

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**



CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**“ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DEL USO DE FILTROS DE
ACEITES ALTERNOS EN EL ENVEJECIMIENTO PREMATURO
DEL ACEITE DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.”**

AUTORES:

**ANGEL RENE CEDILLO SALINAS
DARLY FABRICIO JARAMILLO LEÓN**

DIRECTOR:

INGENIERO CRISTIAN GARCÍA

CUENCA, 11 DE AGOSTO DEL 2014

DECLARATORIA

EL trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecida en la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnico-científico y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presente declaración sedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual , por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, agosto 11 del 2014



Angel Rene Cedillo Salinas
C.I. 0105556377



Darly Fabricio Jaramillo León
C.I. 0705374445

CERTIFICADO

Certifico que el presente proyecto de tesis denominada: *“ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DEL USO DE FILTROS DE ACEITES ALTERNOS EN EL ENVEJECIMIENTO PREMATURO DEL ACEITE DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”*; ha sido desarrollada en su totalidad por los señores: Ángel René Cedillo Salinas y Darly Fabricio Jaramillo León, la cual ha sido asesorada y revisada por mi persona.

Atentamente,



Ing. Cristian García

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis la dedico a toda mi familia en especial a mis padres, Rubén Cedillo y Rosa Salinas quienes siempre confiaron en mí, me apoyaron en todo y me dieron fuerzas para salir adelante y culminar mis estudios. También dedico esta tesis a todos mis hermanos, Sergio, Guillermina y Segundo quienes son parte fundamental de mi vida. Además dedico esta tesis a mi querida enamorada Roció Alvarado que me ha acompañado durante toda mi carrera universitaria, con su apoyo incondicional. Y finalmente dedico esta tesis a todos mis conocidos, amigos, compañeros y en especial a toda esa linda gente de mi querido Kalaglas pueblo donde nací.

ÁNGEL RENE CEDILLO SALINAS

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación se lo dedico a Dios quien me ha guiado por el buen camino y me ha permitido mantenerme firme durante esta etapa de mi vida.

A mis padres quienes supieron apoyarme incondicionalmente tanto en lo emocional como económico sin importar las circunstancias, por los principios y valores que me inculcaron desde pequeño.

A mis hermanos por ser parte fundamental en mi vida y que han sabido brindarme su confianza, apoyo y cariño.

A mi súper amiga Karina por estar a mi lado en los buenos y malos momentos aconsejándome y dándome ánimos para concluir mis estudios.

DARLY FABRICIO JARAMILLO LEÓN

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a Dios por todo lo que me ha dado; por las fuerzas, valentía y sabiduría, por las oportunidades que me ha brindado, gracias por estar siempre conmigo en especial en esos momentos difíciles. Agradezco a mi padre que trabajando 14 horas diarias en un país lejano auspicio toda mi carrera ¡Gracias Papá! Por todo tu esfuerzo y valentía. Gracias Mamá por todo tu amor y comprensión. También agradezco a todos mis profesores por transmitirme su valioso conocimiento, al Ing. Cristian García por su apoyo, a mi compañero de Tesis Darly Jaramillo por ser parte fundamental de este proyecto de tesis Y finalmente agradezco a toda mi familia por creer en mí, al gerente de la empresa por su apertura al desarrollo del proyecto de tesis y a Rómulo Pulla por su voluntad para trabajar conjuntamente con nosotros en dicho proyecto. ¡Gracias a todos!..... ¡Mil gracias!.....

ÁNGEL RENE CEDILLO SALINAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a sus angelitos por haberme cuidado durante el transcurso de mi formación profesional.

A mis padres y hermanos por darme todo su amor y amistad a lo largo de mi vida; LOS AMO.

A mi compañero de tesis René por lo aprendido en este proyecto de investigación.

Al Ing. Cristian García por su apoyo y conocimientos compartidos, vitales para la realización de la tesis.

Al Ing. Pablo Arévalo por la ayuda dada en el transcurso de la investigación.

A todos ustedes mil gracias, DIOS LOS BENDIGA.

DARLY FABRICIO JARAMILLO LEÓN

RESUMEN

El desarrollo de la tesis parte desde una perspectiva muy general hacia una más específica, en el capítulo I se presentan conceptos muy importantes como la tribología y los sistemas de lubricación con sus diferentes componentes y características, que forma parte imprescindible del motor de combustión interna; dichos conceptos sirven de base para implementar el método de mantenimiento predictivo de análisis de aceite usado; esta metodología sirve para evaluar el estado real de un sistema lubricado.

En el capítulo II se adentra con más detalle a analizar los principales factores, parámetros y contaminantes (externos e internos) que generan degradación del aceite lubricante además de estudiar las zonas del motor que son más propensas a sufrir desgaste prematuro por la deficiente lubricación, altas temperaturas (cámara de combustión), velocidad de cizallamiento y presiones internas; para terminar este capítulo se realiza un análisis de la formación de depósitos en todo el sistema de lubricación especialmente en el cárter de aceite.

En el capítulo III se presentan los equipos y técnicas aplicadas para analizar los diferentes parámetros de degradación y contaminación del aceite lubricante además de las normas bajo las cuales se analizara la muestra de aceite en el laboratorio. En este capítulo se empezó el monitoreo del aceite lubricante utilizando en primera instancia filtros de baja gama en el cambio de aceite y luego un filtro de alta gama para luego en capítulo V evaluar la capacidad y eficiencia de dichos filtros por medio del estudio y comparación matemática de las pendientes de las principales gráficas de las propiedades físico químicas del aceite lubricante como el TBN, Viscosidad, Hollín, y las partículas de Desgaste como Hierro (Fe), Cromo (Cr), Aluminio (Al), etc.

En el capítulo IV para nosotros los autores es uno de los más importantes porque se presenta un análisis exhaustivo de las diferencias estructurales entre los filtros de aceite de baja gama vs alta gama, además se evalúa la microestructura de los elementos filtrantes (diámetro de las fibras y porosidad), peso, área, entre las principales características.

Finalmente en el capítulo V se interpreta cada una de las propiedades físico químicas y partículas de desgaste del aceite lubricante con sus respectivas gráficas como fruto del monitoreo del aceite lubricante en un periodo de 6 meses en diferentes kilometrajes de recorrido, además se expone los principales problemas que se generó en las dos unidades muestreadas durante el periodo de muestreo, entre dichos problemas se encuentra el árbol de levas con elevado desgaste que acarreo una serie de inconvenientes de funcionamiento a la unidad 29 (motor Isuzu) y el otro problema expuesto es la utilización de filtros de aire fisurados y en mal estado hecho que paso con la unidad 64 (motor Mercedes), luego en base a todo lo investigado emitimos el periodo de cambio de aceite adecuado para dichas unidades, además del costo- beneficio de utilizar filtros de aceite de alta gama vs los de baja gama.

Índice general

Índice de figuras XIII

Índice de tablas XIX

1. Generalidades de la tribología y lubricación de los motores de combustión interna.	1
1.1. Generalidades del circuito de lubricación.	1
1.1.1. Tribología del motor de combustión interna.	1
1.1.1.1. Rozamiento seco.	1
1.1.1.2. Rozamiento graso.	2
1.1.1.3. Rozamiento viscoso.	2
1.1.1.4. Rozamiento entre eje y cojinete.	3
1.1.2. Lubricación del motor de combustión interna.	4
1.1.2.1. Finalidad del sistema de lubricación.	4
1.1.2.2. Funcionamiento del sistema de lubricación.	6
1.1.2.3. Tipos de sistemas de lubricación.	7
1.1.2.4. Partes del sistema de lubricación.	9
1.2. Filtración.	14
1.2.1. Especificaciones técnicas de la filtración.	15
1.2.2. Filtro de aceite.	16
1.2.2.1. Tipos de filtros de aceite.	17
1.2.2.2. Sistemas de filtración.	19
1.2.2.3. Partes de un filtro de aceite.	20
1.2.3. Filtros de aire.	25
1.2.4. Filtros de combustible.	26
2. Propiedades de los aceites lubricantes y Contaminantes que generan desgaste en el motor.	27
2.1. Aceites lubricantes.	27
2.1.1. Lubricantes.	27
2.1.2. Aceites.	27
2.1.3. Aditivos.	28
2.1.4. Propiedades de los aditivos.	28
2.1.5. Clasificación de los aditivos.	28
2.1.5.1. Modificadores de propiedades físicas.	28
2.1.5.2. Modificadores de propiedades químicas.	29
2.1.5.3. Modificadores de propiedades físico-químicas.	30
2.1.6. Propiedades de los aceites.	32

2.1.6.1.	Densidad.	32
2.1.6.2.	Viscosidad.	33
2.1.6.3.	Índice de viscosidad.	33
2.1.6.4.	Punto de inflamación.	33
2.1.6.5.	Punto de congelación y de enturbiamiento.	33
2.1.7.	Clasificación de los aceites.	33
2.1.7.1.	Clasificación SAE.	34
2.1.7.2.	Clasificación API.	35
2.2.	Evaluación de los parámetros de degradación del aceite lubricante del motor de combustión interna.	36
2.2.1.	Efectos sobre la viscosidad.	38
2.2.2.	Resultados analíticos.	39
2.2.3.	TBN.	39
2.2.4.	TAN (numero acido total).	42
2.2.5.	Oxidación y nitración.	43
2.2.6.	Nivel de aditivos.	44
2.2.7.	Evaluación de los parámetros de degradación del aceite.	45
2.3.	Evaluación de los principales Contaminantes del Aceite lubricante de un motor de combustión interna.	46
2.3.1.	Introducción.	46
2.3.2.	Contaminación por Silicio.	47
2.3.2.1.	Problemas que se generan por la contaminación de silicio.	47
2.3.3.	Contaminación por agua.	48
2.3.3.1.	Efectos de la contaminación por agua en un sistema de lubricación.	49
2.3.3.2.	Efectos del agua sobre el lubricante.	49
2.3.3.3.	Análisis de contaminación por agua en motores diésel.	50
2.3.4.	Dilución.	51
2.3.4.1.	Efectos producidos por la contaminación por dilución de combustible en el aceite lubricante.	52
2.3.5.	Insolubles y materia carbonosa.	53
2.3.5.1.	Influencia de la materia carbonosa sobre la lubricación.	54
2.4.	Análisis de los principales elementos del motor de combustión interna que sufren desgaste.	55
2.4.1.	Desgaste del grupo pistón-segmentos-camisa.	55
2.4.1.1.	Desgaste Adhesivo.	55
2.4.1.2.	Desgaste Corrosivo.	56
2.4.2.	Desgaste Abrasivo.	57
2.5.	Formación de depósitos.	58
2.5.1.	Clasificación de los tipos de depósitos.	58
2.5.2.	Depósitos en la cámara de combustión.	59
2.5.2.1.	Hollín.	59
2.5.2.2.	Calamina vitrificada.	60
2.5.3.	Depósitos sobre las válvulas de escape.	61
2.5.4.	Depósitos en los alojamientos de los segmentos.	61

2.5.4.1.	Pegado en caliente.	62
2.5.4.2.	Pegado en frío.	62
2.5.5.	Depósitos sobre la falda del pistón.	63
2.5.6.	Depósitos a temperatura de funcionamiento relativamente baja.	63
3.	Técnicas, equipos y parámetros utilizados para evaluar el estado real de un aceite lubricante.	65
3.1.	Equipos y técnicas aplicables para el análisis de aceites lubricantes del motor.	65
3.1.1.	Técnicas analíticas para la determinación de la degradación del aceite.	65
3.1.1.1.	Viscosidad.	66
3.1.1.2.	Acidez-basicidad del aceite.	66
3.1.2.	Técnicas de análisis de la contaminación del aceite.	67
3.1.2.1.	Determinación de presencia de dilución por com- bustibles.	68
3.1.2.2.	Determinación de la contaminación con agua.	68
3.1.3.	Espectrometría infrarroja.	69
3.1.4.	Análisis para la determinación del desgaste del motor.	69
3.1.5.	Espectrometría.	70
3.1.6.	Conteo de partículas.	70
3.1.7.	Microscopia.	71
3.2.	Proceso técnico para el cambio de aceite.	71
3.3.	Parámetros bajo los cuales se realizara la toma y análisis de las muestras de aceite.	77
3.4.	Normas bajo las cuales se realiza el análisis para determinar el estado real de un aceite lubricante.	81
4.	Características específicas de los filtros de baja gama vs alta gama.	82
4.1.	Selección de los vehículos para el muestreo.	82
4.2.	Estudio de las diferencias entre filtros de Aceite de Baja gama vs Alta gama.	84
4.2.1.	Tubo central perforado.	84
4.2.2.	Elemento Filtrante.	86
4.2.3.	Tapa superior.	92
4.2.4.	Tapa Inferior.	93
4.2.5.	Diafragma Antirretorno.	94
4.2.6.	Muelle de Sobrepresión.	95
4.2.7.	Placa Roscada.	95
4.3.	Características generales de las fibras del elemento filtrante.	96
4.3.1.	Características específicas de los elementos filtrantes.	97
4.3.1.1.	Elementos filtrantes utilizados en nuestro medio.	97
4.3.1.2.	Elementos filtrantes recomendados en el presente proyecto de tesis.	101

5. Análisis de resultados de las muestras de aceite.	104
5.1. Análisis de resultados.	104
5.2. Interpretación de los resultados.	105
5.2.1. Parámetros que sirven para evaluar el estado real del aceite lubricante del motor de combustión interna (Unidad 29).	106
5.2.1.1. Gráfica del TBN.	106
5.2.1.2. Gráfica de V100.	107
5.2.1.3. Gráfica del ST (Hollín).	108
5.2.2. Parámetros que sirven para evaluar el desgaste de los ele- mentos del motor de combustión interna (Unidad 29).	109
5.2.2.1. Gráfica del Hierro (Fe).	109
5.2.2.2. Gráfica del Cromo.	110
5.2.2.3. Gráfica del Aluminio.	110
5.2.2.4. Gráfica del Silicio.	111
5.2.3. Árbol de levas con excesivo desgaste: problemas que ge- nera en el motor de combustión interna y en sus sistemas auxiliares (lubricación); Unidad 29.	111
5.2.4. Parámetros que sirven para evaluar el estado real del aceite lubricante del motor de combustión interna (Unidad 64).	116
5.2.4.1. Gráfica del TBN.	116
5.2.4.2. Gráfica de la Viscosidad 100.	117
5.2.4.3. Gráfica del Hollín (ST).	118
5.2.5. Parámetros que sirven para evaluar el desgaste del motor de combustión interna (Unidad 64).	119
5.2.5.1. Gráfica del Hierro (Fe).	119
5.2.5.2. Gráfica del Cromo.	119
5.2.5.3. Gráfica del Aluminio.	120
5.2.5.4. Gráfica del Silicio.	121
5.2.6. Filtro de aire saturado: problemas que genera en el motor de combustión interna y en sus sistemas auxiliares (lubri- cación); Unidad 64.	121
5.3. Eficiencia de los filtros de baja Gama vs Alta Gama.	124
5.3.1. Hollín (ST).	125
5.3.2. Viscosidad 100.	126
5.3.3. TBN.	127
5.3.4. Hierro (Fe).	129
5.3.5. Cromo (Cr).	130
5.3.6. Aluminio (Al).	131
5.4. Periodo adecuado para el cambio de aceite de las unidades mues- treadas.	132
5.5. Análisis Costo - beneficio de utilizar filtros de aceite de Alta gama vs Baja gama.	133
5.6. Conclusiones.	136
Bibliografía	137
Anexos	141

