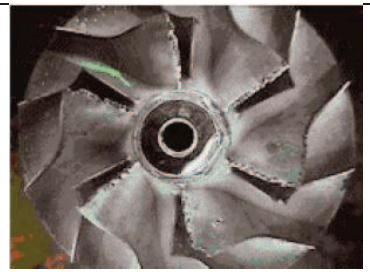
Problemas comunes[78]	**Causas**	**Figura**
Rotura de la separaciones entre ranuras de los anillos entre el 2do y 3er anillo	Presión excesiva de combustible causada por una sobrealimentación de combustible	
Rotura de una sección de la cabeza del pistón y de la separación hasta la ranura del 1er anillo	Presión excesiva de combustible causada por una sobrealimentación de combustible	

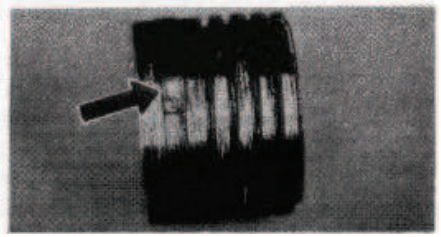
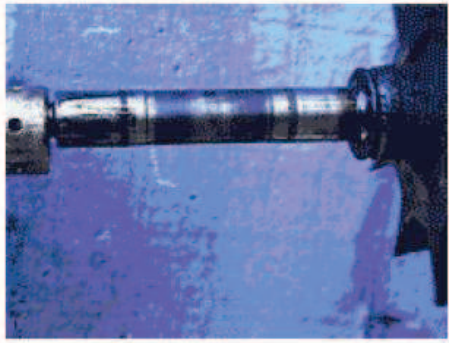
[78] http://grupos.emagister.com/documento/diagnostico_falla_de_pistones/1506-130039

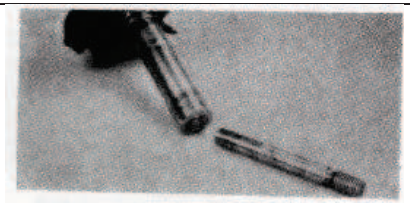
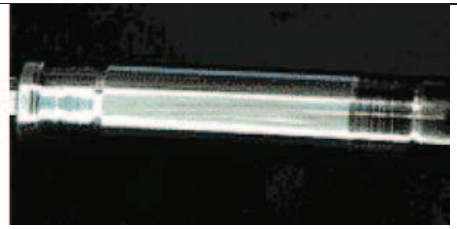
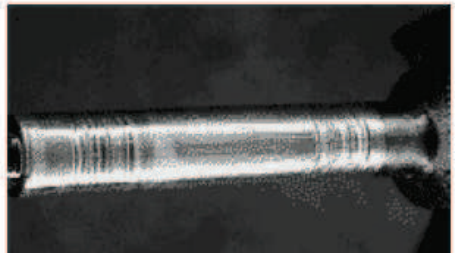
Rotura en la parte inferior del inserto de la ranura superior	Presión excesiva de combustible causada por una sobrealimentación de combustible	
Erosión del borde superior y del reborde de la cavidad	Presión excesiva de combustible causada por una sobrealimentación de combustible	
Anillos rotos	Presión excesiva de combustible causada por una sobrealimentación de combustible	

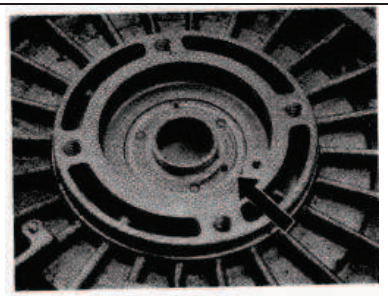
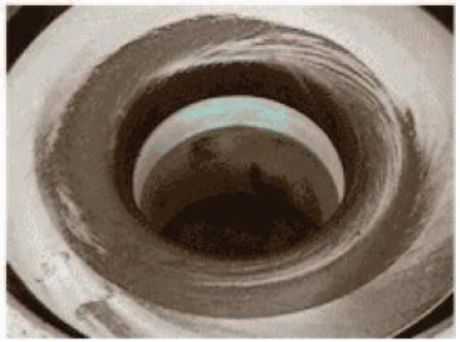
i) Fallas en el turbocargador.-

Problemas comunes	**Causas**	**Figura del problema**
Falla de los cojinetes	• Falta de lubricación. • Presencia de partículas metálicas, tierra y otras partículas que se encargan de obstruir los conductos de lubricación del cojinete. • Elevada temperatura de funcionamiento.	 

Daño superficial en cojinetes (desgaste, decoloración)	• Falta de lubricación. • Elevada temperatura de funcionamiento. • Desgaste extremo, contaminación del aceite y posterior suspensión de partículas de desgaste que rayan y/o se incrustan al collarín	
Daño en álabes de las ruedas de compresión y en la turbina (desgaste, doblamiento o fractura de los álabes)	• Desgaste de los cojinetes • Juego en el eje por daño en cojinete de empuje, con muestras de ralladuras en la base de la rueda compresora o en la rueda de la turbina. • Taponamiento de los conductos de lubricación de los cojinetes. • Presencia de objetos extraños consecuencia de la falla de un elemento en el caso de la turbina, o un objeto extraño absorbido y no filtrado para el caso de la rueda compresora.	

Presencia de aceite en la parte posterior de la rueda compresora	• Daño del sello de anillo de pistón. • Presencia de depósitos de carbón.	
Desgaste del cojinete y decoloración del eje	• Elevada temperatura de funcionamiento en la rueda turbina, ocasionando transferencia de calor hacia el eje. • Falta de lubricación en cojinete, lo que conllevó a que el cojinete se caliente y transfiera la capa de recubrimiento al eje.	

Daño en cubo de la rueda turbina	• Daño de los cojinetes. • Falta de lubricación.	
Rotura del eje	• Golpeteo extremo causado por excesivo juego axial. • Falla de cojinetes por falta de lubricación.	
Daño superficial en eje y cojinetes	• Presencia de elementos o partículas abrasivas. • Desgaste extremo del cojinete con la consecuente presencia de partículas metálicas duras. • Deficiente filtrado del aceite. • Juego axial excesivo del eje y roce de la rueda	 

Acanalamiento y desgaste de cojinetes	• Contaminación severa del aceite, siendo generalmente causado por partículas metálicas suspendidas. • Desgaste del sello del casco central. • Cojinete exterior de empuje destruido. • Eje doblado o roto. • Uso de aceite “lodoso”. • Excesivo calor que se transmite a los sellos y cojinetes. • Formación de carbón como resultado de la quema de aceite en la turbina. • Filtro tapado o mantenimiento inadecuado.	
Desbalanceo de las ruedas de compresión y de la turbina.	• Desgaste excesivo. • Excesivo movimiento axial del eje. • Roce y desgaste del sello, como consecuencia de un desbalanceo rotacional.	

Daños en la turbina	• Excesiva temperatura de los gases de escape. • Quema de aceite y consecuentemente presencia de carbón y daño en la parte posterior de la turbina. • Desbalanceo de la rueda. • Sincronización incorrecta de la bomba de inyección • Admisión de aire insuficiente debido a una restricción o falla de un filtro.	

CAPITULO V

DISEÑO Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO.

5.1. Introducción.

Para hablar de mantenimiento es necesario no sólo determinar una metodología para el manejo y comprensión de los datos, sino que es también necesario conocer el funcionamiento del motor, la estructura del mismo y los elementos móviles que posee. Es necesario también el conocer la composición de los elementos móviles y su disposición en el equipo (entiéndase como disposición no sólo la ubicación del elemento, sino también la relación entre elementos móviles y no móviles, y el montaje de los mismos considerando sus juegos o ajustes), así como sus requerimientos de lubricación.

Por ello, en las siguientes líneas se darán las directrices para una correcta interpretación de los datos y se formularán los principales problemas que se deberán considerar de acuerdo a cada uno de los diferentes aspectos a considerar como son la contaminación, el desgaste y la salud del aceite lubricante.

Todo este desarrollo del plan de mantenimiento se hará tomando en cuenta no solo las especificaciones propias de la compañía, sino más bien se buscará una reformulación del plan preventivo de mantenimiento que se maneja, en donde se consideren los aspectos de desgaste propios a los que se encuentran sometidos los equipos, con el fin de mejorar no sólo la eficiencia de los equipos, sino prolongar el tiempo de funcionamiento de los mismos.

5.2. Clasificación de los motores

Los diferentes equipos con los que cuenta la compañía BJ Services se habrán de clasificar previamente al estudio de acuerdo a la unidad de operación y por su estado y reparaciones.
Se ha determinado esta clasificación porque dentro del conjunto de equipos que se posee, existen equipos que son usados para las diferentes operaciones que ofrece la compañía como son las cementaciones, bombeo de químicos y servicios con tubería flexible, equipos que dadas las condiciones de trabajo habrán de emplear generalmente dos motores estacionarios de gran capacidad, haciendo que su análisis sea necesario ya que se trata de equipos sometidos a condiciones de trabajo extremas.