A. Imágenes de los papeles filtrantes obtenidas con la ayuda del microscopio.	141
B. Evolución del contenido de azufre del combustible diésel para uso automotriz.	157
C. Tabla de valores limite condenatorio de un aceite lubricante en función de los parámetros de desgaste del motor y sus propiedades (físico-químicas).	158
D. Ahorro de combustible por la utilización de filtros de alta gama.	160
E. Aceites lubricantes y filtros utilizados en nuestro medio.	162

Índice de figuras

1.1. Rozamiento seco.	2
1.2. Rozamiento graso.	2
1.3. Rozamiento viscoso.	3
1.4. Rozamiento entre eje y cojinete.	3
1.5. Zona de máxima carga en función de la velocidad del eje.	4
1.6. Cuerva indicativa de la pérdida de potencia por rozamiento, en función de la velocidad.	5
1.7. Elementos lubricados por el aceite dentro del motor.	6
1.8. Sistema de lubricación por borboteo, proyección del aceite contra las paredes del motor.	7
1.9. Sistema de lubricación por presión.	8
1.10. Sistema de lubricación por cárter húmedo.	8
1.11. Sistema de lubricación por cárter seco.	9
1.12. Cárter.	10
1.13. Colador de succión.	10
1.14. Bomba de aceite.	11
1.15. Intercambiador de agua-aceite.	12
1.16. Varilla indicadora del nivel del aceite.	13
1.17. Ubicación y funcionamiento de la válvula de descarga.	14
1.18. Filtros usados en el motor de combustión interna.	15
1.19. Filtros de aceite de cartucho recambiable.	17
1.20. Filtros de aceite monoblock.	18
1.21. Filtros de aceite centrífugo.	19
1.22. Esquema del circuito de lubricación con filtro en serie.	20
1.23. Esquema del circuito de lubricación con filtro en paralelo.	20
1.24. Esquema y despiece de un filtro de aceite monoblock.	21
1.25. Grado de retención con la utilización de diversos tipos de papeles filtrantes después de un solo pasó por el filtro.	23
1.26. Estructura de un filtro de aceite sintético.	24
1.27. Elemento filtrante reforzado con faja.	24
1.28. Filtro de aire.	25
1.29. Contaminación del aire en función de la altura de toma de muestra para un tractor en servicio en el campo.	26
1.30. Configuración del filtro de combustible.	26
2.1. Comportamiento de los aditivos mejoradores del IV.	29
2.2. Selección del grado SAE en función de la temperatura ambiente.	35
2.3. Evolución del contenido de azufre en el combustible, España.	37

2.4. Influencia de los añadidos de aceite sobre la medida de la viscosidad al cambio, SAE15W40.	39
2.5. Nivel del TBN necesario en el aceite nuevo y admisible en el usado según el contenido de azufre del combustible.	40
2.6. Evolución del TBN al cambio.	40
2.7. Evaluación del valor residual del TBN al periodo de cambio de aceite.	41
2.8. Evolución de las medidas de viscosidad a 100 °C y TBN en el aceite usado.	42
2.9. Patrón de colores para la comprobación de PH del aceite.	42
2.10. Variación del TBN, TAN y viscosidad de un aceite automotor.	43
2.11. Evaluación de la nitración del aceite con el uso del mismo.	44
2.12. Comparación de la viscosidad frente a la nitración y oxidación.	44
2.13. Factores que afectan sobre la exigencia de la filtración.	48
2.14. Efecto de la contaminación con agua sobre los aditivos de los aceites lubricantes.	50
2.15. Desgaste generalizado en cojinete debido a insuficiente espesor de la película lubricante como resultado de presencia de dilución.	52
2.16. Desgaste en cojinetes de bancada, eliminación de la capa de plomo superficial en motor de uso ferroviario debido a la contaminación del aceite por dilución.	53
2.17. Desgaste de la camisa del motor en función del tamaño del mismo.	57
2.18. Proceso de formación del hollín (altas temperaturas).	59
2.19. Estructura típica de las partículas recogidas en el escape de un motor diésel.	60
2.20. Formación de depósitos sobre la guía y asiento de válvula (medias y altas temperaturas).	61
2.21. Formación de depósitos sobre los segmentos del pistón (temperaturas medias).	62
2.22. Formación de depósitos sobre la falda del pistón (temperaturas medias).	63
2.23. Formación de depósitos en el cárter del motor (temperaturas bajas).	64
3.1. Evolución típica del TBN y TAN en el lubricante usado en función del tiempo de uso del mismo.	67
3.2. Variación de la viscosidad a 100 °C en función de la cantidad de dilución por combustibles presente en el aceite.	68
3.3. Espectrómetro de emisión atómica.	70
3.4. Microscopio metalográfico OLYMPUS.	71
3.5. Productos en stock.	71
3.6. Limpieza de la caneca de aceite.	72
3.7. Productos en la zona de cambio de aceite.	72
3.8. Posicionamiento de la unidad.	73
3.9. Posicionamiento de la unidad.	73
3.10. Proceso adecuado para eliminar el excedente de polvo de un filtro de aire.	74
3.11. Limpieza del habitáculo del filtro de aire.	74
3.12. Limpieza de la varilla de nivel y voca de llenado del aceite.	75
3.13. Verificación del nivel de aceite.	75

3.14. Drenado del aceite.	75
3.15. Desmontaje del filtro de aceite usado.	76
3.16. Limpieza de la boquilla del filtro de aceite.	76
3.17. Montaje del filtro de aceite.	77
3.18. Proceso de llenado de aceite del motor.	77
4.1. Infraestructura de la empresa LANCOMTRI S.A	82
4.2. Unidad 29.	83
4.3. Unidad 64.	84
4.4. Tubo central de un filtro de aceite de alta gama.	85
4.5. Colapso del tubo central por acción de una sobrepresión del sistema de lubricación.	85
4.6. Tubos centrales de los filtros de aceite involucrados en la tesis. . .	86
4.7. Eficiencia de un filtro de aceite.	87
4.8. Tubos centrales de los filtros de aceite involucrados en la tesis. . .	87
4.9. Medición de la distancia entre pliegues.	88
4.10. Distribución del pegamento en los filtros de aceite.	89
4.11. Concentración de masilla en la parte interna del elemento filtrante.	89
4.12. Diferencias en la parte superior del elemento filtrante (tapa). . . .	92
4.13. Diferencias entre las tapas superiores del elemento filtrante, lengüetas.	93
4.14. Diferencias en la parte inferior del elemento filtrante (tapa). . . .	93
4.15. Distribucion de pegamento en la tapa inferior.	94
4.16. Diferencias entre el diafragma de los filtros.	94
4.17. Diferencias entre los muelles.	95
4.18. Diferencias entre las tapas del filtro.	96
4.19. Vista frontal del diseño de las tapas roscadas.	96
4.20. Filtro baja calidad.	97
4.21. Filtro de alta calidad.	97
4.22. Diámetro de las fibras de un elemento filtrante de baja calidad. . .	98
4.23. Separación entre las fibras (poros) de un elemento filtrante de baja calidad.	99
4.24. Diámetro de las fibras de un elemento filtrante de baja calidad, constituido por un cierto porcentaje de fibras sintéticas.	100
4.25. Separación entre las fibras de un elemento filtrante con cierto por- centaje de fibras sintéticas.	100
4.26. Diámetro de las fibras de un elemento filtrante de alta calidad. . .	101
4.27. Separación entre las fibras de un elemento filtrante de alta calidad.	102
4.28. Separación entre las fibras de un elemento filtrante de alta calidad.	102
4.29. Diámetro de las fibras de un elemento filtrante constituido por fibras sintéticas y semi-sintéticas..	103
5.1. Grafica de los valores del TBN obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	106
5.2. Grafica de los valores de Viscosidad obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	107
5.3. Grafica de los valores de Hollín obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	108
5.4. Grafica de los valores de Hierro obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	109

5.5. Grafica de los valores de Cromo obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	110
5.6. Grafica de los valores de Aluminio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	110
5.7. Grafica de los valores de Silicio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.	111
5.8. Árbol de levas de un motor diésel de 6 cilindros.	112
5.9. Diseño estriado del árbol de levas de un motor diésel de 6 cilindros.	112
5.10. Soldadura en el árbol de levas de un motor diésel de 6 cilindros.	113
5.11. Soldadura del árbol de levas cedida como consecuencia de las altas presiones de operación.	114
5.12. Grietas generadas sobre la soldadura del árbol de levas.	114
5.13. Posibles grietas internas a causa de las altas presiones.	114
5.14. Consecuencias de usar un árbol de levas soldado.	115
5.15. Repercusión del uso de un árbol de levas soldado sobre el papel filtrante del filtro de aceite.	116
5.16. Concentraciones de metales en el aceite producto del árbol de levas soldado.	116
5.17. Grafica de los valores del TBN obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	117
5.18. Grafica de los valores de Viscosidad obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	117
5.19. Grafica de los valores de Hollín obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	118
5.20. Grafica de los valores de Hierro obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	119
5.21. Grafica de los valores del Cromo obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	120
5.22. Grafica de los valores del Aluminio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	120
5.23. Grafica de los valores del Silicio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.	121
5.24. Filtro de aire externo de un motor diésel, nuevo.	122
5.25. Filtro de aire externo de un motor diésel, después de un cierto recorrido.	123
5.26. Filtro de aire interno de un motor diésel, nuevo.	123
5.27. Filtro de aire interno de un motor diésel, después de un cierto recorrido.	124
5.28. Evolución de la presencia de silicio en una muestra de aceite por uso de filtros de aire sometidos a la limpieza con aire a presión y sin esta.	124
5.29. Partes por millón de Hollín utilizando un filtro de Baja Gama.	125
5.30. Partes por millón de Hollín utilizando un filtro de Alta Gama.	125
5.31. Comportamiento de la Viscosidad @100 utilizando un filtro de Baja Gama medida en Cst (centiStoke).	126
5.32. Comportamiento de la Viscosidad @100 utilizando un filtro de Alta Gama medida en Cst (centiStoke).	127
5.33. Numero Básico Total expresada en mg KOH/g.	128

5.34. Numero Básico Total expresada en mg KOH/g.	128
5.35. Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de hierro utilizando un filtro de aceite de baja gama.	129
5.36. Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de hierro utilizando un filtro de aceite de Alta gama.	129
5.37. Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Cromo utilizando un filtro de aceite de Baja gama.	130
5.38. Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Cromo utilizando un filtro de aceite de Alta gama.	131
5.39. Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Aluminio utilizando un filtro de aceite de Baja gama.	131
5.40. Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Aluminio utilizando un filtro de aceite de Alta gama.	132
A.1. Sección transversal de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.	142
A.2. Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 5X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.	143
A.3. Muestra del elemento filtrante seccionado.	143
A.4. Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 10X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.	144
A.5. Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 20X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.	145
A.6. Dimensión de los espacios entre fibras en función de la distribución de las mismas.	145
A.7. Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 50X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.	146
A.8. Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 100X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.	147
A.9. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite usado.	148
A.10. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.	149
A.11. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.	150
A.12. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.	151
A.13. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.	152
A.14. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.	153
A.15. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.	154
A.16. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.	155
A.17. Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.	156
B.1. Evolución del contenido de azufre del combustible diésel para uso automotriz, 1970 - 2006.	157

D.1. Gráfica del consumo de combustible de la unidad 29 en el último semestre (Enero-Junio del 2014).	160
D.2. Gráfica del consumo de combustible de la unidad 64 en el último semestre (Enero-Junio del 2014).	161
E.1. Recorrido diario de los buses de las empresas de servicio urbano. .	162
E.2. Periodo de cambio de aceite manejado por las empresas.	163
E.3. Grado de viscosidad del aceite lubricante para los motores diésel. .	163
E.4. Aceite lubricante para motores diésel elegido por las empresas. . .	164
E.5. Filtro de aceite para motores diésel usados por las empresas. . . .	165
E.6. Condiciones bajo las cuales se realiza el cambio del filtro de aire del motor.	165
E.7. Duración del proceso de cambio del aceite del motor.	166
E.8. Costo aproximado del proceso de mantenimiento.	166

Índice de tablas

2.1. Clasificación de los aceites monogrados para motores de combustión interna.	34
2.2. Clasificación de los aceites multigrados.	35
2.3. Clasificación API de los aceites para motores de combustión interna diésel.	36
2.4. Ejemplos de ahorro por el alargamiento del periodo de cambio del aceite.	37
2.5. Características de diferentes tipos de aceites usados en automoción.	37
2.6. Efectos característicos sobre la viscosidad de los aceites usados.	38
2.7. Concentraciones medias en elementos típicos de aditivación.	45
2.8. Valores límites máximos según diferentes fuentes en motores de automoción.	46
2.9. Problemática Asociada a la presencia de agua en el lubricante.	50
2.10. Resumen de Medidas de Agua en muestras analizadas.	51
2.11. Causas y efectos de la contaminación por materia carbonosa.	54
3.1. Materiales presentes en una muestra de aceite de acuerdo a su origen.	70
3.2. Resumen de valores condenatorios de concentraciones metálicas en el aceite según diversos fabricantes. Los valores están expresados en partes por millón (ppm).	80
3.3. Valores límites máximos según diferentes fuentes en motores Diésel de Automoción.	80
4.1. Características de la unidad 29.	83
4.2. Características de la unidad 64.	84
4.3. Tabla de distancias entre pliegues de los filtros de aceite.	88
4.4. Área de filtración de los filtros que forman parte del estudio de esta tesis.	90
4.5. Análisis de la concentración de fibras existentes en los elementos filtrantes, en base al gramaje de los mismos.	91
5.1. Condiciones iniciales (sin uso) del aceite GULF 15W40 CI-4.	104
5.2. Condiciones del aceite tras un cierto recorrido, "ISUZU FTR32M de 7127 CC" (unidad 29 de la flota).	105
5.3. Condiciones del aceite tras un cierto recorrido, "MERCEDES BENZ de 12000 CC" (unidad 64 de la flota).	105
5.4. Costo- beneficio de utilizar filtros de aceite de alta gama vs baja gama.	134
C.1. Materiales presentes en una muestra de aceite de acuerdo a su origen.	158

C.2. Propiedades del aceite en una muestra de aceite de acuerdo a su origen.	158
D.1. Ahorro de combustible (diésel) en la unidad 29 con la utilización de filtros de alta gama.	160
D.2. Ahorro de combustible (diésel) en la unidad 64 con la utilización de filtros de alta gama.	161

Capítulo 1

Generalidades de la tribología y lubricación de los motores de combustión interna.