Además, estos equipos estacionarios requieren de cabezales para su movilización hasta el sitio de trabajo, requiriendo por lo tanto una gran potencia y capacidad de arrastre, mismas que estarán determinadas por el cabezal y su motor.
Otro tipo de motores a diesel que entran en el análisis es el motor de los camiones de carga, los mismos que en cambio se emplean en la movilización de sustancias o materiales necesarios para ser ensamblados o mezclados una vez que se empieza el trabajo. Por ello se estudia a los equipos a continuación.

5.2.1. Por tipo de unidad de operación.

Los motores a diesel que se emplean en las instalaciones de BJ Services en la región amazónica son básicamente de dos tipos fundamentales de acuerdo al trabajo que realizan los mismos:

- Motores a diesel estacionarios acoplados en las plataformas de los equipos que se emplean en las operaciones de bombeo, cementación, entre otros.
- Motores a diesel de camiones y cabezales, y que son empleados tanto para la movilización de las plataformas con los equipos, como para el

transporte de los insumos necesarios para realizar las operaciones en el sitio de trabajo.

Esta división entre los equipos está determinada para conocer las características de trabajo como son el ambiente, si se desplazan o no, y sobre todo el régimen de trabajo, dicho de otra manera el lapso que dicho equipo funciona de manera ininterrumpida, ya que muchas de las operaciones que se efectúan pueden durar varias decenas de horas, mientras otros trabajos son cuestión de pocas horas.
Estos factores son determinantes porque dentro de las partículas que se pueden encontrar en suspensión en el aceite estarán aquellas que dependen del tiempo para que su concentración varíe.

5.2.2. Por estado y reparaciones.

Otra de las características que se deben considerar son las reparaciones hechas en los equipos. Como se sabe, el mantenimiento preventivo de un equipo está diseñado para evitar que el mismo falle, y para evitar esto se determinan periodos de funcionamiento continuo. Luego de dicho periodo es necesario cambiar ciertas sustancias que trabajan en el interior el motor, con la finalidad de brindar una protección adecuada a los elementos móviles. Sin embargo, debido muchas veces a las condiciones de trabajo de los equipos no es posible cumplir a cabalidad con el mantenimiento de los equipos, lo que conlleva un desgaste mayor al determinado por el fabricante.

Muchas veces al exceder los periodos de mantenimiento establecidos se corre el riesgo que el equipo falle con mayor facilidad, porque las sustancias que se introducen al equipo una vez pasado el periodo de funcionamiento y cuidado para el motor, pueden tornarse en elementos destructivos, ya que pasan de ser elementos de cuidado a elementos de contaminación, ayudando a un desgaste mayor de recubrimientos y en sí de elementos que presentan facilidad de desgaste.

Así, se ha determinado que sería aconsejable realizar una clasificación de los equipos en función del cumplimiento de los periodos de mantenimiento, adicional a esta información se deberá considerar las reparaciones y cambios de piezas realizados en cada uno de los equipos, para poder determinar cuáles son las fallas más frecuentes en los mismos, como se han dado las fallas en los mismos y saber cuál o cuáles son los equipos con mayores fallas y cambios de partes.

5.3. Análisis relacionado al estado y mantenimiento de los motores

En esta sección del análisis del estado de los equipos es necesario remarcar que se analizará por etapas. Aquí se comenzará a relacionar tanto la información procedente del fabricante del equipo, del fabricante del aceite, y sobre todo se empleará la información que se obtenga del análisis de las muestras de aceite, siempre recordando que los valores obtenidos de las muestras deberán ser valores normalizados, es decir, previamente analizados y, según sea el caso, modificados dentro de un periodo de uso determinado.

Debido a la privacidad de cierta información, dentro de este proyecto de análisis de muestras de aceite se tomará en consideración datos de los fabricantes del equipo y aceite, pero no se adjuntará toda la información proporcionada, sino solamente la información menos relevante.

5.3.1. Análisis de problemas con base en el análisis de las muestras de aceite

Ahora bien, la sección más importante del presente proyecto se centra en el empleo e interpretación adecuada de los datos obtenidos de las muestras de aceite. Por lo mismo, las primeras consideraciones que se han de tomar con los datos obtenidos es la calidad de los mismos y, si se requiere, se hará una ordenación y normalización de los datos para un periodo de tiempo de trabajo determinado.

5.3.1.1. Revisión y ordenamiento los datos de las fechas e intervalos de cambio de aceite.

Los datos que se han obtenido de las diferentes muestras de aceite tienen un dato importante, sin el cual la metodología SACODE no tendría la eficiencia que se ha señalado y es el número de horas de trabajo de la muestra de aceite.
Este dato es fundamental para regularizar los datos que se obtendrán, ya que así se podrá tener una fuente segura de comparación y con ellos se podrá realizar una línea de tendencia lo más cercana a la realidad que sucede en el interior del motor.
Para realizar esta regularización de los datos por lo tanto será necesario considerar como primer aspecto la frecuencia de cambios de aceite que se realicen en los equipos.

A continuación se presentarán las tablas para dos equipos diferentes. Se ha decidido hacer el estudio de dos equipos diferentes porque los motores que se emplean son uno estacionario y otro de un camión.

Motor de camión – Unidad 244 (control de la periodicidad del cambio en función del kilometraje)

UNIDAD	MOTOR	FECHA	ACTUAL	PROXIMO MANTENIMIENTO Kilómetros/Horómetro		VARIACIÓN
			Kilómetros/Horómetro	PREVISTO	REALIZADO	Kilómetros/Horómetro
244	A	9/2/2008	151531	154531	156607	-2076
		10/5/2008	156555	159555	151808	7747
		10/8/2008	156555	159555	159741	-186

		11/13/2008	159752	162752	164338	-1586
		12/22/2008	162768	165768	166729	-961
		1/12/2009	166209	169209	172572	-3363
		3/11/2009	172588	175588	175821	-233
		4/8/2009	175821	178821	179943	-1122
		5/28/2009	179945	182945	184324	-1379

Tabla 5.3.1.1.1.- Tabla Resumen de la frecuencia de cambios de aceite para la unidad 244.

Motor Estacionario – Unidad 517 Motor B (control de la periodicidad del cambio en función del tiempo)

UNIDAD	MOTOR	FECHA	ACTUAL	PROXIMO MANTENIMIENTO		VARIACIÓN
				Kilómetros/Horómetro		
			Kilómetros/Horómetro	PREVISTO	REALIZADO	Kilómetros/Horómetro
517	B	6/10/2008	788	988	1049	-61
		10/1/2008	1049	1249	1286	-37
		1/8/2009	1299	1499	1532	-33
		9/2/2009	1570	1770	1609	161

Tabla 5.3.1.1.2.- Tabla Resumen de la frecuencia de cambios de aceite para la unidad 517 motor B.

Como se pudo observar en las tablas precedentes, la primera falla que deberá corregirse para un adecuado mantenimiento de los diferentes equipos es el control de la periodicidad de los cambios de aceite. Este parámetro es valioso porque los lubricantes

tienen un periodo de vida limitado, y sobrepasar dicho periodo de vida conducirá a fallas por contaminación excesiva del lubricante y pérdida de sus propiedades. Así que para próximos mantenimientos se determinará un rango de entre las 179 a 225 horas o de entre 2685 a 3375 km de funcionamiento para el cambio de lubricante e inspección de mantenimiento (la variación está determinada con un adelanto al tiempo/kilometraje de cambio del 10.5% y un atraso de hasta el 12.5% del valor establecido en la norma interna de la compañía).[79]

Sin embargo, aunque dichos cambios de aceite no fueron realizados en los tiempos determinados, sus valores si son valiosos para una interpretación de las posibles fallas que se presentarán. El primer paso es conseguir una normalización de dichos valores, es decir, hacer que los valores que se obtengan estén evaluados para periodos de cambio de 200 horas o 3000 kilómetros.

Para conseguir está normalización se requiere encontrar un "Factor de Corrección de las mediciones". Este factor será obtenido de una regla de tres simple:

Valores	**Variación en Kilómetro/horómetro en el cambio de aceite**		**Resultados**
	Kilometraje	Horómetro	
Real	5076	261	R.R. (resultado real)
Teórico	3000	200	R.T. (resultado teórico)

[79] Parámetro determinado por el personal técnico de BJ Services, con validez para equipos de diseñados tanto por BJ Services, como para equipos adicionales que sean acoplados a los equipos de BJ Services.

$$R.T. = \frac{3000}{5076} * R.R. \ (1)$$

$$R.T. = \frac{200}{261} * R.R. (2)$$

Tabla 5.3.1.1.3.- elementos y relación para el cálculo del “Factor de Corrección de Mediciones”.

La ec. (1) es en función del kilometraje, y la ec. (2) en función del tiempo.

Kilómetros/Horómetro Previo	**Kilómetros/Horómetro Actual**	**Variación real de horas/kilómetro entre cambios de aceite**	**Factor de Corrección de mediciones**
151531	156607	5076	0.591
156555	151808	-4747	-0.632
156555	159741	3186	0.942
159752	164338	4586	0.654
162768	166729	3961	0.757
166209	172572	6363	0.471
172588	175821	3233	0.928
175821	179943	4122	0.728
179945	184324	4379	0.685

Tabla 5.3.1.1.4.- Valores de “factor de compensación en las mediciones, para obtener datos normalizados para un periodo de cambio de aceite de 3000 kilómetros en la unidad 244

Kilómetros/Horómetro Previo			Kilómetros/Horómetro Actual	Variación real de horas/kilómetro entre cambios de aceite	Factor de Corrección de mediciones
517	B	788	1049	261	0.766
		1049	1286	237	0.844
		1299	1532	233	0.858
		1570	1609	39	5.128

Tabla 5.3.1.1.5.- Valores de “factor de compensación en las mediciones, para obtener datos normalizados para un periodo de cambio de aceite de 200 horas en la unidad 517 motor B.