1.1. Generalidades del circuito de lubricación.

1.1.1. Tribología del motor de combustión interna.

Se define como ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, se centra en el estudio de tres fenómenos que van de la mano:

- Fricción entre cuerpos en movimiento.
- El desgaste como efecto natural de la fricción.
- Lubricación como el medio empleado para evitar el desgaste.

La fricción nace del rozamiento que se da entre las superficies de dos cuerpos generando una resistencia al movimiento que es proporcional a la carga aplica a dichos cuerpos. De aquí que el rozamiento que se da en un motor puede dividirse en tres clases: seco, graso y viscoso.

1.1.1.1. Rozamiento seco.

Es la resistencia al movimiento entre dos cuerpos sólidos, entre mayores sean las irregularidades de las superficies mayor será la resistencia que estas ofrecen al movimiento de las mismas y de forma contraria cuanto más pequeñas sean las irregularidades (mas pulida la superficie) menor será el esfuerzo requerido para vencer la resistencia entre las superficies. Estas irregularidades al engranar unas con otras arrancan microscópicas partículas metálicas, que a la larga producen rayones o depresiones en las superficies de los cuerpos en contacto, en la **figura 1.1** se muestra este tipo de rozamiento.

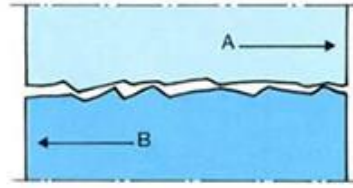


Figura 1.1: Rozamiento seco.
Fuente: [19]

1.1.1.2. Rozamiento graso.

Se origina entre dos sólidos cuyas superficies han sido revestidas con una fina capa de lubricante, con esta capa se rellena o nivela las irregularidades de las superficies de los cuerpos en contacto convirtiéndolas en lisas y perfectamente uniformes, considerando que la resistencia al movimiento es mucho menor a la que se da en el rozamiento seco. En los motores existe el rozamiento graso en los cojinetes, segmentos del pistón y los cilindros, al momento de iniciar la marcha el sistema de lubricación empieza a trabajar y las superficies rozantes reciben mayor cantidad de aceite lubricante, aun así se produce un desgaste importante, ver **figura 1.2**.

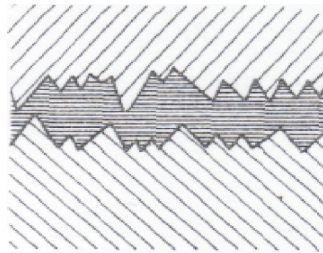


Figura 1.2: Rozamiento graso.
Fuente: [3]

1.1.1.3. Rozamiento viscoso.

Es la fricción o resistencia al movimiento relativo entre dos capas adyacentes de líquido, en la **figura 1.3** puede apreciarse dos sólidos y las capas de lubricante existentes entre ellos.

La capa A se halla adherida al objeto en movimiento W y por lo tanto esta se mueve a la misma velocidad del objeto tal como indica la flecha, la capa E queda adherida a la superficie del cuerpo inmóvil por lo que su movimiento será nulo, esto se considera un deslizamiento o movimiento relativo entre capas. Como se ve en las flechas de la figura cuanto mas cerca esta una capa del objeto inmóvil tanto menor es su movimiento.

Esta última condición es la ideal para cualquier tipo de motor con la cual se obtiene un engrase perfecto, pero depende en cierta medida de la velocidad de

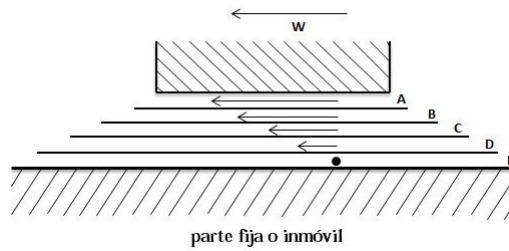


Figura 1.3: Rozamiento viscoso.

Fuente: [1]

movimiento de las piezas y debido a que los motores tienen velocidades variables que van de (0 a máxima velocidad), entonces hay momentos en los cuales se produce el rozamiento seco o graso y como consecuencia se genera el desgaste de las partes del motor.

1.1.1.4. Rozamiento entre eje y cojinete.

Alrededor del eje rotativo se adhieren capas de lubricante las cuales son arrastradas por dicho elemento, estas capas actúan en forma de cuñas introducidas entre el eje rotativo y el cojinete, la finalidad de estas cuñas oleosas es mantener separados al cojinete del eje, donde las capas del lubricantes soportan el peso del eje, ver **figura 1.4**.



Figura 1.4: Rozamiento entre eje y cojinete.

Fuente: [1]

En la **figura 1.5** puede evidenciarse como influye el lubricante sobre el conjunto, donde el área de máxima carga o de alta presión se encuentra entre el eje y el cojinete la cual varía de acuerdo a la velocidad de rotación adquirida por el eje. Cuando el eje se encuentra en reposo (a) la carga se encuentra directamente debajo, expulsando el lubricante de entre el eje y el cojinete dando lugar al contacto metal-metal, cuando el eje empieza a girar (b) arrastra consigo al lubricante, donde las capas forman una especie de cuña entre el eje y el cojinete separando ambos elementos llegando a obtener una lubricación limite (rozamiento graso), al aumentar la velocidad de rotación del eje (c) aumenta también el efecto de cuña

por lo que la zona de máxima presión se traslada hacia la izquierda y el eje queda soportado por la capa de aceite lubricante (rozamiento viscoso).

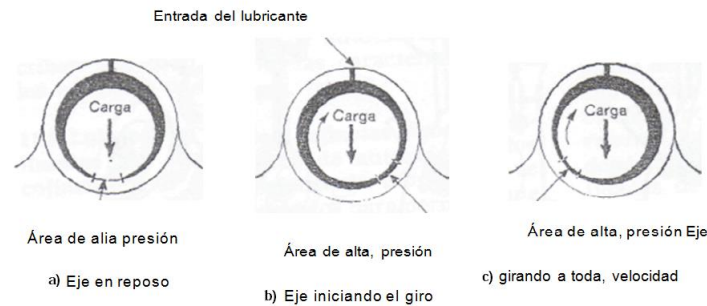


Figura 1.5: Zona de máxima carga en función de la velocidad del eje.
Fuente: [1]

1.1.2. Lubricación del motor de combustión interna.

Para que el motor de combustión interna opere bajo condiciones ideales y garantizar una larga vida útil del mismo se les ha incorporado el sistema de lubricación, el cual asegura que la superficie de todos los elementos en movimiento dentro del motor estén cubiertos con una capa de lubricante con el fin de reducir el esfuerzo necesario para el movimiento y el desgaste de los mismos.

1.1.2.1. Finalidad del sistema de lubricación.

Para muchas personas el aceite no es más que un fluido que únicamente sirve para lubricar sin embargo el aceite lubricante de un motor tiene más finalidades, como:

1. Reducir al mínimo el desgaste y pérdidas de potencia producidos por el rozamiento.

En un motor el rozamiento suele ser normalmente del tipo viscoso pero si en determinado caso el sistema de lubricación no funciona correctamente las partes móviles del motor no recibirán la cantidad de lubricante necesaria para su correcto funcionamiento pasando de rozamiento viscoso a seco o graso. Este tipo de rozamiento a la vez genera una pérdida de potencia considerable, la cual se obtiene de la potencia útil del motor para poder vencer el rozamiento, en la **figura 1.6** se da la curva de potencia absorbida por rozamientos en el motor obsérvese que por arriba de las 4000 rpm el consumo de potencia es de 40 hp.

Estos rozamientos pueden crear averías graves en partes primordiales del motor como los cojinetes que sufren un desgaste excesivo seguido de un aumento de la temperatura que produce la desintegración del mismo y consecuentemente la

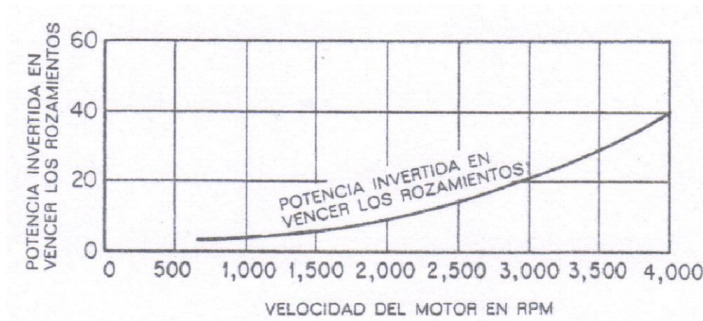


Figura 1.6: Curva indicativa de la pérdida de potencia por rozamiento, en función de la velocidad.

Fuente: [4]

ruptura de la biela y otras partes.

2. Eliminación del calor de las partes del motor.

El aceite lubricante circula por todo el circuito de lubricación dando un baño de aceite a todas las partes móviles lubricándolas y absorbiendo parte del calor producido, el cual es transportado por el sistema de lubricación hasta el depósito de aceite (cárter) donde el aire ambiente que circula por esta parte del motor se encarga de enfriar el aceite para que este vuelva a circular por el sistema, en otras palabras el aceite lubricante actúa como refrigerante para evitar que alguna parte del motor alcance temperaturas no deseadas peligrosas para su vida útil.

3. Absorción de golpes entre cojinetes y otras partes del motor.

En el momento que se produce el encendido de la mezcla (combustión), en el cilindro la presión aumenta considerablemente en un instante y es transmitida a todos los elementos conectados al cilindro como el bulón la biela y el cojinete, esta carga es absorbida por la película de lubricante existente entre el cojinete y la biela que actúa como un cojinete oponiéndose a la penetración o aplastamiento conservando la película, además reduce el ruido producido por el motor.

4. Estanqueidad entre segmentos del pistón y paredes del cilindro.

Los segmentos del pistón deben formar una unión hermética a los gases con las del cilindro, el aceite lubricante que ingresa a los cilindros ayuda a los segmentos para lograr esta finalidad además esta película de aceite compensa cualquier irregularidad existente sobre la superficie del cilindro para que no se escapen los gases de combustión de la cámara, también lubrica los segmentos para que estos puedan moverse con mayor facilidad sobre sus ranuras y por las paredes del cilindro.

5. Limpieza del motor.

El aceite está en constante movimiento desde el depósito (cárter) hasta las diversas partes del motor por medio de las venas de lubricación y en su paso

este arrastra cualquier tipo de impureza que pueda entrar o generarse en el motor (polvo que entra por la admisión, partículas procedentes del desgaste, etc.) y posteriormente depositarlas en el cárter.

1.1.2.2. Funcionamiento del sistema de lubricación.

Indistintamente del sistema de lubricación que posea el motor el objetivo a conseguir es el mismo, suministrar la cantidad de aceite requerida por las diferentes partes del motor para una óptima lubricación. Mediante la **figura 1.7** describimos el funcionamiento de este sistema, el cual empieza en el cárter (parte inferior del motor) donde está depositado todo el volumen de aceite requerido para garantizar una óptima lubricación del motor, de aquí por medio de una bomba el aceite es enviado a los diferentes puntos a lubricar como los apoyos de bancada, cabeza de biela, bulón, apoyos del árbol de levas, taques, guías de válvulas, cilindros, etc. Antes de que el aceite pase por la bomba, es filtrado por una rejilla la cual retiene las impurezas de mayor tamaño, de la bomba el aceite se dirige al filtro que tiene la finalidad de impedir que partículas de impurezas (metálicas y no metálicas) del orden de aproximadamente $5\mu\text{m}$ o mayores pasen a las canalizaciones de lubricación lo que conllevaría a una avería o desgaste severo de las partes en movimiento del motor, además la bomba se encarga de enviar el aceite a la presión y caudal requeridos para garantizar una lubricación viscosa.

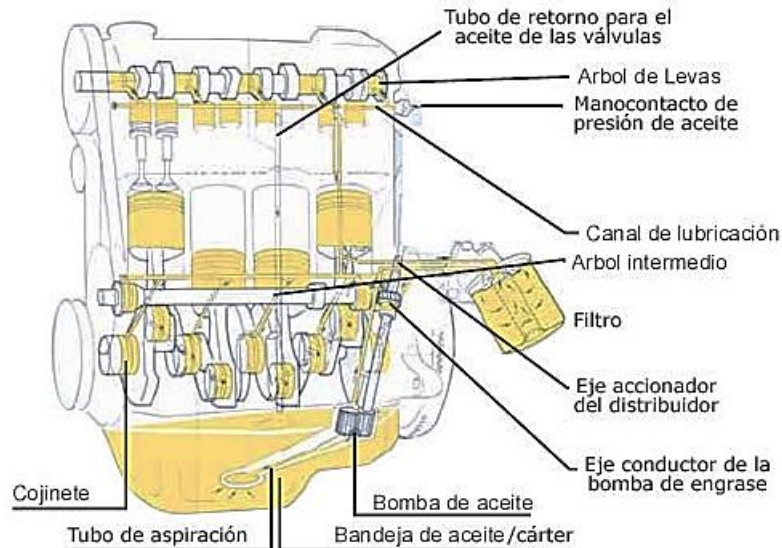


Figura 1.7: Elementos lubricados por el aceite dentro del motor.

Fuente: [19]

Una vez cumplida la finalidad de lubricación, refrigeración y limpieza (recoger todas las partículas metálicas y no metálicas), este retorna al cárter donde es enfriado y está listo para realizar su ciclo de trabajo nuevamente.

1.1.2.3. Tipos de sistemas de lubricación.

Los sistemas de lubricación de los motores se clasifican de acuerdo a las siguientes características que poseen:

- De acuerdo con el procedimiento con el que se realiza la lubricación a los diferentes puntos del motor.

Barboteo.

En este sistema de engrase el aceite es salpicado hacia arriba desde el depósito o cárter por piezas que giran rápidamente como el cigüeñal, en un pequeño espacio libre del cárter se forma una espesa niebla conformada por pequeñas gotas de aceite las cuales paulatinamente se introducen en los juegos entre las superficies metálicas rozantes. En la actualidad este sistema está en desuso y fue remplazado por el sistema de lubricación forzada debido a que este presenta algunos inconvenientes al momento de la lubricación como: consumo de aceite, rápida oxidación del mismo y falta de seguridad en las zonas de fuerte fricción, en la **figura 1.8** se muestra este sistema.