5.3.1.2. Revisión y ordenamiento de los datos de las propiedades físicas del lubricante.

Cuando se analiza a los lubricantes, es necesario tener la información del fabricante para tener un punto de partida o referencia en lo que respecta al análisis de las propiedades del lubricante.

De los datos proporcionados por el distribuidor autorizado de los lubricantes se tienen las siguientes propiedades:

Propiedad		Método ASTM	SAE 15W40	SAE 40
Densidad @ 15,5 º C, g/cm3		D-4052	0,880	0,896
Viscosidad Cinemática	cSt @ 40 °C	D-445	109,6	164.1
	cSt @ 100 °C	D-445	14,8	15.7
Índice de Viscosidad		D-2270	139	98
Viscosidad a baja temperatura - 20ºC (CCS), cP		D-5293	6.400	
Punto de Inflamación, °C		D-92	220	258
Punto de Fluidez, °C		D-97	- 33	-3
Número Base Total (TBN), mg KOH/g		D-2896	10,2	8.5

Tabla 5.3.3.1.- Propiedades básicas de los aceites lubricantes empleados en los motores a diesel propiedad de BJ Services[80]

Ahora bien, es necesario conocer como varían ciertas propiedades de los aceites lubricantes en las muestras tomadas, porque ellas también servirán para determinar la presencia de elementos contaminantes que inciden directamente sobre dichas propiedades. En las siguientes tablas se mostrarán los valores de las mencionadas propiedades:

[80] Las características típicas son valores promedio. En la manufactura se pueden encontrar ligeras variaciones las cuales no afectan la calidad del producto, ni el rendimiento.

a) Para la unidad 244:

NOMBRE DEL PRODUCTO/MARCACIÓN	UPTDX 15W40	UPTDX 15-40	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40
Muestra - fecha de obtención	7/14/2008	10/MAR/09	1/6/2009	3/9/2009	12/02/2010
Procedencia	motor A	U-244	motor A	motor A	UNIDAD, 244
Horómetro		172588 km	4068H	456	9533 km
Periodo de servicio (H)	230 H	3363 km		236 H	-
PROPIEDADES					
Apariencia	negro	negro	Negro	negro	negro
Agua por crepitación	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Viscosidad a 40°c cSt, ASTM 445					
Viscosidad a 100°c cSt, ASTM 445	13.36	13.60	13.6	13.81	13.67
TBN , ASTM d-2896	10.95	8.62	9.34	8.95	9.01

Tabla 5.3.3.2.- Propiedades básicas analizadas en las muestras de aceite lubricante de la unidad 244

b) Para el motor B de la unidad 517

Nombre del producto/marcación	SAE 40	LA 3-40	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 30	SAE 40	SAE 40	LA 3-40
Muestra - fecha de obtención	11/28/05			2/15/08	3/27/08				
Procedencia	Motor B								
Horómetro	2971	188		7217	503 H		1299	1299	
Periodo de servicio (hr)	186	185	200	100	57h	1299h			1537
Propiedad									
Apariencia	negro	Negro	Negro	negro	negro	negro	negro	negro	negro
Agua por crepitación	negativo	Negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo	negativo
Viscosidad a 40°c cSt, ASTM 445									
Viscosidad a 100°c cSt, ASTM 445	6.54	13.98	18.07	44.82	16.91	11.13	14.07	14.18	14.73
TBN , ASTM d-2896		8.36			8.62		5.91		5.53
% Wt insolubles en lubricante									

Tabla 5.3.3.3.- Propiedades básicas analizadas en las muestras de aceite lubricante de la unidad 517 motor B

5.3.1.3. Revisión y ordenamiento de los datos de los aditivos adicionados al aceite virgen para cumplir con la calidad determinada por la norma API.

Este segmento del análisis está determinado por el conocimiento de los aditivos que tendrá el lubricante de acuerdo a la calidad del mismo. En la siguiente tabla se observarán las condiciones de fábrica para un aceite nuevo URSA 15W40. Cabe mencionar que en los aceites URSA 15W40 la calidad API del aceite lubricante cumple con la categoría CJ-4, y dichos valores son referenciales, pero en cuanto a los valores de TEXACO, los mismos no han podido ser obtenidos, sin embargo, los aditivos Chevron son los más similares a los lubricantes TEXACO, de allí que el análisis de aditivos de este aceite sea empleado.

Aceite de Motor	**Aditivos**								
	Na	Si	Mg	Ca	Ba	P	Zn	Mo	B
JD 15W40 Plus 50II CJ4 USA	0		21	1480	0	1110	1280	90	51
CHEVRON URSA 15W40 CJ-4	**0**		**390**	**1560**	**0**	**1170**	**1290**	**90**	**540**

Tabla 5.3.4.1.- Aditivos adicionados al aceite virgen por el fabricante de acuerdo a la calidad API CJ-4.[81]

5.3.1.4. Revisión y ordenamiento de los datos de los metales generados por los elementos móviles y que dependen del tiempo para cuantificar su presencia.

Dentro de los análisis de aceite es necesario considerar la presencia de partículas cuya presencia en el aceite dependerá de la cantidad de tiempo de trabajo de dicha sustancia. Esto sucede ya que las partículas y elementos en cuestión son tan pequeños que los filtros son incapaces de atraparlos. Se menciona este crecimiento de la presencia de ciertos elementos porque las fuentes de las que provienen serán de dos tipos: por desgaste propio del

[81] John Deere, Reference Guidelines For Wear Metals, Contaminants, Lubricants, Coolant and Fuel, Mayo 2010.

equipo y elementos móviles como estáticos, y por contaminación del exterior. Por ello, se debe ser cuidadoso al momento de estudiar a estos tres elementos. Analizando a los tres elementos, es necesario considerar las fuentes de las cuales proviene el desgaste:

Elemento	Fuente de desgaste	Fuente de contaminación
Hierro	• Camisas del motor • Bombas de engranes • Bombas de pistón	• Absorción de tierra del ambiente a través de los sistemas de admisión de aire
Silicio	• Elementos constituidos de aleaciones de aluminio-silicio como las chumaceras para rodamientos de ejes.	• Componente principal de la suciedad, y en forma de oxidación como sílice. • Elemento residual cuando un equipo es nuevo o reparado, y proviene de sellos.
Aluminio	• Generalmente de los pistones del motor • Partículas provienen del bloque o culata	• Absorción de tierra del ambiente a través de los sistemas de admisión de aire

Tabla 5.3.5.1. Elementos que tienen su origen como elementos contaminantes y como elementos de desgaste y sus fuentes de aparecimiento más comunes

Es necesario mencionar que estudios actuales demuestran la presencia de aluminio en la tierra (silicio) en una relación de 1 partícula de aluminio por cada 4 o incluso cada 6 partículas de silicio. Pero también se debe recordar que el silicio puede estar presente como elemento constitutivo de los aditivos antiespumantes que tendrá un lubricante.[82]

Recordar que los motores bombean alrededor de 10,000 litros de aire por cada litro de gasolina que consumen, por lo que succionan muchísimo polvo y contaminantes, un buen filtro de aire detendrá partículas de hasta 3 micrones; pero todo lo que sea de menor diámetro flotara sin causar daño hasta que el

[82] John Deere, Reference Guidelines For Wear Metals, Contaminants, Lubricants, Coolant and Fuel, Mayo 2010.

lubricante se sature. Una vez que sucede ello no podrán flotar más y se empezará a producir desgaste dentro del motor. Por ello, al cambiar el lubricante también se está incrementando la capacidad del lubricante para mantener a flote las partículas de diámetros reducidos. Así queda explicado por qué estos tres elementos son estudiados de manera separada, ya que dependiendo del tiempo de funcionamiento, el volumen de consumo de aire será mayor, y así también aumentará la presencia de estos elementos particulados en función del tiempo, y no sólo como tasa de desgaste.

5.3.1.5. Revisión de las condiciones iniciales del combustible.

Este aspecto es importante de considerar si se toma en cuenta los efectos negativos que conlleva el combustible, no sólo por el proceso de combustión, sino por las consecuencias que genera si el mismo no se combustiona completamente, además de los desechos de la contaminación que ocasionan en el aceite lubricante la acumulación de hollín, la sulfatación y nitruración del aceite, o la presencia del agua que es en sí un producto de la combustión y que debe ser cuidado con especial énfasis. Dentro del área petrolera, la empresa estatal de hidrocarburos del Ecuador, PetroEcuador, se encarga del suministro del combustible, por lo que el presente informe ha sido expedido en la filial PetroIndustrial, la misma que se encarga del refinamiento y distribución del combustible a BJ Services.