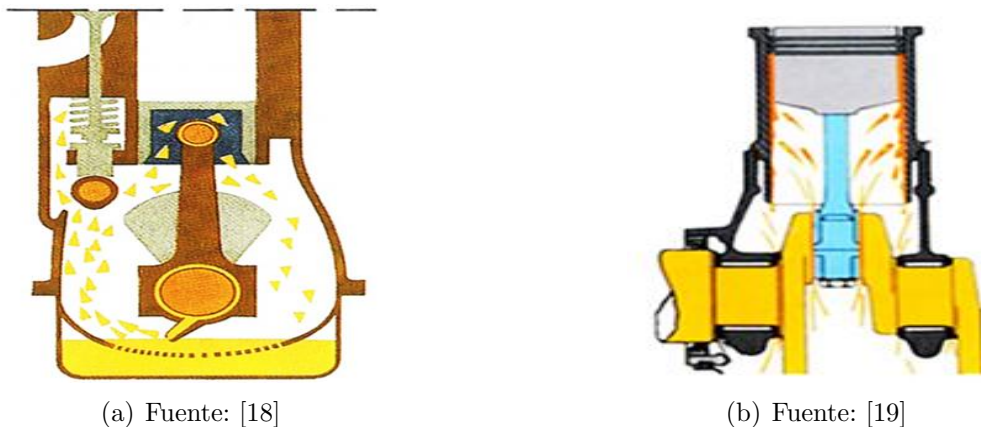
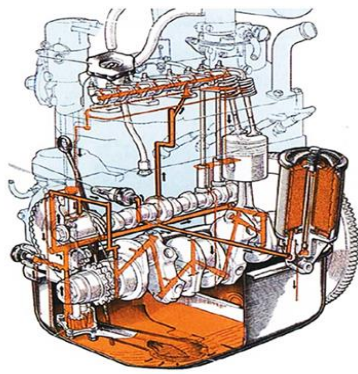


Figura 1.8: Sistema de lubricación por barboteo, proyección del aceite contra las paredes del motor.

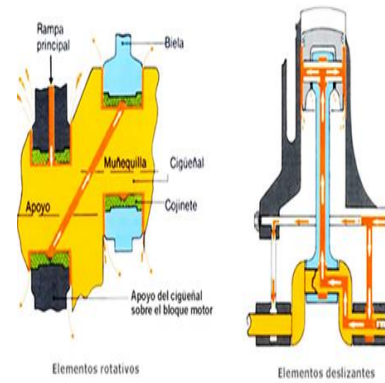
Presión.

La principal ventaja que este sistema presenta con relación al anterior es la de enviar el aceite a presión a todos los puntos de lubricación, garantiza la existencia de la cantidad necesaria de aceite y de su circulación intensa en el motor, por la acción de la bomba de aceite y conductos que permiten una lubricación continua desde y hacia el cárter, en la **figura 1.9** se muestra este sistema.

Mixta.



(a) Fuente: [18]



(b) Fuente: [19]

Figura 1.9: Sistema de lubricación por presión.

Este sistema es una combinación de los dos anteriores donde la mayoría de las piezas son lubricadas por medio de presión.

- Por el tipo de cárter.

Cárter húmedo.

Este sistema es el más utilizado en los vehículos, no es más que un recipiente en la parte inferior del motor donde se deposita el aceite el cual es filtrado y bombeado nuevamente a todo el motor, tal como se ve en la **figura 1.10**.

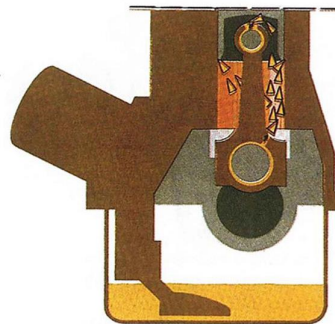


Figura 1.10: Sistema de lubricación por cárter húmedo.

Fuente: [18]

Cárter seco.

En este sistema el aceite tan solo escurre por el cárter y posteriormente pasa a ser acumulado en un depósito independiente al motor.

En la **figura 1.11** puede verse un esquema del funcionamiento de un circuito de cárter seco que consta de: una bomba de evacuación del cárter (2) que manda el aceite caliente hacia el radiador de refrigeración de aceite (3), la

bomba de engrase (5) que es la que succiona del depósito general de aceite (4) y envía a presión el líquido lubricante hacia las zonas propias de engrase del motor. Por medio de este sistema la temperatura es mucho más baja que en otros motores, debido a la longitud del circuito de enfriamiento y de la gran cantidad de aceite contenido en el depósito.

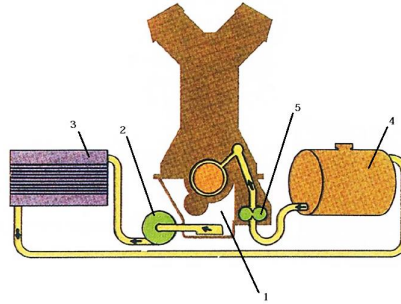


Figura 1.11: Sistema de lubricación por cárter seco.

Fuente: [18]

Este sistema se emplea en vehículos de competición con el fin de bajar el motor para obtener un centro de gravedad más bajo y una mejor lubricación del motor.

1.1.2.4. Partes del sistema de lubricación.

Cárter.

El sistema de lubricación está constituido por un depósito llamado cárter donde se aloja el aceite hasta alcanzar un nivel preestablecido por el fabricante, debe ser lo suficientemente grande como para que el nivel del aceite no este directamente en contacto con los extremos de los sellos del cigüeñal o para que las bielas no queden sumergidas en el aceite bajo condiciones de extrema velocidad y carga, este nivel debe asegurar que la toma de aspiración de la bomba esté sumergida en aceite en cualquier situación de funcionamiento del motor, para ello se instalan en el cárter unos rompeolas que evitan en gran medida el desplazamiento del lubricante, ver **figura 1.12**

Colador de succión o rejilla.

La rejilla está unida a la boca de entrada de la bomba, sumergida en el aceite del cárter y tiene la función de retener las partículas de mayor tamaño para que estas no ingresen a la bomba y posteriormente al filtro ocasionándole una obstrucción demasiado rápido, produciendo una lubricación deficiente, ver **figura 1.13**.

Bomba de aceite.



Figura 1.12: Cárter.

Fuente: [18]



Figura 1.13: Colador de succión.

Fuente: [20]

Es el órgano que tiene la función de tomar aceite del cárter y enviarlo al circuito de lubricación a una determinada presión y caudal. El caudal requerido de la bomba se determina a partir de las siguientes cantidades de aceite [6]; ver **figura 1.14**

- Suministra a los cojinetes del cigüeñal, que supone el 50 -70 % de todo el aceite que ingresa al conducto principal.
- Descargada a través de la válvula de reducción de la bomba y del filtro de depuración final del cárter.
- Suministrada al árbol de levas, a los mecanismos de accionamiento de las válvulas y a las unidades auxiliares (compresor, engranajes, turbocompresor, etc.).
- Usada para refrigerar la cara del pistón y lubricar los cilindros.
- La cantidad de aceite necesaria para refrigerar los pistones depende del tipo de motor, del sistema de refrigeración, del grado de sobrealimentación y de la frecuencia de rotación. Para la refrigeración se gasta el 30-50 % del aceite que ingresa para la lubricación de los mecanismos.
- El rendimiento volumétrico de la bomba depende de muchos factores en primer lugar de la magnitud de las holguras frontales y radiales entre los engranajes y el cuerpo, de la temperatura y la viscosidad del aceite, del acortamiento de la entrada de la bomba y contrapresión a la salida, del número de revoluciones de los engranajes y de las dimensiones de la bomba.

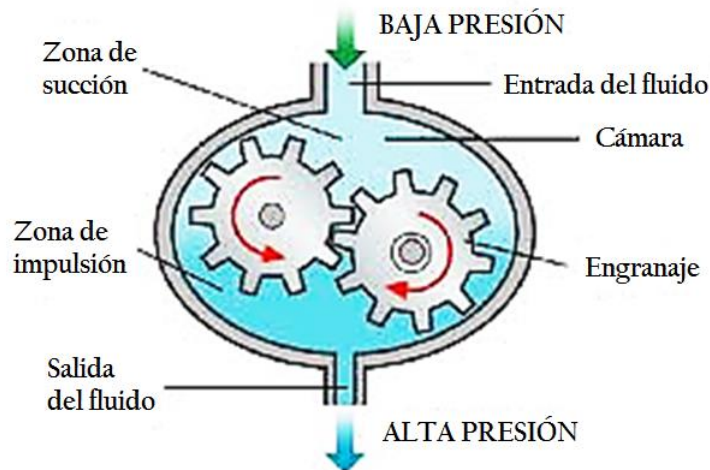


Figura 1.14: Bomba de aceite.
Fuente: [21]

Filtro de aceite.

Es un elemento que juega un papel muy importante dentro del sistema de lubricación ya que es el encargado de retener las impurezas tanto internas como externas contenidas en el aceite lubricante que circula por el circuito de lubricación y así conseguir una vida útil del motor de combustión interna más prolongada, en la sección 1.2 de este capítulo se profundizará más a cerca de este elemento tan esencial para el motor.

Tuberías o conductos.

Son los encargados de dirigir el aceite hacia los puntos de vital importancia que deben ser lubricados, los conductos practicados en el bloque y culata permiten la lubricación de los cojinetes y demás partes móviles. Existen otros motores que llevan practicados orificios en las bielas y codos para la lubricación de las paredes de los cilindros y los pistones.

Intercambiadores.

Su función es disminuir la temperatura del aceite al salir del circuito de lubricación para que al empezar nuevamente su ciclo tenga una menor temperatura y así refrigerar a los elementos del motor. Además de la refrigeración proporcionada por las nervaduras y aletas del cárter, el aceite puede ser refrigerado por agua o aire.

En la **figura 1.15** se muestra un sistema de enfriador aceite/agua, donde el conducto de aspiración de la bomba recoge el aceite del depósito a través del colador o rejilla (4) para enviarlo directamente al enfriador (3), de donde pasa al filtro de aceite (5) y finalmente a la canalización principal tal como indican las flechas y a su vez a los diferentes puntos a lubricar.

En este tipo de enfriadores el aceite pasa a través de un serpentín rodeado de

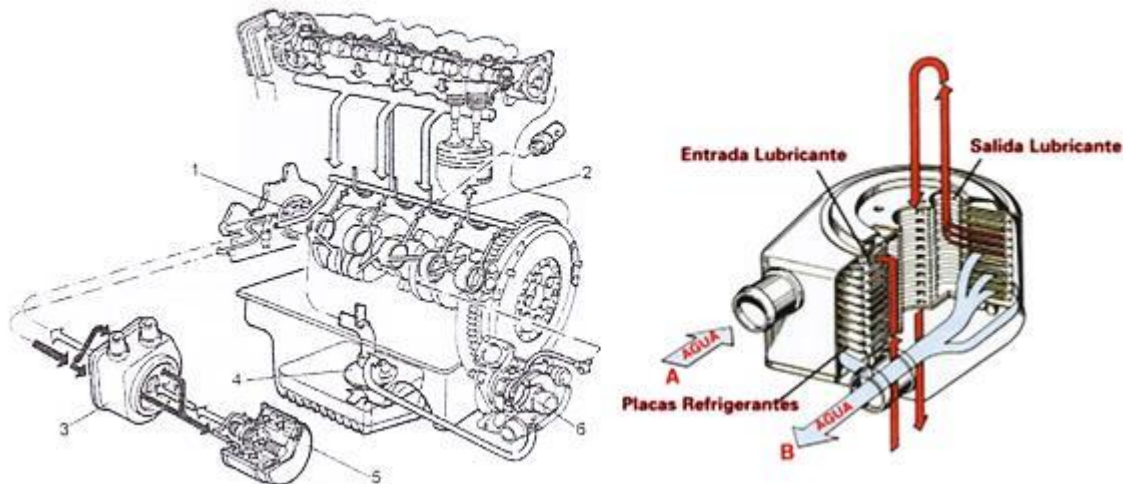


Figura 1.15: Intercambiador de agua-aceite.

Fuente: [18]

aletas, al que rodea una cámara a la que le llega agua por medio del conducto A, esta agua al estar a una menor temperatura absorbe el calor del aceite, saliendo por B a una mayor temperatura y el aceite a una menor temperatura, luego pasa al filtro y finalmente al circuito de lubricación.

Elementos de control.

es vital tener un control periódico y minucioso del aceite en caso de que se presente una anomalía, para llevar a cabo este control existen dos dispositivos a verificar, manómetro de la presión del circuito de lubricación y el medidor del nivel de aceite.

Manómetro de presión del aceite.

Este indica en todo momento la presión del aceite al conductor para que en caso de existir una rareza, este pueda tomar una medida ya sea preventiva o correctiva. Una presión baja en exceso puede ser síntoma de las siguientes anomalías:

- Aceite muy gastado o diluido (perdió su viscosidad).
- Colador de la bomba o filtro de aceite (en serie) parcialmente obstruidos.
- Holgura excesiva en los engranajes de la bomba de aceite.
- Válvula de descarga en mal estado o tarada demasíadamente baja.
- Desgaste excesivo en los cojinetes del motor, por lo que el aceite fluye con mucha facilidad debido al huelgo existente.
- Aceite inadecuado al tipo de motor.
- Fugas de aceite en algunos puntos del circuito.

- Filtro de aceite roto o falta (paralelo), en cuyo caso el aceite retorna al cárter por este lugar con mucha facilidad.

Una presión alta es síntoma de las siguientes anomalías:

- Válvula de descarga agarrotada lo que impide su apertura.
- Válvula de descarga tarada demasiado alta.
- Canalizaciones obstruidas parcialmente.
- Aceite inadecuado al tipo de motor.
- Filtro muy sucio lo cual conlleva a la derivación.

Medidor del nivel de aceite.

Nos sirve para conocer en todo momento el nivel de aceite en el motor para evitar fallos por falta de aceite, el medidor de aceite más comúnmente empleado es el que se presenta en la **figura 1.16**. Es una varilla metálica la cual lleva un tapón en un extremo para garantizar su hermeticidad con el fin de impedir cualquier agente externo que pueda contaminar el aceite y en el otro extremo se encuentran unas marcas graduadas con las indicaciones de los niveles de aceite máximo y mínimo, entre los cuales puede encontrarse el aceite para un eficiente funcionamiento del motor.

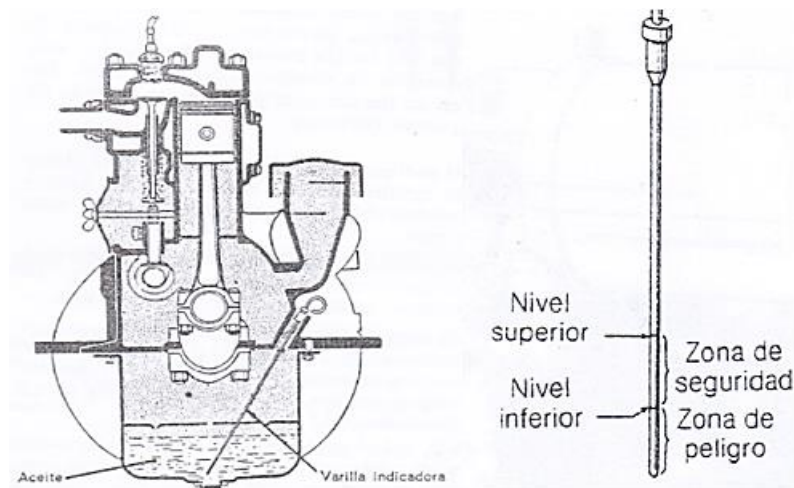


Figura 1.16: Varilla indicadora del nivel del aceite.

Fuente: [1]

Válvula de descarga.