PETROINDUSTRIAL
FILIAL DE PETROECUADOR
COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI

CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO: DIESEL 2

CERTIFICADO No. 002	FECHA MUESTRA:	2010 / 01 / 02		ORIGEN: YT 805 - A
PRUEBA	METODO	ESPECIFICACION		RESULTADO
		MIN.	MAX.	
Punto de inflamación °C	D-93	51		59
DESTILACION				
10% °C	D-86	REPORTE	REPORTE	214
90% °C	D-86		360	354
Viscosidad Cinematica 37.8 °C CST	D-445	2,5	6	3,4
Azufre % P	D-4294		0,7	0,60
Corrosion lamina de cobre 3H 50 °C	INEN-927		No. 3	1a
Indice de Cetano (Calculado)	D-976	45		51,5
Color ASTM	D-1500	REPORTE	REPORTE	0,5

Agua y Sedimento %V	D-4007		0,05	0,00
Res. Carbonoso al 10% Residuo %P	D-189		0,15	0,008
Cenizas %P	D-4422		0,01	0,001
Gravedad Especifica 15.6/15.6 °C	D-1298	REPORTE	REPORTE	0,8383
API 15.6/15.6°C	D-287	REPORTE	REPORTE	37,3
API Observado	D-287	REPORTE	REPORTE	38,9 / 81
Observaciones Generales:				
			Fecha de Emisión: 2010 / 01 / 02	

Figura 5.3.6.1.- Tabla de las condiciones del combustible entregado por PetroEcuador a BJ Services.

5.3.1.6. Revisión y ordenamiento de los datos de los contaminantes presentes en las muestras de aceite.

Quizá esta sección sea la más complicada de todas las secciones previas para el análisis de resultados, ya que los valores que se tabulen deberán ser considerados bajo un mismo nivel de referencia (normalizado) para con ello saber no solo la velocidad de incremento en los valores de desgaste/contaminación de determinados elementos, sino además saber cuáles son las consecuencias directas del proceso de combustión tanto en la contaminación del aceite lubricante como en el proceso de desgaste de los elementos móviles del motor debido a la formación o admisión de sustancias extrañas al motor.

En las siguientes tablas se mostrarán los valores tabulados tanto de las propiedades del lubricante, como tablas separadas con los valores de PPM (partículas por millón) de los materiales de desgaste, elementos contaminantes, elementos contaminantes y de desgaste y de los elementos aditivos. Cada grupo presentará una tabla, ya que dependiendo del parámetro que se considere se tendrán mayores o menores problemas a ser resueltos.

a) Para el motor A de la unidad 244:

Nombre del Producto/Marcación	UPTDX 15W40	UPTDX 15-40	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40
Muestra - fecha de obtención	7/14/2008	10/MAR/09	1/6/2009	3/9/2009	12/02/2010
Procedencia	motor A	U-244	motor A	motor A	UNIDAD, 244
Horómetro	230	172588	4068H	456	9533 KM
Periodo de servicio (H)	U-244	3363		236 H	-

Metales de Desgaste, ASTM D-6595					
Metal de desgaste cromo, Cr, ppm	1	19	1	1	3
Metal de desgaste níquel, Ni, ppm	0	1	0	0	1
Metal de desgaste titanio, Ti, ppm	0	-	0	0	-
Metal de desgaste plata, Ag, ppm	0	0	0	0	0
Metal de desgaste cobre, Cu, ppm	14	9	26	5	10
Metal de desgaste estaño, Sn, ppm	1	0	0	0	5
Metal de desgaste plomo, Pb, ppm	4	6	9	2	1

Elementos Contaminantes					
Elemento potasio, K, ppm	-	-	-	-	-

Elemento sodio, Na, ppm	-	-	-	-	-
Combustible diluido	-	-	-	-	-
% De agua por crepitación	-	-	-	-	-
Hollín	-	-	-	-	-
Sulfatos	-	-	-	-	-
Nitratos	-	-	-	-	-

Metales de Desgaste y Contaminantes					
Metal de desgaste aluminio, Al, ppm	3	5	9	9	4
Metal de desgaste hierro, Fe, ppm	43	45	31	25	16
Elemento silicio, Si, ppm	13	4	26	6	23

Elementos Aditivos					
Metal molibdeno, Mo, ppm	78	0	0	1	14
Metal magnesio, Mg. Ppm	0	310	270	49	384
Elemento fósforo, P. ppm	1325	1143	1502	1297	664
Metal boro, B . Ppm	96	1	2	1	8
Metal calcio, Ca, ppm	2909	1979	1989	2092	565
Elemento sodio, Na, ppm	-	-	-	-	-

Elemento azufre, S, ppm	-	-	-	-	-
Metal bario, Ba, ppm	0	0	0	0	0
Metal zinc, Zn, ppm	1743	1176	1517	1256	1029

b) Para el motor B de la unidad 517:

Nombre del Producto/Marcación	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40	SAE 40
Muestra - fecha de obtención	11/28/05			2/15/08	3/27/08				
Procedencia	motor B	motor B	motor B	motor B	motor B	motor B	motor B	motor B	motor B
Horómetro	2971	188		7217	503 H		1299	1299	
Periodo de servicio (H)	186	185	200	100	57h	1299h			1537

Metales de desgaste, ASTM D-6595									
Metal de desgaste cromo, Cr, ppm	14	9	18	13	10	0	8	8	7
Metal de desgaste níquel, Ni, ppm	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Metal de desgaste titanio, Ti, ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	
Metal de desgaste plata, Ag, ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metal de desgaste cobre, Cu, ppm	12	34	10	7	2	176	6	6	51
Metal de desgaste estaño, Sn, ppm	4	22	9	9	0	0	2	2	6

Metal de desgaste plomo, Pb, ppm	3	6	4	5	1	2	1	2	4

Elementos Contaminantes									
Elemento potasio, K, ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elemento sodio, Na, ppm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustible diluido	-	-	-	-	-	-	-	-	-
% de agua por crepitación	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hollín	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitratos	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Metales de Desgaste y Contaminante									
Metal de desgaste aluminio, Al, ppm	1	2	2	1	1	2	1	1	2
Metal de desgaste hierro, Fe, ppm	155	111	141	376	40	47	90	100	119
Elemento silicio, Si, ppm	7	60	13	11	7	5	5	5	6

Elementos Aditivos									
Metal molibdeno, Mo, ppm	0	0	3	2	3	0	1	1	2
Metal magnesio, Mg. Ppm	1181	21	652	13	277	9	723	768	
Metal boro, B . Ppm	21	1	2	2	1	1	1	1	1

Metal calcio, Ca, ppm	302	3216	2371	1972	3008	2469	1379	1448	826
Metal bario, Ba, ppm	0	2	0	7	3	0	0	0	0
Metal zinc, Zn, ppm	901	830	720	481	781	945	825	880	740

5.3.1.7. Revisión y ordenamiento de los datos límites para motores diesel cuando las muestras son tomadas a 250 horas. (Tabla de Referencia)[83].

Esta última sección es la tabla resumen de los datos que se deben controlar de la muestra de aceite. Para el análisis de las propiedades se habrán de emplear los siguientes parámetros tabulados:

Propiedades Físicas	Normal	Anormal	Crítico
Oxidación/degradación del aceite	< 20 abs/cm	20-25 abs/cm	> 25 abs/cm
TBN	> 5	2.6 - 4.9	< 2.5
Sulfatación	< 25	25 - 40	> 40

Tabla 5.3.8.1.- Valores de las propiedades físicas de los aceites que se emplearán como parámetros de control[84]

[83] John Deere, Reference Guidelines For Wear Metals, Contaminants, Lubricants, Coolant and Fuel, Mayo 2010

[84] John Deere, Reference Guidelines For Wear Metals, Contaminants, Lubricants, Coolant and Fuel, Mayo 2010

En cuanto a los datos obtenidos de las muestras, es necesario mencionar que dicha tabla está como referencia para muestras tomadas en periodos de tiempo de 250 horas. En el presente proyecto se ha explicado que tanto los datos de las muestras como esta tabla de referencia deberán generar datos para periodos de 200 horas, por ello se deberá aplicar los factores de corrección previo al resumen de los problemas de cada equipo.

Motores con lecturas a 250 horas	**Rango Normal**		**Rango Anormal**	**Rango Crítico**
	Mínimo	**Máximo**		
Silicio*	0-67	68-134	135-223	>224
Silicio después de una reparación	0-40	41-80	81-119	>120
Hierro*	0-19	20-38	39-53	>54
Cobre	0-6	7-12	13-19	>20
Sodio	0-5	6-30	31-50	>50
Aluminio*	0-3	4-7	8-9	>10
Plomo	0-15	16-25	26-40	>40
Cromo	0-5	6-10	11-15	>15
Níquel	0-2	3-4	5-8	>8
Estaño	0-1	2-3	4-5	>5
Potasio	0-10	11-30	31-50	>50
Combustible diluido	<1%	1-1.5%	1.6-2%	>2%
Agua por crepitación	<0.1%	0.1-0.2%	0.21-0.99%	>1.00%
Nitración (en abs/cm)	<15	15 a 20	21 a 25	>25
Sulfatación (en abs/cm)	<20	21 a 25	26 a 30	>30
Hollín	<1.5%	1.5-2.9%	3-4.9%	>5%

* Son elementos que deben considerarse no solo como consecuencia del desgaste sino de la contaminación del ambiente.

Tabla 5.3.8.2.- Valores normal, anormal y crítico para partículas de desgaste y contaminación.

5.3.2. Resumen de problemas

Una vez que se ha analizado los resultados de las diferentes muestras de aceite tomadas, se debe mencionar los problemas más importantes en cada una de las diferentes áreas de acción que se manejan en la metodología SACODE. Dicha información es tabulada de la siguiente forma:

UNIDAD	ÁREA DE CONTROL	PROBLEMAS A CONSIDERAR
244	Salud – Estado de las propiedades físicas	• Investigar las posibles causas para que la viscosidad sea menor a la establecida.
	Contaminación - Degradación del aceite	• No hay estudio de los contaminantes principales que contaminan el aceite, por lo tanto no se puede predecir fallas por contaminación o degradación del aceite lubricante. • Controlar el incremento de elementos relacionados con los aditivos, porque no se puede controlar de manera adecuada si el aceite está o no perdiendo propiedades como antiespumas, antidesgaste, entre otras.
	Desgaste - Presencia de elementos particulados	• Elevada presencia de partículas de Cromo, mientras los valores de elementos móviles compuestos de elementos de fácil desgaste no muestran valores elevados. • Control de la lubricación en el equipo, porque se observa una reducción considerable de partículas de desgaste entre muestras.
	Desgaste y	• Controlar el desgaste de aluminio, ya que sus valores son elevados para ser causados

	Contaminación simultáneos del aceite	solamente por contaminación, ya que el otro elemento contaminante directamente relacionado con el aluminio, como es el silicio, no presenta un elevado incremento.
517 motor B	Salud – Estado de las propiedades físicas	• Controlar las variaciones de viscosidad que se experimentan en el equipo, porque los valores están bajo la media determinada por el fabricante.
	Contaminación - Degradación del aceite	• No se puede realizar un estudio de la contaminación y peor aún de la degradación del aceite, porque estos parámetros no son analizados en las muestras de aceite.
	Desgaste - Presencia de elementos particulados	• Revisar elementos móviles o estáticos que presenten tanto cobre como estaño, ya que dichos elementos son los que presentan tendencias de desgaste constante y creciente.
	Desgaste y Contaminación simultáneos del aceite	• Controlar el excesivo desgaste de hierro, ya que los valores son elevados y se han determinado de manera muy similar en varias muestras continuas de aceite.

Tabla 5.3.9.1.- Resumen de problemas determinados a partir del análisis de la SALUD, CONTAMINACIÓN Y DESGASTE que ha podido determinarse de los resultados enviados por el personal técnico de CONAUTO.

5.4. Descripción del Mantenimiento necesario.

5.4.1. Reporte del estado del aceite del equipo.

Esta sección es simplemente la consideración del laboratorio en cuanto a los resultados obtenidos de las muestras. Es necesario considerar las observaciones emitidas por el personal técnico del laboratorio, ya que dicha información puede servir de guía para determinar cuáles son los elementos que presentan una mayor tendencia de desgaste, contaminación y/o degradación del aceite.

5.4.2. Tabulación, análisis, consulta en manual de usuario y reporte de posibles fallas.

La tabulación del reporte no será efectiva si no se consigue determinar las posibles zonas de falla dentro del equipo. Para la obtención de una zona o mejor aún, de un elemento o segmento de elementos móviles que podría fallar se habrá de emplear una herramienta útil del mantenimiento, el diagrama de Causa-Efecto, ya que su utilidad principal radica en que el personal de mantenimiento conozca a profundidad no sólo la falla, sino que se puedan identificar y asociar de manera adecuada las posibles causas de la misma.

Para el presente proyecto por lo tanto se habrán de considerar las causas determinadas previamente, siguiendo siempre un estudio de las mismas y sus consecuencias en función de la SALUD, CONTAMINACIÓN, DESGASTE Y CONTAMINACIÓN-DESGASTE que experimenta un aceite. Para ello se emplearán los diagramas de causa-efecto.

a) Unidad 244:

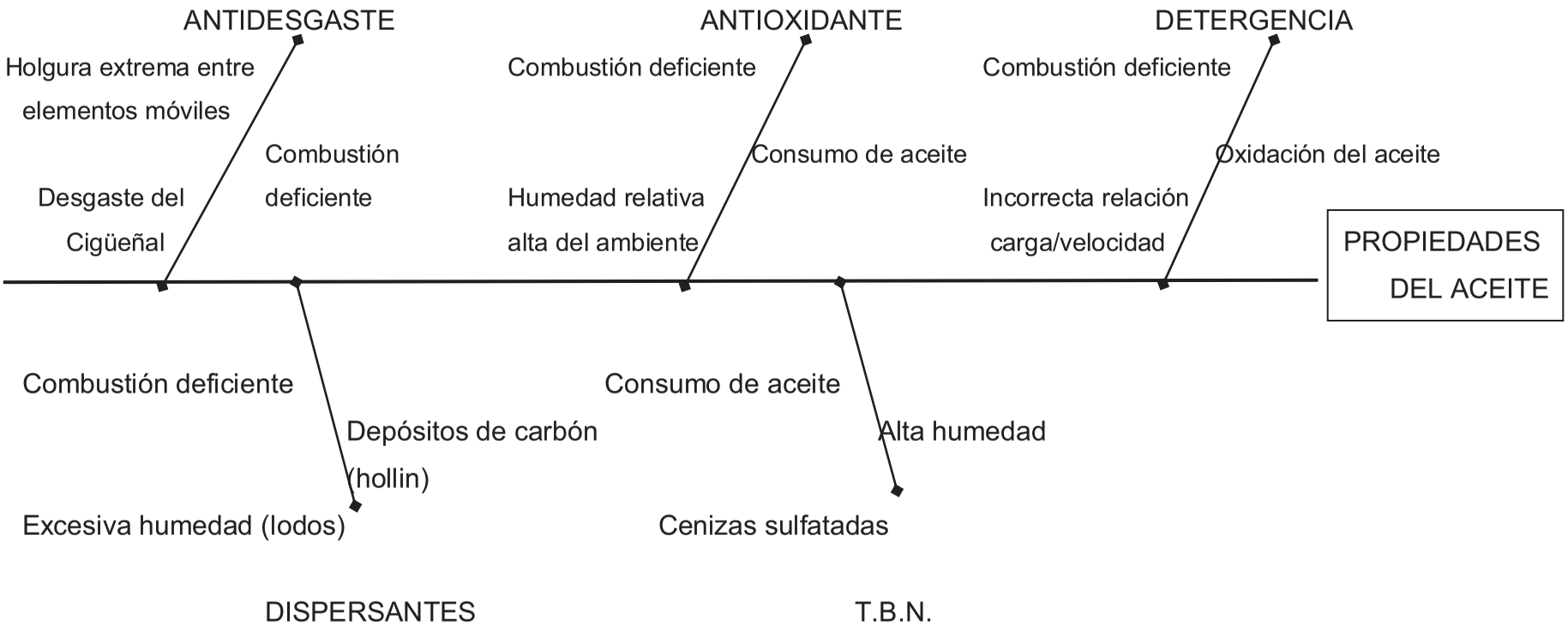


Diagrama 5.4.2.1.- Análisis de Causas-Efecto para las propiedades del aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 244