En todos los sistemas de lubricación de alta presión debe incorporarse estas válvulas, es un elemento de seguridad para el circuito, gracias a la cual se asegura un suministro adecuado de aceite en condiciones extremas de funcionamiento (alta velocidad o en servicio a bajas temperaturas). Esta es una válvula de presión tal como se indica en la **figura 1.17** donde el muelle mantiene al asiento de la

válvula unida a la canalización hasta que la presión del aceite vence la tensión del muelle y se abre para dar paso al aceite, el cual retorna al cárter a través de un conducto de descarga en lugar de forzarlo por la canalización. Esta desvía gran parte del aceite de la bomba al cárter, puede estar incorporada en la bomba de aceite o en el bloque de cilindros.

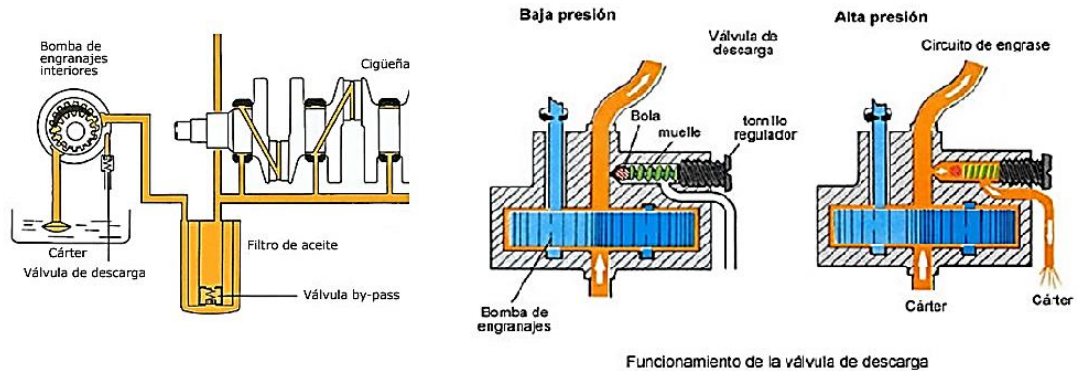


Figura 1.17: Ubicación y funcionamiento de la válvula de descarga.

Fuente: [19]

1.2. Filtración.

Debido a los diversos contaminantes que están presentes en el aceite lubricante, aire y combustible del motor de combustión interna se vuelve imprescindible la necesidad de filtración de los mismos, entonces puede decirse que la finalidad de los filtros es la de retener la mayor cantidad de partículas abrasivas y contaminantes de un determinado tamaño que se encuentran contenidas en dichos fluidos, las que podrían ocasionar averías, mal funcionamiento o desgaste excesivo de los elementos del motor. En la **figura 1.18** pueden verse los filtros para aceite, aire y combustible respectivamente.

El criterio mas importante para el diseño de un filtro son las exigencias respecto a su función: [6]

- Exigencias de filtrado más fino como consecuencia de la disminución de las holguras de los elementos (cojinetes), mayores rangos de funcionamiento de los motores y elevados rendimientos.
- Tendencia a aumentar los intervalos de mantenimiento, lo que conlleva a periodos de servicio del filtro más largos.
- Exigencias mayores en cuanto a accesibilidad de los filtros y a su mantenimiento.
- El paso de aceite que el filtro es capaz de admitir sin provocar una apreciable caída de presión.
- El colmatado que representa el tiempo que tarda en obstruirse o dejar de filtrar.

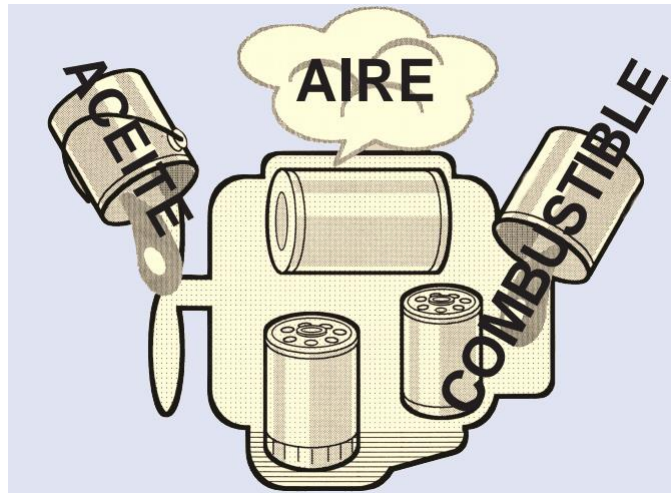


Figura 1.18: Filtros usados en el motor de combustión interna.

Fuente: [22]

Otro criterio importante a tener en cuenta acerca de los filtros es el rendimiento total del filtro que nos indica el porcentaje de impurezas que pueden ser retenidas en la filtración de aceite, aire o combustible, independientemente del tamaño de las partículas retenidas. Pero para determinados casos (práctica) donde es indispensable conocer el tamaño de las partículas se habla del rendimiento fraccional que nos permite catalogar a las partículas dentro de un margen de tamaños en función de su diámetro medido en micras (μm).

1.2.1. Especificaciones técnicas de la filtración.

Diversas normas internacionales especifican las características de construcción o diseño relativas a los sistemas de filtración hidráulicos:

- ISO 2941: Elementos filtrantes “verificación del índice de presión de colapso/ruptura.”
- ISO 2943: Elementos filtrantes “verificación de la compatibilidad del material con los fluidos.”
- ISO 3724: Elementos filtrantes “determinación de la resistencia a la fatiga del caudal utilizando un contaminante formado por partículas.”
- ISO 3968: Filtros “evaluación de la presión diferencial frente a las características del caudal.”
- ISO 10949: “Directrices para conseguir y controlar la limpieza de componentes que van de la fabricación a la instalación.”
- ISO 11170: Elementos filtrantes “secuencia de pruebas para verificar las características de rendimiento.”

- ISO 16889: Elementos filtrantes “Método de evaluación por recirculación del rendimiento de filtrado de un elemento filtrante.”
- ISO 23181: Elementos filtrantes “determinación de la resistencia a la fatiga del caudal utilizando fluidos de alta viscosidad.”
- SAE ARP4205: Elementos filtrantes “método para evaluar la eficiencia dinámica con un caudal cíclico.”

1.2.2. Filtro de aceite.

El sistema de lubricación está sujeto a grandes requerimientos y como consecuencia se producen la contaminación del aceite, estos contaminantes provienen de residuos de la combustión (carbonilla), partículas metálicas (desgaste) y otras impurezas que ingresan por el cárter (polvo). Las más pesadas se depositan en el fondo del depósito mientras que las más livianas se encuentran suspendidas en el aceite y estas son arrastradas al circuito de lubricación desgastando los elementos y acumulándose en las canalizaciones obstruyendo el paso del lubricante. Para evitar esto se interpuso un elemento capaz de retener la mayoría de los contaminantes, este elemento es el filtro de aceite de aceite.

En el momento en el cual el aceite pasa a través de un material poroso cualquier partícula sólida que transporte se quedara atrapada en el material siempre y cuando esta sea de un diámetro mayor a los poros del material, considerando que los ajustes entre los ejes, cojinetes y demás piezas lubricadas son mucho más amplias que $40\mu\text{m}$, bastaran filtros capaces de retener las partículas de diámetro mayor que $5\mu\text{m}$. Al acumularse estas partículas dificultara el paso del aceite a través del material poroso del filtro llegando a la colmatación. La colmatación depende de los siguientes factores: [6]

- Polvo atmosférico e impurezas externas que pueden ingresar por la admisión, respiraderos, varilla de nivel, juntas mal selladas o por una manipulación incorrecta del aceite durante el proceso de cambio.
- Agua como consecuencia de la condensación de vapores dentro del motor, respiración del cárter o fugas de refrigeración.
- Abrasivos usados para la fabricación o limpieza del motor.
- Productos de la combustión que pasan al aceite.
- La dilución del aceite causada por el combustible.
- Elementos procedentes del desgaste del motor como: hierro, cobre, plomo, etc.

El tamaño de los poros es un factor determinante para obtener una buena filtración, sin embargo un material filtrante demasiado eficaz puede retener aditivos esenciales del lubricante, comprometiendo su función.

Las características generales de un filtro de aceite dependen de una serie de factores como son: [6]

- De la naturaleza del líquido a filtrar y de sus condiciones (viscosidad, temperatura y presión).
- De las impurezas que se deben retener, es decir naturaleza química, granulometría, carga eléctrica, concentración, etc.
- del límite inferior del diámetro de las partículas que hay que retener.
- De la pérdida de carga admisible para el conjunto del filtro.
- De la duración del filtro, si se trata de filtros de vida limitada o de la frecuencia de mantenimiento en otros tipos de filtros.
- de los imperativos físicos y químicos de la filtración, relacionado fundamentalmente con la conservación de los aditivos detergentes y de los demás aditivos utilizados en el lubricante.
- De las posibilidades de obstrucción o colmatación de los filtros.

1.2.2.1. Tipos de filtros de aceite.

Con cartucho recambiable.

En la **figura 1.19** se representa la constitución de estos tipos de filtros donde (4) representa la carcasa metálica dentro de la cual se aloja el elemento filtrante (3) que es un cartucho de material poroso, el aceite ingresa al filtro por el conducto (2) y llena el recipiente rodeando al cartucho y posteriormente pasa a través de este hacia el interior (7) para salir por (1) hacia las canalizaciones de lubricación. En la parte externa del cartucho quedan las impurezas que caen al fondo de la carcasa de donde serán removidas cuando se cambie el elemento filtrante.

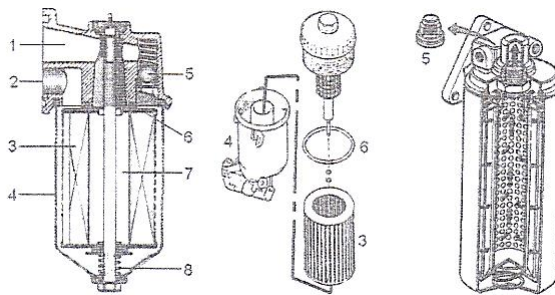


Figura 1.19: Filtros de aceite de cartucho recambiable.

Fuente: [5]

Para que el aceite no pueda acceder directamente al conducto interior (7) se han dispuesto de juntas de estanqueidad (6) que es recomendable sustituirlas junto con el cartucho. Si en determinadas circunstancias de funcionamiento se llega a producir la obstrucción total del elemento filtrante la presión generada por el aceite aumenta de tal forma que es capaz de vencer la tensión del muelle (8) haciendo que se desplace hacia abajo con el cartucho permitiendo pasar el aceite

directamente hacia las canalizaciones de lubricación, es cierto que el aceite pasa al circuito sin la debida filtración pero es mejor así a no tener una lubricación del motor lo cual derivaría en el gripado del mismo. En la figura también puede verse la válvula (5) que realiza una función similar, este tipo de filtro es usado en los circuitos de lubricación en serie.

Monoblock.

En este tipo de filtro el elemento filtrante y la carcasa forman un solo cuerpo como se ve en la **figura 1.20** de donde, el aceite ingresa por los agujeros situados alrededor del agujero central roscado tal como indican las flechas hasta rodear al elemento filtrante y pasar a través de este hacia el interior dejando en la superficie externa de este las impurezas contenidas en el aceite, posteriormente el aceite sale por el conducto central del filtro hacia las canalizaciones de lubricación. Al igual que el filtro de cartucho recambiable este tiene un muelle tarado dispuesto entre la parte inferior del elemento filtrante y la carcasa manteniendo al filtro unido a la cara superior de la carcasa, en caso de obstrucción el aceite desplaza hacia abajo el filtro venciendo la tensión del muelle. Este filtro va roscado al bloque motor por medio de la tapa de la carcasa que posee los conductos de entrada y salida del aceite, entre la tapa del filtro y el bloque motor se interpone el anillo de caucho el cual brinda una hermeticidad optima del acople, este anillo de caucho debe ser impregnado en aceite antes del montaje para evitar daños sobre el mismo. Estos filtros deben ser remplazados con el cambio de aceite.

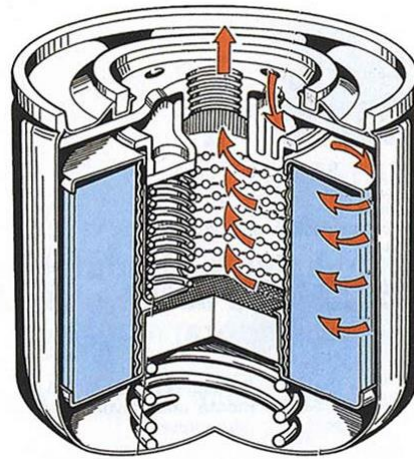


Figura 1.20: Filtros de aceite monoblock.

Fuente: [18]

Centrífugo.

En este tipo de filtro la separación de impurezas (filtración) la consigue por medio de la fuerza centrífuga. En la **figura 1.21** se muestra uno de estos filtros donde el aceite ingresa por (1) a presión desde la bomba y pasa al tubo central colocado verticalmente de donde sale por dos toberas (3) hacia la cámara que no es más que un tambor cerrado herméticamente el cual rota a unas 6000 a 8000 rpm

produciendo una fuerza gravitatoria 200 veces superior a la fuerza de la gravedad que lanza a las partículas contra las paredes del filtro y las recoge en el platillo del rotor formando una arcilla que se puede eliminar a intervalos de servicio regular, finalmente el lubricante sale por (2) hacia el circuito de lubricación.

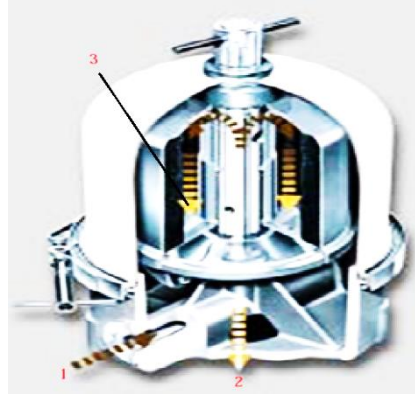


Figura 1.21: Filtros de aceite centrífugo.
Fuente: [23]

1.2.2.2. Sistemas de filtración.

Circuito en serie.

Este circuito es el más empleado debido a que todo el aceite pasa obligatoriamente por el elemento filtrante y de este a todos los puntos a lubricar, por lo que también se lo denomina de caudal total. Conforme aumenta el periodo de funcionamiento del filtro este empieza a saturarse debido a la acumulación de contaminantes sobre la superficie del elemento filtrante dificultando el paso del aceite y derivando en un aumento de la pérdida de carga, cuando estas pérdidas llega a valores peligrosos se abre una válvula de derivación o de by-pass del filtro que le permite filtrar un caudal parcial del aceite mientras que el resto del aceite pasa al circuito sin la debida filtración pero es mejor tener un aceite sucio en el circuito a no tener nada. En la **figura 1.22** se muestra este circuito, donde la circulación del aceite está indicada por las flechas.

Circuito en paralelo.

En este circuito a diferencia del anterior solamente pasa una porción del aceite a través del filtro el que es devuelto inmediatamente al cárter mientras que la otra parte del aceite es enviado directamente a los diferentes puntos de engrase, por este circuito se filtra aproximadamente entre un 5 a 10% del caudal total por ciclo y por esto también se lo conoce como circuito de caudal parcial. En el determinado caso de que se llegue a obstruir el filtro no existe el riesgo de que el motor se quede sin lubricación, de ahí que estos no requieren de la válvula de derivación. En la **figura 1.23** la circulación del aceite está indicado con las flechas.

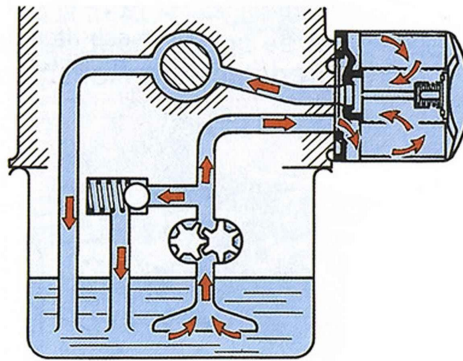


Figura 1.22: Esquema del circuito de lubricación con filtro en serie.
Fuente: [18]

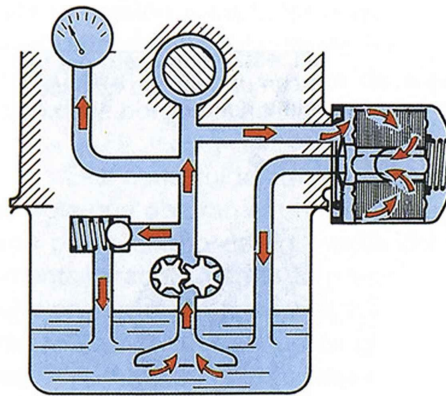


Figura 1.23: Esquema del circuito de lubricación con filtro en paralelo.
Fuente: [18]

1.2.2.3. Partes de un filtro de aceite.

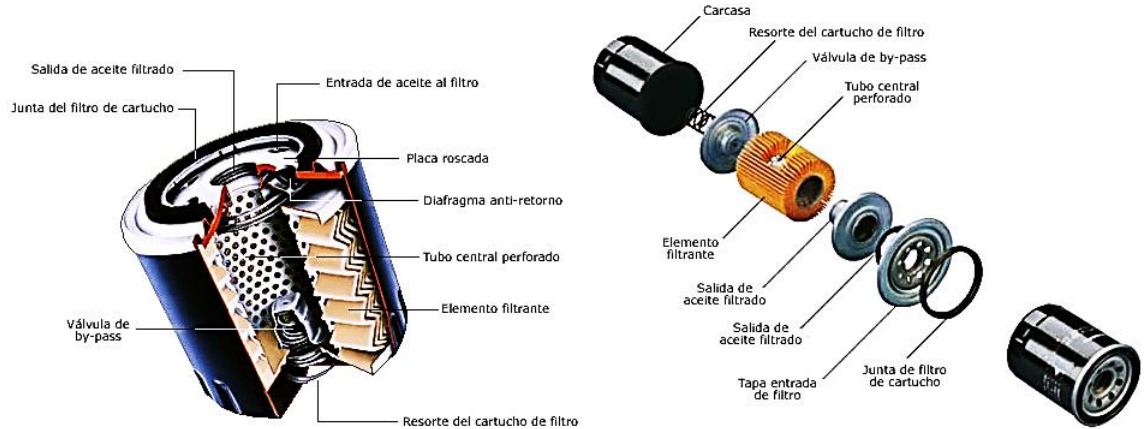
En este apartado describiremos cada una de las principales partes de un filtro monoblock (sellado) por ser el filtro más comúnmente utilizado en el parque automotor del medio, en la **figura 1.24** se representa a este filtro en despiece donde podemos apreciar con detalle a cada una de estas partes.

Carcasa.

Es el elemento que proporciona protección y fijación a los elementos internos que componen el filtro como la válvula de by-pass y el elemento filtrante, está construida en chapa metálica y tiene el espesor ideal para resistir las altas presiones que produce el aceite dentro del circuito de lubricación.

Resorte del cartucho de filtro.

Este resorte se aloja en la parte más baja del filtro (entre la carcasa y el ele-



Esquema y despiece de un filtro de aceite desechable

Figura 1.24: Esquema y despiece de un filtro de aceite monoblock.

Fuente: [19]

mento filtrante), este mantiene al elemento filtrante fijamente unido a la salida de aceite filtrado (parte superior del filtro). En el caso de existir una obstrucción la presión del aceite vence la tensión del muelle haciendo que baje el elemento filtrante para dar el paso directo del aceite.

Válvula by-pass.

Esta válvula tiene dos funciones esenciales, la primera es asegurarse de que el motor tenga presión y flujo constante de aceite durante un arranque en frío debido a que el aceite es muy viscoso para fluir a través del medio filtrante esta se abre y permite el paso directo al circuito de lubricación, también se abre en el momento en el cual el filtro se llegue a obstruir para evitar que el motor se quede sin la debida lubricación, en circunstancias diferentes esta permanece cerrada, trabaja conjuntamente con el resorte del cartucho.

Tubo central perforado.

Este tiene una forma cilíndrica perforada que mantiene la forma del papel filtrante, ya que de otra manera este colapsaría hacia el centro por la presión y el flujo del aceite. Este puede estar hecho de metal o plástico y las perforaciones facilitan la circulación del aceite.

Elemento filtrante.

Es la parte primordial del filtro ya que la capacidad de filtración depende del tamaño y cantidad de partículas contaminantes que es capaz de retener, su constitución es muy diversa variando en función de los requerimientos del sistema a lubricar y de las características dadas por el fabricante tanto así que para

un mismo motor existe una gran variedad marcas de filtros y cada una tiene un elemento filtrante con una constitución diferente del resto. Su disposición por lo general suele ser en forma de acordeón que permite tener una mayor área de filtración, los materiales más comunes para la fabricación son: celulosa, fibra de vidrio, poliéster, fieltro, etc.

Sus principales funciones son la eficiencia (remover las impurezas la primera vez que el aceite pasa por el filtro) y la capacidad (atrapar y retener las partículas contenidas en el aceite hasta el próximo cambio de filtro).

Celulosa.

La Celulosa es el principal componente de los árboles, es una fibra vegetal similar a un cabello humano cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol, es un polímero natural constituido por una larga cadena de carbohidratos. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, lo que la hace muy resistente e insoluble al agua y a la mayoría de los disolventes, el algodón es el que posee el contenido más puro de celulosa (mayor al 90 %). En los filtros de aceite la celulosa por si sola puede proporcionar una retención de partículas de suciedad con una eficiencia del 80 % aproximadamente. Esta celulosa puede ser impregnada con fenólicos, epoxia o resinas acrílicas para darle mayor resistencia.

Fibra de vidrio.

Cuando el vidrio se convierte en finas fibras y su tensión a la ruptura por tracción aumenta considerablemente es considerada una fibra mineral, las características más importantes de la fibra de vidrio:

- Aislamiento Térmico.
- Material que contribuye con el medio ambiente.
- Material inorgánico, resistente al desarrollo de hongos y de humedad.
- Material incombustible.

Al usar una mezcla entre la celulosa y la fibra de vidrio puede obtenerse un elemento filtrante con mayor eficiencia (mayor 95 %), consiguiendo una mejor protección del motor y una vida útil del filtro y aceite más prolongado.

Fibras de poliéster.

Es una fibra muy resistente, es fabricada a partir de productos derivados del petróleo o del gas natural. Propiedades:

- No es absorbente.
- Resistente a los ácidos.
- Excelente resistencia a los agentes oxidantes.

- Insoluble a la mayoría de disolventes.
- Son resistentes a la abrasión.
- Resistente al estiramiento.

Fieltro.

Es un textil no tejido en forma de lámina, a menudo presenta un revestimiento que le proporciona ciertas propiedades como impermeabilidad y resistencia al desgarrar. Está compuesto por varias capas de fibras de lana o pelo de varios animales, estos se unen únicamente con calor y presión.

En la **figura 1.25** se muestra el grado de retención de partículas contaminantes de diferentes tipos de papel filtrante después de un solo paso por el filtro, es evidente la diferencia de eficiencia que poseen estos elementos filtrantes al momento de retener partículas de un determinado tamaño, tanto así que el papel filtrante A tiene una eficiencia aproximada del 30 % para retener partículas de alrededor de 10 μm y para partículas superiores a las 30 μm posee una eficiencia aproximada del 99 %.

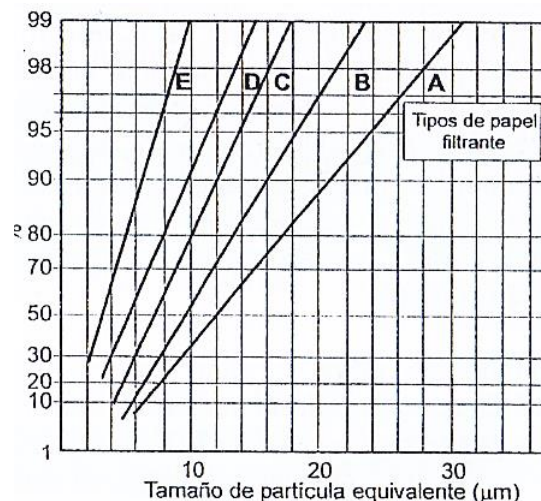


Figura 1.25: Grado de retención con la utilización de diversos tipos de papeles filtrantes después de un solo pasó por el filtro.

Fuente: [6]

Elemento filtrante sintéticos.

Está formado por un material de fibra sintética dispuesta en varias capas en lugar de un papel de filtro o fieltro de celulosa, a estos se les adhiere resinas selectas para obtener materiales con canales muy finos este elemento filtrante está en capacidad de retener partículas contaminantes muy pequeñas del rango aproximado de 10 μm con una eficiencia mayor del 95 %. En la **figura 1.26** se puede ver a este elemento en el cual se describe la función de cada una de los materiales de los que esta compuesto.



Figura 1.26: Estructura de un filtro de aceite sintético.
Fuente: [http: \[24\]](http://[24])

Dentro de las innovaciones realizadas esta la utilización de una faja de plástico que fijan los pliegues evitando que estos se aglomeren durante el funcionamiento ya que se reduciría significativamente su capacidad de filtración, ver **figura 1.27**.



Figura 1.27: Elemento filtrante reforzado con faja.
Fuente: Autores.

Válvula de retención.

Es una válvula unidireccional, se abre para permitir que el aceite fluya desde el cárter por medio de la bomba hacia el interior del filtro mientras el motor está en marcha y cuando el motor se apaga se cierra para mantener al filtro y a los conductos de lubricación llenos de aceite e impedir que las superficies de los elementos en movimiento se queden sin la debida lubricación durante el arranque.

Tapa.

Pose un agujero central roscado para unir el filtro al motor y que por este mismo salga el aceite desde el filtro hacia el motor, posee una ranura que aloja a la junta de estanqueidad y una determinada cantidad de agujeros pequeño alrededor del agujero roscado central por donde ingresara el aceite sucio desde el motor hacia el filtro.

Junta de estanqueidad.

Es un anillo de goma que se une al filtro y al motor brindando un acople hermético, esta junta está construida con goma flexible.

1.2.3. Filtros de aire.

El aire que ingresa a la cámara de combustión de un motor es un factor muy importante a tener en cuenta ya que al estar contaminado dará paso a la formación de depósitos y con ello a un desgaste acelerado de las principales partes del motor, para evitarlo se ha interpuesto un filtro de aire entre la admisión y el entorno en el cual se desenvuelve el motor, dicho filtro tiene la finalidad de retener los agentes contaminantes presentes en el aire siendo el más abundante y perjudicial el silicio. **“El silicio en la naturaleza no se encuentra en estado puro si no que esta combinado con el oxígeno formando el sílice (SiO₂), el cual podemos encontrarlo de forma libre en: cuarzo, polvo, etc. como referencia se puede decir que aproximadamente el 70 % del polvo es silicio”** [6]. En la **figura 1.28** se muestra un filtro de aire.



Figura 1.28: Filtro de aire.

Fuente: <http://lacasadelbobcat.com>.

La dispersión de las partículas de polvo en el aire varía en función del tamaño, donde las partículas de mayor tamaño se encuentran flotando a baja altura formando grandes concentraciones, mientras que las partículas más pequeñas (finas) al ser livianas flotan alto y en menores cantidades, este comportamiento se lo puede apreciar en la curva de la **figura 1.29**.

Del análisis de la gráfica podemos decir que la ubicación idónea de la boca de aspiración de aire para el motor es lo más alta posible en especial si el motor se desenvuelve en un ambiente polvoriento. La eficiencia de filtración de un filtro siempre es la misma indistintamente de la concentración de polvo existente en su alrededor, de aquí que la vida útil del filtro está directamente relacionada con la concentración de polvo del medio circundante. **“Un filtro en buenas condiciones es capaz de retener un 99 % del polvo y el otro 1 % ingresa al motor, estas partículas tienen un tamaño aproximado de 10 μm ”** [6].

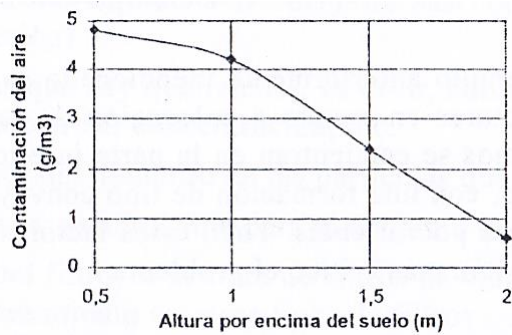


Figura 1.29: Contaminación del aire en función de la altura de toma de muestra para un tractor en servicio en el campo.

Fuente: [6]

1.2.4. Filtros de combustible.

Sin importar el cuidado que se tenga con los combustibles siempre habrá presencia de contaminantes los cuales se aglutinan al combustible durante la fase de transportación, almacenamiento y en el mismo depósito del vehículo, por tal motivo el combustible debe ser filtrado para garantizar un buen rendimiento y duración del motor, estos contaminantes pueden ser: **“herrumbre, sustancias minerales, productos diversos de oxidación y agua”** [6].

La capacidad de filtración del combustible varían de acuerdo al tipo de motor y exigencias del fabricante, en muchos de los vehículos diésel se usan por lo general un filtro principal y uno secundario, donde el **“primario es capaz de retener partículas de alrededor de las 30 μm y el secundario es capaz de retener partículas del orden de las 10 a 12 μm , pero aquellos que pueden retener partículas de entre 3 a 5 μm son los más empleados en la actualidad en especial para motores diésel que operan bajo servicio severo”**, en la figura 1.30 se muestra al filtro de combustible. [8]

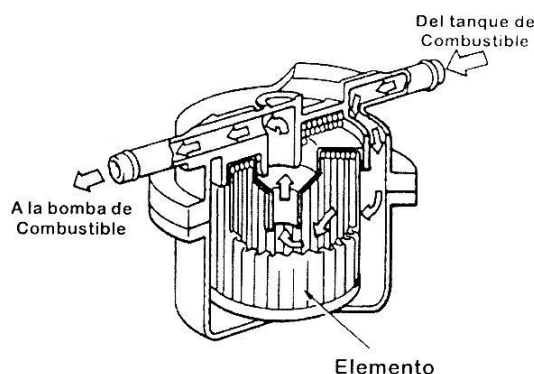


Figura 1.30: Configuración del filtro de combustible.