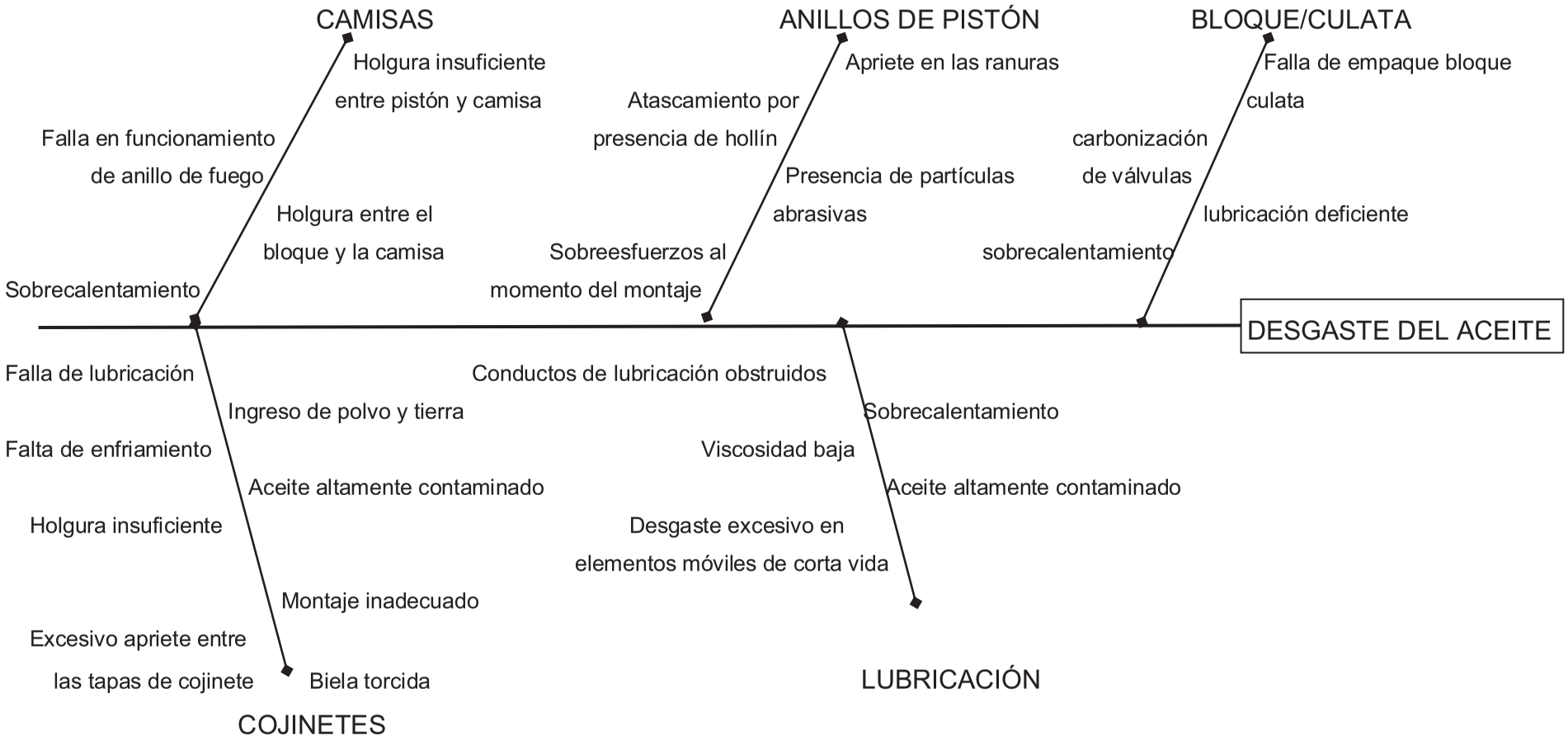


Diagrama 5.4.2.2.- Análisis de Causas-Efecto para el desgaste en función de las muestras de aceite de la unidad 244

Diagrama 5.4.2.3.- Análisis de Causas-Efecto para la contaminación y desgaste en el aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 244

b) Unidad 517 motor B:

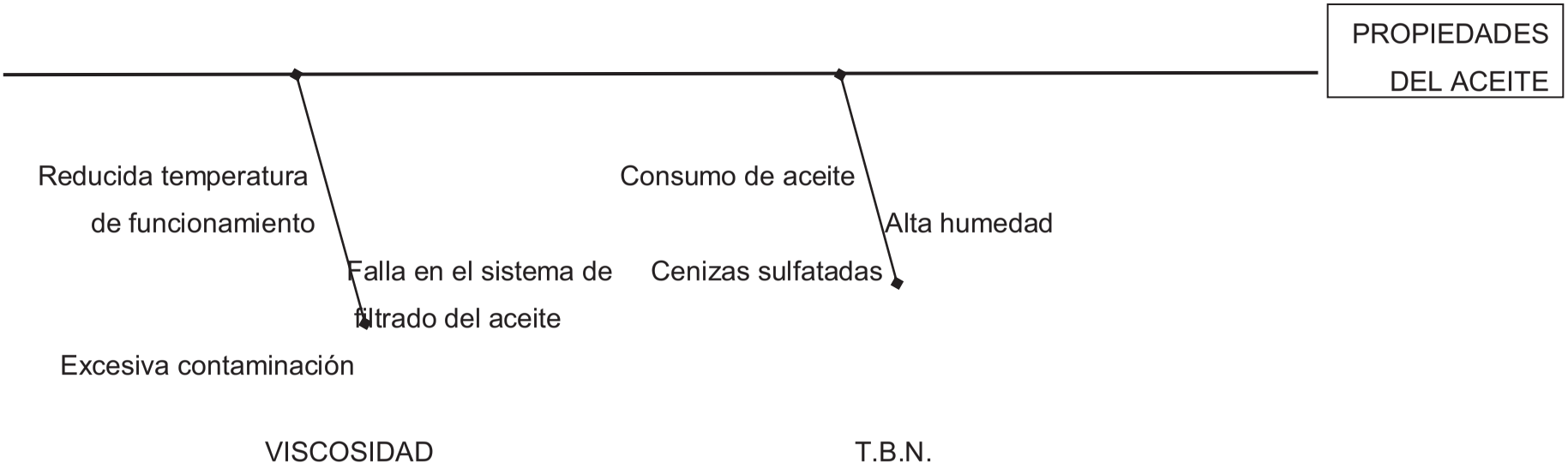


Diagrama 5.4.2.4.- Análisis de Causas-Efecto para las propiedades del aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 517 Motor B

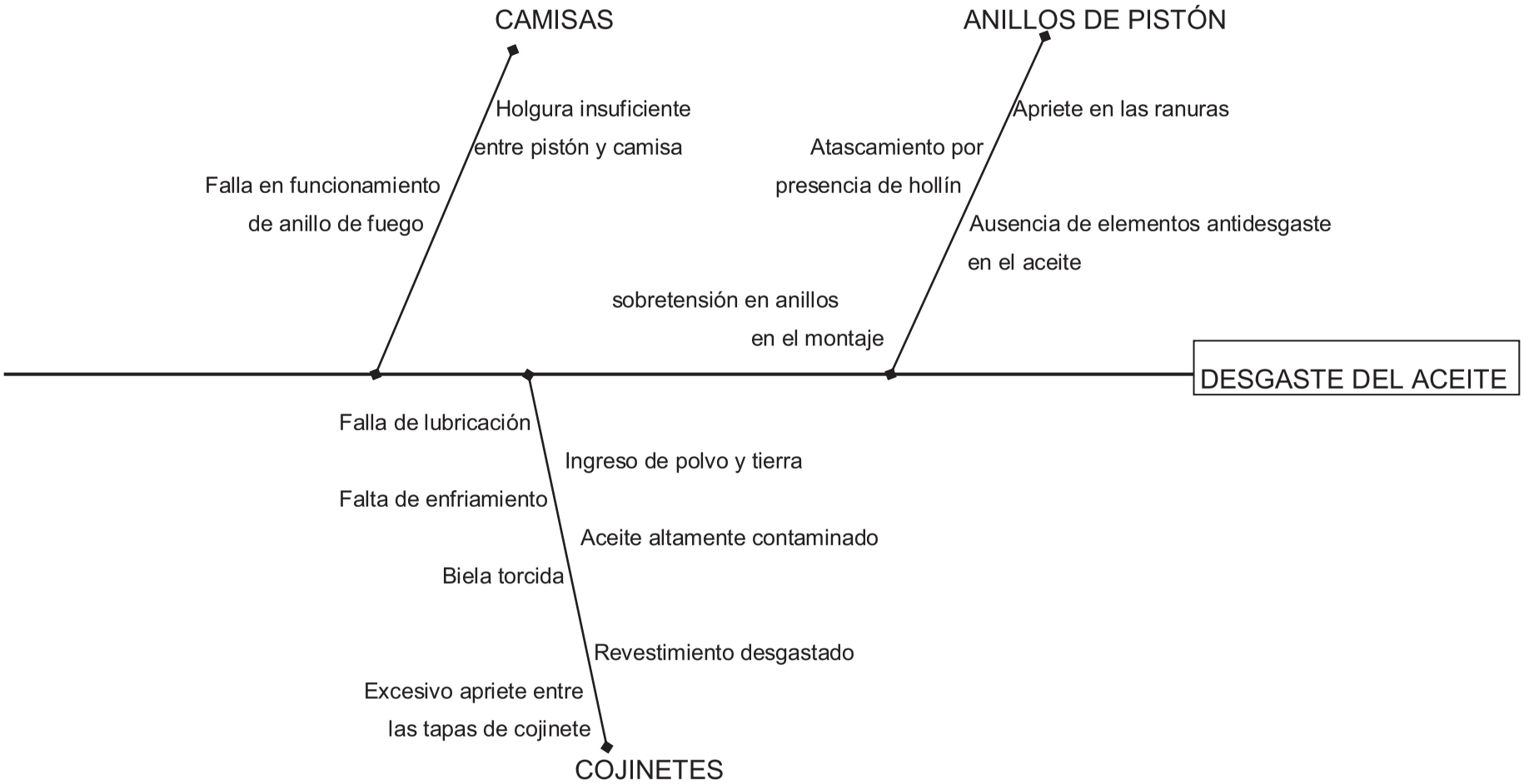


Diagrama 5.4.2.5.- Análisis de Causas-Efecto para el desgaste en función de las muestras de aceite de la unidad 517 Motor B

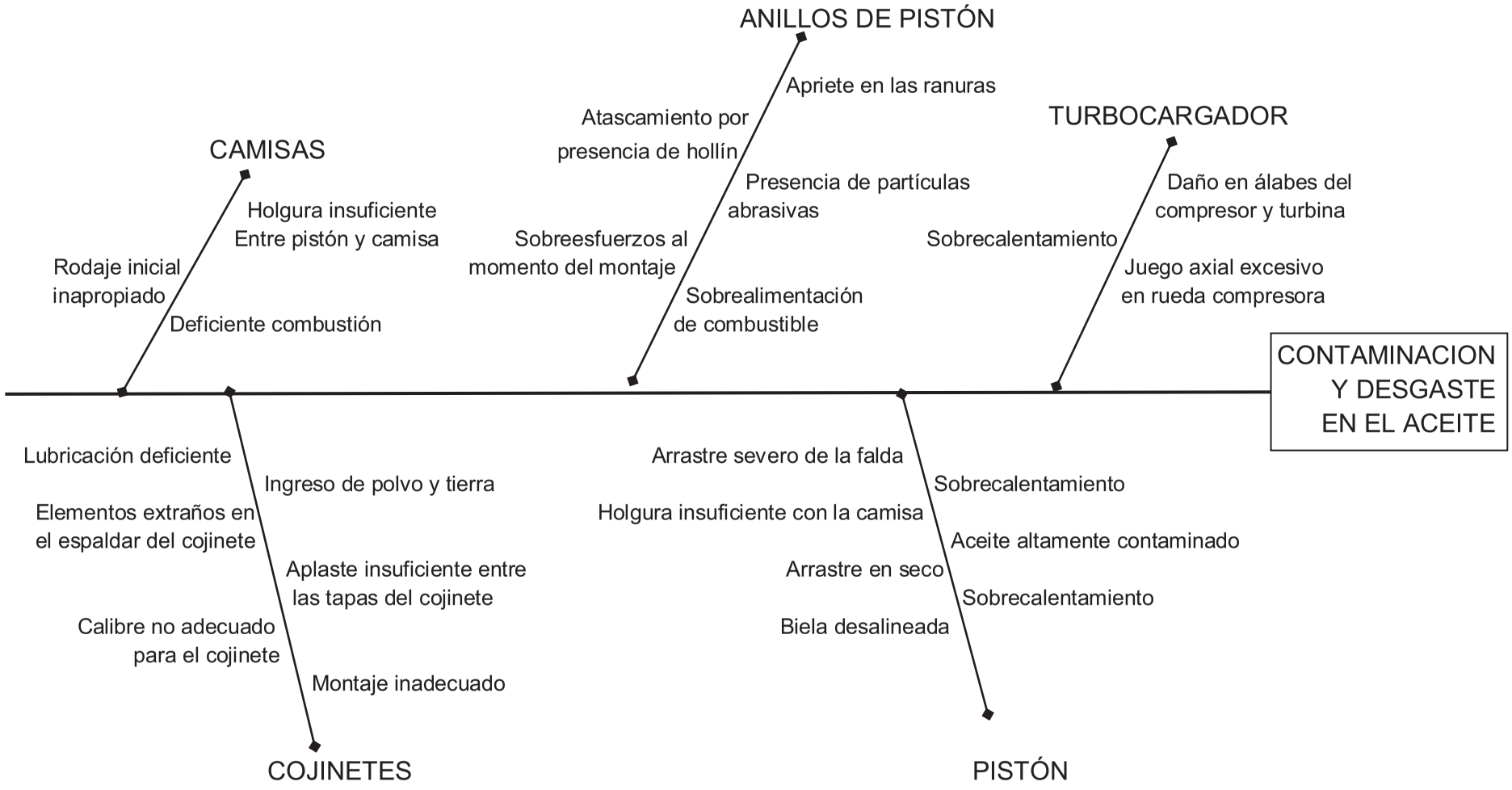


Diagrama 5.4.2.6.- Análisis de Causas-Efecto para la contaminación y desgaste en el aceite en función de las muestras de aceite de la unidad 517 Motor B

Resumen de Posibles Fallas (basado en el análisis de aceites)			
Unidad	**Parámetro**	**Aspecto o elemento susceptibles de falla**	**Posibles Causas**
244-A	Propiedades	Pérdida de capacidad de protección antioxidante Pérdida de capacidad de protección de detergencia Pérdida de capacidad de protección antidesgaste	Combustión deficiente Humedad ambiental Holgura extrema
	Contaminación	No se puede determinar debido a la carencia de estudios de contaminantes en la muestra de aceite.	
	Desgaste	Anillos del pistón y camisas Cojinetes de biela Problemas de lubricación	Aceite contaminado Holgura insuficiente Desgaste excesivo Obstrucción en canales de lubricación Elevada temperatura de funcionamiento
	Desgaste y Contaminación	Cojinetes del turbocargador Camisas, pistón y anillos	Falta de lubricación y refrigeración Combustión deficiente Holgura insuficiente Falla en seguros Falla en filtrado

Tabla 5.4.2.1.- Elementos y/o aspectos susceptible de falla para la unidad 244

Resumen de Posibles Fallas (basado en el análisis de aceites)			
Unidad	**Parámetro**	**Aspecto o elemento susceptibles de falla**	**Posibles Causas**
517-B	Propiedades	Viscosidad bajo el mínimo establecido por el fabricante Pérdida de la reserva alcalina (TBN) *No se analiza la degradación del aceite por falta de datos del fabricante*	Humedad ambiental Fallas en filtrado
	Contaminación	No se puede determinar debido a la carencia de estudios de contaminantes en la muestra de aceite.	
	Desgaste	Anillos del pistón y camisas Cojinetes de biela	Aceite contaminado Holgura insuficiente Desgaste excesivo Elevada temperatura de funcionamiento
	Desgaste y Contaminación	Cojinetes del turbocargador Camisas, pistón y anillos	Falta de lubricación y refrigeración Combustión deficiente Holgura insuficiente Movimiento axial del eje de la turbina compresor Falla en seguros Falla en filtrado

Tabla 5.4.2.2.- Elementos y/o aspectos susceptible de falla para la unidad 517 Motor B

5.5. Control del mantenimiento.

Una vez que se han realizado los análisis de desgaste, contaminación y degradación del aceite, es necesario concluir este proceso de mantenimiento con un análisis general del estado del motor contraponiendo la información de mantenimientos previos, con los resultados obtenidos del análisis de las muestras de aceite. Una vez determinadas las posibles fallas, se podrá determinar los elementos a ser revisados por el personal de mantenimiento, con la finalidad de comprobar su condición.

5.5.1. Control posterior a la evaluación del estado del equipo

Del estudio realizado se sacarán conclusiones en cuanto a los tiempos de vida de un elemento, de su desgaste aproximado en función de la estructura y la cantidad de partículas registradas en las muestras de aceite. Esta información sería valiosa de ser no sólo compartida sino cotejada con los conocimientos del personal técnico. De este proceso de estudio se deberán determinar las inspecciones físicas necesarias por parte del personal de mantenimiento.

Luego de la comprobación realizada por el personal técnico se deberán definir acciones ya sean de corrección, prevención o incluso paralización de un equipo de acuerdo a la gravedad que pueda presentar. Se debe recordar que es más seguro, económico y aconsejable el paro de un equipo antes que un elemento del mismo falle completamente.

5.5.2. Control en base a futuras muestras de aceite.

Luego de haberse considerado y puesto en práctica las correcciones determinadas tanto del estudio de las muestras de aceite, de la inspección visual como de la consecuente reparación o mantenimiento al elemento fuente de una posible falla, se deberá comprobar la efectividad de las mismas. Esta efectividad será apreciable en la reducción de los parámetros de contaminación y desgaste que presente un equipo. No se incluye en esta reducción a los

parámetros de degradación o salud del aceite, porque los mismos están diseñados y agregados para sufrir siempre una reducción de sus valores, eso sí se deberá cuidar que los valores de elementos aditivos de un aceite no caigan a cero, en cuyo caso se deberá tomar acciones mucho más drásticas para conocer el origen de estas reducciones.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

- El estudio de los motores a diesel requiere de un buen conocimiento de los diferentes sistemas que componen al motor. Cada sistema, aunque tiene funciones específicas, permiten que en conjunto todo el motor pueda realizar trabajo luego de la conversión de la energía del combustible
- Se debe recordar que el análisis de muestras de aceite tiene como finalidad la interpretación correcta de las futuras fallas que se darán en el motor. Dichas fallas no son predichas con exactitud pero sí con una gran aproximación, siempre que se cuente con la información adecuada.
- Las muestras de aceite son sólo una parte de la información que se requiere manejar dentro de un programa de análisis de muestras de aceite, pero quizá la información más importante serían los mantenimientos periódicos que se realizan. Dichos mantenimientos deberán realizarse tratando de cumplir los periodos determinados, y siempre llevando un histórico de los cambios de aceite y repuestos que se efectúen.
- La información que se requiere para un buen análisis de aceite no debe resumirse en los valores y comentarios emitidos por el laboratorio, sino que se debe conocer bien los equipos y el lubricante empleado, ya que el mantenimiento de motores con base en muestras de aceite considera la variación de propiedades y cualidades inherentes al lubricante como parámetros de control de desgate, contaminación y degradación del aceite.
- Se debe conocer bien el motor que se analice, ya que de su diseño se puede conocer cuáles habrán de ser las secciones que muestran mayores holguras o aprietes, se conocerá además que elementos irán

acoplados o relacionados unos con otros. Se debe recordar que aunque todos los motores son estructuralmente parecidos, las diferencias técnicas como la potencia que alcance, las rpm de funcionamiento, e incluso la disposición de ciertos elementos harán que ciertos elementos e incluso sistemas tengan un requerimiento distinto de funcionamiento.