Fuente: [25]

Capítulo 2

Propiedades de los aceites lubricantes y Contaminantes que generan desgaste en el motor.

2.1. Aceites lubricantes.

2.1.1. Lubricantes.

Se considera un lubricante a cualquier sustancia que interpuesto entre dos superficies pueda ser capaz de disminuir el rozamiento entre estas, estos pueden ser de origen animal, vegetal, mineral o sintético que se pueden encontrar en estado sólidos, semisólidos, líquidos o gaseosos. Estos deben cumplir una serie de requisitos como disminuir las pérdidas de carga a causa del rozamiento, prolongar la vida de equipos y maquinas, como también deben impedir la formación de depósitos dentro de los sistemas de lubricación.

2.1.2. Aceites.

Los aceites se llegan a obtener del petróleo mediante un proceso de destilación a altas temperaturas, seguidamente es sometido a un proceso de refinado con el fin de eliminar sustancias asfálticas y ácidos. **“Están constituidos por una estructura compleja que contiene entre 20 y 70 átomos de carbono por molécula”** [7].

Sin embargo este aceite por sí solo no tienen las propiedades necesarias para satisfacer los requerimientos de lubricación de un sistema, a causa de esto se optó por adicionar aditivos los cuales le brindan nuevas propiedades o mejora las ya existentes, con estos aditivos se consigue que el aceite cumpla con las exigencias de la lubricación del motor. A un aceite sin aditivos se le denomina como aceite base.

2.1.3. Aditivos.

Son sustancias químicas que se añaden al aceite para mejorar sus propiedades existentes o brindarle unas nuevas, estos **“pueden estar en concentraciones que pueden ir de 0.01 % hasta 30 % o más”** [7]. Pueden tener efectos perjudiciales dentro del sistema de lubricación si estos son excesivos, o en caso de no ser compatibles dos o más aditivos pueden reaccionar entre sí.

2.1.4. Propiedades de los aditivos.

Dentro de las propiedades más importantes de los aditivos tenemos:

Compatibilidad. Dos a más aditivos deben ser compatibles hasta el final de la vida útil del aceite.

Insolubilidad con el agua. Con el fin de que no sean lavados en presencia del agua.

Volatilidad. Debe ser baja ante la presencia de elevadas temperaturas.

Estabilidad. Permanecer estable durante la mezcla, almacenamiento y uso.

Flexibilidad. Sus propiedades físicas y químicas deben permitir ampliar su rango de servicio y aplicaciones.

2.1.5. Clasificación de los aditivos.

Estos aditivos pueden clasificarse en: modificadores de propiedades físicas, modificadores de propiedades químicas y modificadores de propiedades físico-químicas.

2.1.5.1. Modificadores de propiedades físicas.

Mejoradores del índice de viscosidad.

La función de este aditivo es la de mejorar la viscosidad del aceite ante la acción de la temperatura, estos aditivos son polímeros los cuales poseen un alto peso molecular y de cadena larga, Estos reaccionan enrollándose cuando las temperaturas del aceite es baja permitiendo que el aceite sea lo suficientemente fluido para permitir el arranque en frío del motor y ante la presencia de altas temperaturas se desenrollan ocasionando un espesamiento del aceite permitiendo mantener la película de aceite requerida para una óptima lubricación, en la **figura 2.1** puede verse cómo se comportan estos aditivos ante variaciones de temperatura.

“En los aceites multigrados de un alto índice de viscosidad estos polímeros pueden estar entre 0.5 % a 2 %” [6].

Depresores del punto de congelación.

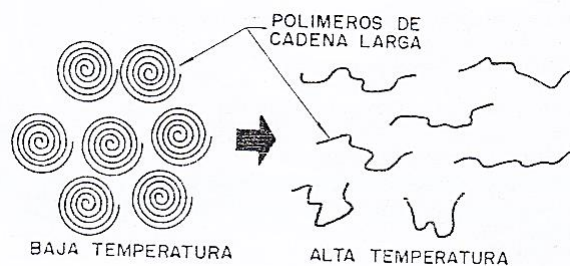


Figura 2.1: Comportamiento de los aditivos mejoradores del IV.

Fuente: [7]

Estos son utilizados en los aceites de base parafínicos ya que estos tienden a cristalizarse a bajas temperaturas, el cambio puede ser tal que puede darse una congelación total del aceite dando paso a la formación de redes internas que absorben aceite formando masas gelatinosas que restringen el flujo o escurrimiento del aceite. Para evitarlo se agrega al aceite base unos depresores del punto de congelación modificando el proceso de cristalización permitiendo que el aceite sea fluido a bajas temperaturas, **“esta temperatura se expresa en múltiplos de 3 °C”** [7].

2.1.5.2. Modificadores de propiedades químicas.

Inhibidores de la oxidación.

El aceite durante su trabajo está sometido a una serie de factores que producen la oxidación del mismo como son las elevadas temperaturas, presencia de oxígeno y el tiempo de utilización del mismo. La oxidación en su mayoría se produce cuando el oxígeno entra en contacto con el aceite, siendo más específico con sus moléculas de carbono e hidrógeno. Cuando se ha oxidado el aceite se da la ruptura de sus partículas ocasionando el enturbiamiento, aumento de su viscosidad y la formación de lacas y barnices las cuales se adhieren a las superficies de los elementos del motor y además pueden obstruir los conductos del circuito de lubricación. **“A 50 °C se puede considerar como la temperatura máxima normal de funcionamiento y por cada 10 °C de incremento se duplica la tasa de oxidación, y esto a su vez hace que la vida útil del aceite se reduzca considerablemente”** [7].

Los antioxidantes o inhibidores de la oxidación son sustancias capaces de retardar o impedir la formación de la oxidación, esto lo consigue evitando que el oxígeno se adhiera a las moléculas del aceite que son susceptibles a la oxidación completando la cadena al reaccionar con los radicales libres del aceite para formar compuestos estables.

Uno de los elementos usados últimamente es el cobre que en combinación con otros aditivos le proporcionan al aceite de una buena protección contra la oxidación, usar al cobre como aditivo resulta ser rentable debido a que es barato y fácil de conseguir, la desventaja de usarlo es que puede dar lugar a una diagnostico

equivoco de los resultados de análisis si no se toma en cuenta que es un aditivo del aceite.

Inhibidores de la corrosión.

La corrosión en el interior del motor puede ser por diversas causas siendo las más perjudiciales los ácidos orgánicos generados por el aceite y por contaminantes presentes en el mismo. Los gases de la combustión y altas temperaturas que se fugan hacia el cárter pueden producir ácidos que corroen las superficies metálicas de los cuerpos no ferrosos. Estos ácidos se forman de la unión del oxígeno con el azufre y toma el nombre de óxido de azufre (SO_3) el cual es altamente corrosivo. Para evitarlo se añade al aceite un aditivo anticorrosivo, el cual es a base de una sustancia alcalina que reacciona con los ácidos neutralizándolos y evitando el ataque químico de los metales y la corrosión de los mismos.

Inhibidores de herrumbre.

La herrumbre es la formación de una capa de óxido sobre la superficie de un cuerpo de hierro o acero que se llega a producir por acción del agua, esta agua puede provenir del exterior del motor pero es más común tenerla a causa de la condensación del vapor de agua en especial cuando el vehículo ha realizado arranques y paradas frecuentes o cuando presenta cambios de temperatura entre el día y la noche. Los aditivos anti-herrumbre son compuestos que actúan eliminando la humedad del agua de la superficie del cuerpo y da paso a la película de aceite protectora.

Antiemulsionantes.

El agua mezclada con el aceite forma emulsiones indeseables que a su vez produce una corrosión química peligrosa que puede ser soluble o insoluble. Si es soluble se mantiene disuelta en el aceite hasta que se precipita impidiendo que el aceite se enfríe correctamente, los insolubles son arrastrados por el aceite por todo el circuito de lubricación y se depositan en cualquier lugar ocasionando una obstrucción parcial o total de los conductos de lubricación. Entonces estos aditivos separan el agua del aceite para evitar estas emulsiones.

2.1.5.3. Modificadores de propiedades físico-químicas.

Aditivos detergentes-dispersantes.

El funcionamiento del motor ocasiona altas temperaturas las cuales deterioran la película de aceite contribuyendo a la formación de depósitos y también se dificulta la transferencia del calor entre los cuerpos, existen otros contaminantes como el combustible que no es quemado en la cámara, el polvo, el agua y partículas metálicas; todos estos contaminantes hacen que la formación de los depósitos sea más compleja y grave. Para evitar o disminuir al mínimo la formación de estos depósitos se han añadido al aceite base unos aditivos llamados detergentes y dispersantes. De aquí nace una confusión con respecto a estos aditivos ya que

se piensa que su función es la misma.

Los detergentes como su nombre lo indica actúa como un jabón lavando las partes internas del motor, este detergente rodea al agente contaminante (gomas, lacas o barnices) y lo despega de la superficie arrastrándolo hacia el cárter donde las partículas de mayor tamaño se depositan en el fondo y las de menor tamaño se mantienen en suspensión en el aceite hasta su paso por el filtro, estas partículas son muy pequeñas y no pueden ocasionar una obstrucción de los conductos de la lubricación o la colmatación del filtro siempre y cuando no se aglomeren. A partir de aquí se desenvuelve el aditivo dispersante evitando que estas partículas se unan formando grumos peligrosos para el motor, esto lo consigue cubriendo las partículas con una película que es capaz de repeler a otras partículas.

Estos dos aditivos trabajan juntos donde los dispersantes son complemento de los detergentes, cuando el motor se encuentra en las temperaturas habituales de funcionamiento actúa los detergentes y por el otro lado los dispersantes trabajan cuando las temperaturas son bajas. Los detergentes están hechos a base de bario, calcio y magnesio, los dispersantes están hechos a base de copolímeros, poliamidas, amidas.

Antiespumantes.

Cuando las partes móviles del motor (cigüeñal) giran a altas rpm el aceite es batido o agitado violentamente y como consecuencia se da la formación de burbujas de diferentes tamaños las que se convierten en espuma al subir a la superficie del aceite, esta tendencia a formar espuma se incrementa por: **“temperaturas bajas, viscosidad alta, presencia de agua, velocidades de agitación elevadas y tensiones superficiales altas”** [4]; [7].

Esta espuma es muy perjudicial ya que al aumentar la espuma el aceite tiende a rebosarse y derramarse por los orificios de ventilación del cárter, la mayor consecuencia de la espuma se refleja en la interferencia de la cuña hidráulica que el aceite otorga a los cojinetes ya que la película de lubricante que separa las dos superficies es una mezcla aceite-aire, donde el aire es incompresible y debilita considerablemente la película de lubricación dando paso a daños mecánicos, también afecta a los taques hidráulicos produciendo ruido y un mayor desgaste.

Para evitar la formación de espuma se usan aditivos antiespumantes los que disminuyen la tensión superficial del aceite ocasionando que las burbujas se debiliten y rompan con facilidad, **“las sustancias más usadas para estos aditivos son las siliconas y copolímeros orgánicos que pueden encontrarse en concentraciones de 0.0001 a 0.005 %”** [7].

Antidesgaste.

Existen ciertos elementos del motor que siempre están sometidos a presiones elevadas durante su periodo de funcionamiento normal lo que ocasiona fricción y desgaste considerables, para reducir esta fricción y desgaste que se da por la

disminución del espesor de la película de lubricante a causa de la alta presión y una lubricación delgada o límite en ciertas ocasiones, se ha utilizado aditivos anti-desgaste los cuales están constituidos por largas cadenas que forman una película que se adhiere fuertemente sobre la superficie metálica proporcionando resistencia a las moléculas de aceite para evitar el aplastamiento y dispersión.

El dialquilditiofosfato de zinc o ZDDP es un aditivo anti-desgaste que aporta propiedades anti-oxidantes al aceite.

De extrema presión (EP).

Son productos químicos diseñados para evitar que se dé el contacto metal-metal cuando exista una lubricación delgada o límite, todos los aditivos EP deben poseer uno o más elementos como azufre, cloro, fósforo o sales carboxílicas; estas son capaces de reaccionar químicamente con la superficie metálica formando una película muy fuerte y resbaladiza.

Para que el aditivo sea compatible con el aceite no debe generar corrosión (atacando al cobre y al bronce), estos actúan con mayor frecuencia sobre las superficies más rugosas que es donde se da la mayor fricción con desprendimiento de material y unas mayores temperaturas, su máxima efectividad se obtiene a partir de los 50 °C.

De untuosidad.

Estos son de origen animal o vegetal que a su vez son solubles en el aceite, estos aditivos tienen la misma finalidad que los EP, pero con la diferencia que actúan por debajo de los 50 °C y si en determinado caso la temperatura aumenta sobre los 50 °C la película untuosa se deshace aumentando la fricción.

En casos expresos donde algunos tipos de aceites funcionan en un amplio rango de temperaturas es muy común encontrar a los aditivos untuosos y de extrema presión (EP) en su composición.

2.1.6. Propiedades de los aceites.

Las propiedades de los aceites lubricantes nos sirven como guía para poder seleccionar el aceite adecuado para una aplicación específica, de entre las propiedades más significativas de los aceites tenemos:

2.1.6.1. Densidad.

Es la relación existente entre el peso de un volumen determinado de aceite y el peso de un volumen idéntico de agua a una temperatura específica, “**se encuentra entre 0.89 y 0.93 a una temperatura de 15.6 °C**” [7].

2.1.6.2. Viscosidad.

Esta resulta ser la característica más importante a la hora de elegir un aceite, y se define como la resistencia que ofrece el fluido a circular sobre una superficie en un tiempo determinado, se expresa en Stokes (St) o en Centistokes (cSt) que es la unidad de medida de la viscosidad cinemática. Esta depende de dos factores como el espesor que hace referencia a la resistencia que ofrece la capa de aceite a ser penetrada por una determinada carga y la fluidez que se refiere a la facilidad del lubricante para fluir a través de los conductos de lubricación. La viscosidad se ve afectada, ya que disminuye al aumentar la temperatura disminuyendo su espesor.

2.1.6.3. Índice de viscosidad.

Se lo puede definir como una escala de medida de la viscosidad que se ve afectada con los cambios de la temperatura del aceite y se lo representa con IV. Tal es el caso que a temperaturas muy altas la viscosidad disminuye demasiado que pueda dar paso a la ruptura de la capa de lubricante y viceversa con temperaturas muy bajas el aceite se hace tan viscoso que no podrá fluir por los conductos de lubricación, esto representa un desgaste acelerado de los componentes del motor. Entonces para poder catalogar a los aceites que se desenvolverán correctamente bajo ciertas temperaturas se creó el índice de viscosidad donde, el IV más alto 100 representa un cambio muy pequeño de la viscosidad y un IV de 0 representa un cambio considerable de la viscosidad a la misma temperatura.

2.1.6.4. Punto de inflamación.

Hace referencia a la temperatura mínima a la cual el aceite despidе vapores inflamables que pueden combustionarse ante la presencia de una chispa o llama, se expresa en grados centígrados.