- La informática es una herramienta valiosa que puede ayudar a un manejo eficiente de la información, es una ayuda invaluable en el análisis de las muestras de aceite, pero también es como su nombre dice una herramienta. El verdadero valor de un ingeniero no nace del manejar información de manera adecuada, sino de saber interpretarla. Este objetivo se ha conseguido, al hacer que cualquier persona que lea el contenido del presente proyecto sea capaz de reconocer una posible fuente de falla sólo con observar como varía el estado de un aceite.
- El proyecto fue concebido para complementar el proceso de mantenimiento emprendido en la empresa BJ Services, pero dado el alcance del mismo, podría ser fácilmente aplicable a otras empresas, cuidando ciertos aspectos propios como son los lubricantes empleados, los equipos que dispone y las condiciones del entorno de trabajo.
- Se ha planteado un sistema de análisis de las muestras en donde se consideran los tres aspectos fundamentales que pueden ser fácilmente determinados y analizados, ellos son el control de las propiedades y estado de aceite, el control de las partículas causadas por desgaste, y el control de la contaminación del aceite por factores externos (como sucede con la tierra) como por factores internos (presencia de agua, refrigerante, combustible consecuencia de fugas en los conductos de transporte).
- Se han empleado herramientas tan variadas como es el caso de los diagramas de Ishikawa (esqueleto de pescado) para determinar las áreas de posible falla. Esta forma de análisis de fallas es quizá la más efectiva, porque al momento de considerar las fallas, incluso es más fácil determinar cuándo una falla tiene repercusión en más de un elemento, haciendo que dicha falla sea interpretada como normal, de poca importancia, de elevada importancia o incluso grave.

- En la actualidad se predice solamente fallas por desgaste con los datos proporcionados, pero se debe recordar que dentro de un motor no existe solamente problemas de desgaste, sino por el contrario, estos problemas son consecuencia directa de fallas en sistemas o elementos que no registran elementos desprendidos, o que muchas veces son los que contaminan o degradan al aceite lubricante.
- Cuando un equipo presente una elevada tendencia de desgaste, es muchas veces aconsejable se tomen muestras a periodos diferentes a cuando se realiza un cambio de aceite. Estas muestras pueden mostrar si en verdad existe un problema de desgaste severo, o si por el contrario existe un problema serio de contaminación del aceite.
- Se debe cuidar que la viscosidad no se vea seriamente reducida de sus valores de análisis, debido a que el aceite debe tener cierta adherencia y contextura para garantizar no sólo la lubricación y refrigeración, sino una velocidad de desplazamiento entre elementos lubricados móviles óptima.
- El estado de los equipos es fundamental de ser considerado, ya que el mantenimiento es una forma de dar un alivio al sobreesfuerzo al que se somete al equipo. De no tomarse en cuenta esta consideración se corre el riesgo de no ser efectivo el análisis de aceites, ya que el motor presentará datos que no son apegados a la realidad, invalidando a todo el proceso de análisis.

6.2. Recomendaciones.

- Se debería conseguir un mejor análisis de las muestras de aceite por parte del laboratorio en el sentido que el campo de análisis sea mayor. El desgaste es fundamental de ser controlado, pero muchas veces la contaminación y la degradación propia del aceite influyen seriamente cuando el equipo se encuentra en funcionamiento.
- Se debe cuidar que los periodos de cambio de aceite se cumplan según lo estipulado por la normativa de la empresa. No se debe sacrificar el estado de un equipo por un par de horas de trabajo adicional.

- Cuando las muestras de aceite se hayan tomado a destiempo, es decir, luego de varias horas del intervalo de tiempo determinado, se deberá hacer una corrección de los valores de elementos de desgaste y de aditivos, no así de las propiedades físicas. Esta corrección es necesaria porque se analiza a las muestras en función de un parámetro similar que son las horas o los kilómetros de funcionamiento.
- Se deberá equipar al personal de mantenimiento de instrumentos que ayudan a una evaluación preliminar de la muestra una vez obtenida. Dicha evaluación no tiene un carácter vinculante en el análisis final, pero ayudará a evitar un funcionamiento extremo del equipo.
- Se debe instruir al personal sobre las propiedades de los aceites lubricantes, esto con la finalidad de evitar cambios de tipo de aceite de manera arbitraria. Así mismo, se debe cuidar que no se adhieran sustancias mejoradoras para el aceite, ya que en lugar de ayudar al aceite, puedan reaccionar de manera opuesta generando una mayor degradación del aceite.
- Se debe controlar el correcto estado de los demás sistemas que componen al motor, porque muchos de ellos aunque no están directamente relacionados con el sistema de lubricación, si pueden en caso de presentar una falla, alterar la calidad de la lubricación del motor.
- Se recomienda conocer las características constructivas de los elementos móviles que están diseñados para desgastarse. Así se puede tener una concepción más amplia de las fuentes de desgaste, ya que los mismos son los que contribuyen en un alto porcentaje con este problema

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS CONSULTADOS

1. ADAMS, O.L., “El Motor Diesel Moderno”, Barcelona, ed. Labor S.A., 1960, 3^{era} reimpresión
2. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, “ASM Handbook. Friction, Lubrication and Wear Technology”, Oak Ridge National Laboratory, 1992
3. CHIRE RAMÍREZ, Héctor “Averias en los motores diesel” Profesor de autotrónica y automoción, Arequipa – Perú
4. ERPELDING, N.L. “Reparación y puesta a punto de motores diesel”, 1979, Barcelona, ed. Marcombo, 1979
5. MARKS, “Manual del Ingeniero Mecánico”, Tomo 1, Editorial Mc Graw-Hill, 9na. Edición en inglés, 3ra edición en español, 1987.
6. MAYR, F. “Motores de combustión interna. Motores diesel fijos y marinos”, Barcelona, ed. Labor, 1953
7. ROJAS NADAL MANUEL, “Reporte Investigación sobre fallas y averías de Motores de Combustión Interna. Academia para la Ciencia Militar de la URSS”. 1998.
8. “Tribology, Viscosity, lubrication and friction theories, section 1.”

DOCUMENTOS TÉCNICOS, PUBLICACIONES Y REVISTAS

9. ADLEY INSTITUTO, http://www.cursos-distancia.com.uy/area-mecanica/curso-de-motores-diesel/curso-de-motores-diesel.html ”Curso de motores diesel”
10. ENERGY API, http://www.api.org/eolcs “guía de aceite para motores”
11. Mack Truck, Análisis de Falla de Cojinete, Manual de Mantenimiento
12. Mack Truck, Análisis de Falla de Pistón, Manual de Mantenimiento
13. Mack Truck, Análisis de Falla de Turbocargador, Manual de Mantenimiento
14. Mack Truck, Fundamento de análisis de falla, Manual de Mantenimiento

15. NAVARRO Diego, “Reference Guidelines For Wear Metals, Contaminants, Lubricants, Coolant and Fuel”, John Deere Co., Mayo 2010
16. NAVARRO Diego, “Selection and Interpretation of Fluid Analysis for Construction and Forestry Equipment ”, John Deere Co., 27 de octubre de 2006
17. VALDERRAMA ROMERO, Andrés, “Diagnóstico técnico de motores diesel mediante el análisis estadístico del aceite lubricante**”,** UNMSM. Facultad de Ciencias Físicas, 2001
18. WIDMAN, Richard “Estrategias para consolidación de lubricantes”, boletín 35
19. REVISTA MACHINERY LUBRICATION EN ESPAÑOL, www.machinerylubrication.com/sp. “Interpretación sistemática del análisis de aceite – Técnica SACODE”.

PAGINAS DEL INTERNET

20. http://www.chevrolet.com.ec/
21. http://www.detroitdiesel.com
22. http://www.infonegocio.com/detroitmotors/index_productos_AAA.htm
23. http://www.itacr.com/analisis.html
24. http://www.manuales-pdf.com/manual-de-fallas-de-un-detroit-serie-60/
25. http://www.manuales-pdf.com/detroit-diesel-manual-de-reparacion-de-motores-serie-60/5/
26. http://maquinariasagricolas.blogspot.com/
27. http://motores.com.py/foro/f.9/6179-arbol-de-levas.html
28. http://www.portalautomotriz.com/content/site/module/news/op/displaystory/story_id/166/format/html/
29. http://www.salesianosburgos.com/DEPARTAMENTOS/Autos/apuntes/Apuntes%20de%20Motores/03Clasificacion%20de%20los%20motores.pdf
30. http://www.solomantenimiento.com
31. http://www.uamerica.edu.co/motores/d1/pages/bloque.htm

TESIS RELACIONADAS CON EL TEMA

1. ARELLANO ORTIZ, Gabriel Alejandro, “Implantación de análisis de aceite en motores de combustión interna de ciclo diesel”, ESPOL, Guayaquil, 2009
2. CHAVEZ VENEGAS, Carlos Estuardo, “Análisis de aceite de los motores diesel de un buque pesquero para mantenimiento predictivo”, ESPOL, Guayaquil, 2007
3. GUDIÑO Y., Andrés; VASQUEZ N., Raúl. “Elaboración de un plan de mantenimiento para las bombas Triplex propiedad de BJ Services Ecuador”, Quito, octubre 2008
4. NÉDER MUÑOZ, Carlos; MARIN, José, “Aplicaciones del análisis de aceite usado en motores a diesel de uso marino” ESPOL, Guayaquil, 2003