2.1.6.5. Punto de congelación y de enturbiamiento.

El punto de congelación es la temperatura más baja a la cual el aceite deja de fluir formando cristales y se expresa en múltiplos de 30 °C. El punto de enturbiamiento es la temperatura a la cual las parafinas u otras sustancias comienzan a separarse en forma de cristales, en poco tiempo puede detener la circulación del aceite imposibilitando la puesta en marcha del motor.

2.1.7. Clasificación de los aceites.

Para la selección correcta del lubricante a utilizar en un sistema existen dos factores fundamentales a tener en cuenta como la viscosidad, la cantidad y concentración de aditivos, de aquí nace dos tipos de clasificaciones para los aceites

de uso en automotores: SAE (en función de la viscosidad) y API (según la utilización).

2.1.7.1. Clasificación SAE.

La sociedad americana de ingenieros (SAE) clasifica a los aceites en función de su viscosidad, donde el aceite más fluido hace mención al número más bajo. Cada grado SAE tiene un determinado índice de viscosidad cinemática.

Grado SAE	0W	5W	10W	15W	20W	25W	20	30	40	50	60
Viscosidad cinemática (cSt a 100.°C)	3.8	3.8	4.1	5.6	5.6	9.3	5.6	9.3	12.5	16.3	21.9
Temperatura límite de bombeo a .°C	-35	-30	-25	-20	-15	-10					

Tabla 2.1: Clasificación de los aceites monogrados para motores de combustión interna.

Fuente: [7]

Se establecen dos grupos como se puede apreciar en la **tabla 2.1** donde los primeros mantienen la película para arranques en frío, dentro de estos están: SAE0W, SAE5W, SAE10W, SAE15W, SAE20W, SAE25W. La letra W (Winter) representa a los aceites que mantienen su viscosidad a bajas temperaturas. Para aplicaciones donde las cargas son elevadas como transmisiones automáticas, existen aceites con una mayor viscosidad cuyos grados SAE son: SAE 70W, SAE 75W, SAE 80W, SAE 85W.

En el segundo grupo se mide la viscosidad a una temperatura de 100 °C, a esta temperatura se ve afectada la fluidez de los aceites por que el aceite se hace más fluido a medida que la temperatura aumenta, dentro de este grupo están: SAE20, SAE30, SAE40, SAE50, SAE60. Además de estos existen otros aceites con una alta viscosidad para aplicaciones especiales donde las cargas son muy elevadas y altas temperaturas, estos son: SAE90, SAE110, SAE140; SAE190, SAE250. Vale recalcar que estos aceites se desempeñan adecuadamente a altas temperaturas (verano). A estos aceites se los denomina monogrados por que tienen un solo grado de viscosidad.

Para evitar estar cambiando la viscosidad del aceite cada vez que existe cambio de estaciones (verano - invierno) se han utilizado los aceites multigrados, que nacen de la unión de dos aceites monogrados a los que se les añade polímeros sintéticos, estos aceites tienen la ventaja de que pueden mantener su viscosidad ante mayores fluctuaciones de la temperatura, como se muestra en la **figura 2.2**.

Entonces estos aceites son lo suficientemente fluidos a bajas temperaturas para brindar un arranque fácil y a temperatura de funcionamiento del motor son lo suficientemente viscosos para mantener la película lubricante, la clasificación de los aceites multigrados puede verse en la **tabla 2.2**.

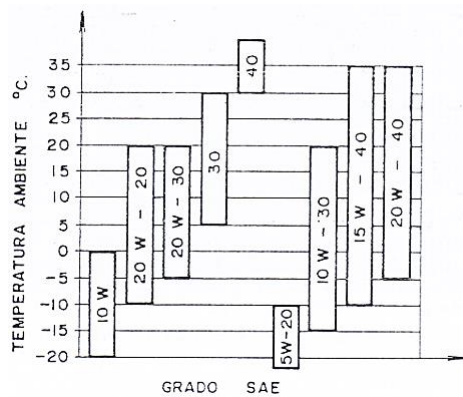


Figura 2.2: Selección del grado SAE en función de la temperatura ambiente.

Fuente: [7]

Grados SAE	Límite de viscosidad			
	cSt a 40.°C		cSt a 100.°C	
	Min.	Max.	Min.	Max.
5W40	100	120	16.3	19.7
10W30	60	70	9.3	13.
15W40	90	110	13.7	16.3
15W50	120	130	16.3	19.7
20W20	61	69	5.6	9.3
20W30	90	110	9.3	13.7
20W40	120	130	13.7	16.3

Tabla 2.2: Clasificación de los aceites multigrados.

Fuente: [7]

2.1.7.2. Clasificación API.

La clasificación anterior hace mención a la viscosidad pero un mismo motor puede estar sometido a diferentes regímenes de trabajo con lo cual el aceite escogido puede que cumpla con los requerimientos del fabricante pero tal vez no satisfaga las necesidades del motor en condiciones de trabajo severo, es por eso que el Instituto de Petróleo Americano (API) ha clasificado a los aceites de acuerdo al tipo de servicio que son capaces de prestar. La letra “S” hace distinción a los aceites usados para motores a gasolina y la letra “C” para los motores diésel. A continuación en la **tabla 2.3** se presenta la clasificación actual de los aceites, sin tomar en cuenta aquellos aceites que ya no se fabrican por ser obsoletos.

clasificación	características
CF-4	Usado para motores de 4 tiempos de alta velocidad atmosféricos o sobrealimentados, con mejoras ante la formación de depósitos en el pistón y un menor consumo de aceite. Para vehículos a partir de 1990.
CF	Para vehículos fuera de carretera que usan combustibles con un 0.5 % de azufre. Control en la formación de depósitos en el pistón, el desgaste y corrosión sobre los cojinetes.
CG-4	Para motores de servicio severo que usan combustibles con menos del 0.05 % de azufre. Tiene control sobre el desgaste, corrosión, espumas y estabilidad ante la oxidación y formación de depósitos, puede sustituir al CF-4.
CH-4	Para motores de servicio severo que usan combustibles con menos del 0.5 % de azufre, en uso a partir de 1998 para cumplir con la norma de emisiones de gases. Reemplaza al CG-4 ya que posee mejores propiedades anti-desgaste, detergentes, anti-corrosivas y un mayor índice de viscosidad.
CI-4	Para motores con válvula EGR, para satisfacer la norma de gases de escape de 2004 y para combustibles con menos del 0.05 % de contenido de azufre, sustituto del CH-4 presenta mejor estabilidad tanto a bajas como altas temperaturas y brinda una mejor protección ante la oxidación, corrosión y desgaste.

Tabla 2.3: Clasificación API de los aceites para motores de combustión interna diésel.

Fuente: Los autores.

2.2. Evaluación de los parámetros de degradación del aceite lubricante del motor de combustión interna.

Realizar un estudio de las propiedades y características de un aceite es muy importante porque se puede determinar si el lubricante escogido es el correcto, el periodo de cambio elegido es el adecuado para el motor y tipo de trabajo que se realiza, esto sin comprometer la integridad del motor además representa un ahorro significativo en la parte económica. En la **tabla 2.4** se muestran los ahorros monetarios obtenidos al realizar una optimización del periodo de cambio del aceite en base al análisis.

Los parámetros físicos-químicos más importantes que definen a un aceite de motor son la viscosidad y el TBN a más de estos tenemos la oxidación - nitración y el nivel de aditivos.

La cantidad de azufre contenida en los combustibles determinara la reserva alcalina (TBN) del aceite a utilizar. En la **figura 2.3** puede verse como ha ido reduciéndose la cantidad de azufre de los combustibles a lo largo de los años,

	Periodo de cambio original	Periodo de cambio optimizado por el análisis de aceite	Ahorro directo (por menor consumo)
Motores Diésel (flota de transporte)	32.000 Km (20.000 millas)	58.000 Km (36.000 millas)	28.000\$/año

Tabla 2.4: Ejemplos de ahorro por el alargamiento del periodo de cambio del aceite.

Fuente: [6]

permitiéndonos disminuir la reserva alcalina de los aceites.

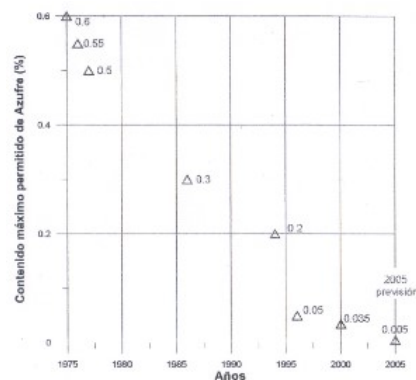


Figura 2.3: Evolución del contenido de azufre en el combustible, España.

Fuente: [6]

En nuestro país de acuerdo a la sexta revisión de la norma INEN realizada en el 2012 el porcentaje de azufre contenido en el combustible es de 0.05 %, por este motivo debemos usar aceites con un mayor TBN para contrarrestar el efecto del azufre.[32]

En la **tabla 2.5** se muestran algunos datos característicos de los aceites usados comúnmente en los motores de automoción diésel.

MARCA	DENOMINACIÓN	SAE	VISC (cSt) a 100.°C	TBN (mgKOH/g)	Especificación de calidad API
REPSOL	SUPERTURBO DIESEL	15W40	14.5	12	CG4/SG
CS	TURBOGRADO	15W40	14.5	10	CH4/SG
MOBIL	DELVACXHP	15W40	14.9	15	CE
REPSOL	SERIE 3	30	11.9	10	CE/SG
SOPRAL	SHPD	15W40	14	15	CE
CS	MIZAR HD	40	14.9	5	CC/SD
FL	URANIA TURBO LD	15W40	14.5	13	CF4
REPSOL	TURBO UHPD	10W40	14	14	CG4
CATERPILLAR	DIESEL MULTIGRADO	15W40	14.5	11	CG4

Tabla 2.5: Características de diferentes tipos de aceites usados en automoción.

Fuente: [6]

2.2.1. Efectos sobre la viscosidad.

Siendo la viscosidad la propiedad más importante de un lubricante, debe ser sujeto de una especial atención y monitoreo durante el periodo de trabajo del aceite ya que esta puede verse alterada por múltiples factores como los que se dan en la **tabla 2.6**.

	Descenso de viscosidad	Aumento de viscosidad
Cambios en la estructura del lubricante	-Ruptura de las moléculas -Degradación de aditivos mejoradores del IV	-Polimerizaciones -Oxidación -Perdidas evaporación -Formación de lodos y lacas
Contaminación	-Combustibles -Mezcla de aceites (de viscosidad inferior) -Disolventes	-Agua(emulsiones) -Espuma -Insolubles/materia carbonosa -Mezcla de aceites (de viscosidad superior)

Tabla 2.6: Efectos característicos sobre la viscosidad de los aceites usados.

Fuente: [6]

La viscosidad alterada por las causas mencionadas en la tabla anterior puede dar paso a diversos problemas en el sistema de lubricación. [6]

Con una viscosidad excesivamente alta.

- Mayor generación de calor, mayor oxidación del aceite y formación de lodos y barnices.
- Cavitación.
- Flujo inadecuado a las zonas de lubricación (rodamientos, cojinetes, etc.).
- Batido del aceite en cojinetes.
- Perdidas por mayor consumo de energía.
- Pobres características antiespuma y demulsificantes.
- Pobres características de bombeabilidad a baja temperatura.

Con una viscosidad excesivamente baja.

- Pérdida de película de aceite, lubricación límite, fricción y por tanto excesivo desgaste.
- Alta fricción mecánica y pérdida de energía, generación de calor y oxidación.
- Fugas internas y externas.
- Incremento de la sensibilidad del sistema a la contaminación por partículas (menor espesor de película y menor protección).
- Fallo de la película lubricante en condiciones severas (altas temperaturas, baja velocidad y alta carga).

2.2.2. Resultados analíticos.

Gracias a la interpretación de los resultados obtenidos del análisis de la muestra de aceite se podrá definir si el aceite cumple con los requerimientos del sistema de lubricación y si el periodo de cambio es el idóneo o por el contrario es demasiado prolongado o corto.

La siguiente formula nos permite obtener la variación de la viscosidad de un aceite en unidades porcentuales, “donde V_m representa la viscosidad medida de la muestra de aceite tomada en el cambio de aceite y V_n representa la viscosidad del aceite nuevo.” [6]

$$V_{visc} = \frac{V_m}{V_n}$$

Vale mencionar que esta pérdida de la viscosidad es a causa de la degradación de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad que están sometidos a altas temperaturas. También se deben considerar los añadidos de aceite nuevo que se han hecho, porque estos tienden a modificar el aceite que está en servicio ocasionando un aumento en la viscosidad.

En la **figura 2.4** puede verse como la viscosidad aumenta en función de la cantidad del añadido y tiende a recuperar en cierta parte sus valores iniciales de viscosidad, el aceite usado para este estudio tiene una viscosidad inicial de 14.5 cSt [6].

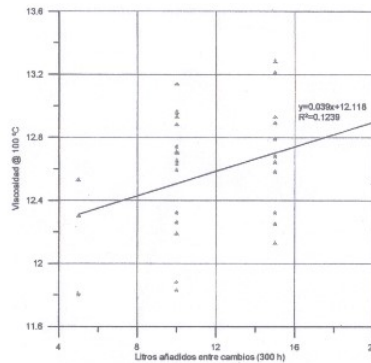


Figura 2.4: Influencia de los añadidos de aceite sobre la medida de la viscosidad al cambio, SAE15W40.

Fuente: [6]

2.2.3. TBN.

El TBN es una medida del potencial que tiene el aceite para neutralizar los ácidos que se van formando como los compuestos de azufre, cloro y bromo. En la **figura 2.5** se presentan “Los valores del TBN que el fabricante de motores Caterpillar maneja, para los aceites usados en sus motores en función

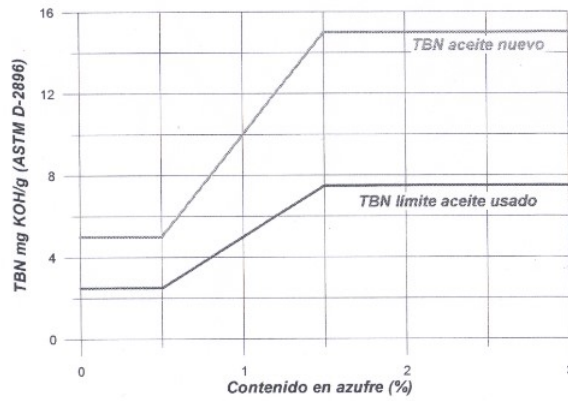


Figura 2.5: Nivel del TBN necesario en el aceite nuevo y admisible en el usado según el contenido de azufre del combustible.

Fuente: [6]

del contenido de azufre de los combustibles” [6].

En la **figura 2.6** se puede apreciar la disminución del TBN nuevo y usado con respecto al contenido de azufre del combustible, a partir de 1996 el TBN de un aceite usado con respecto a uno nuevo no varía demasiado en su nivel, complementariamente a esto se ha disminuido la cantidad de aditivos en los aceites lubricantes.

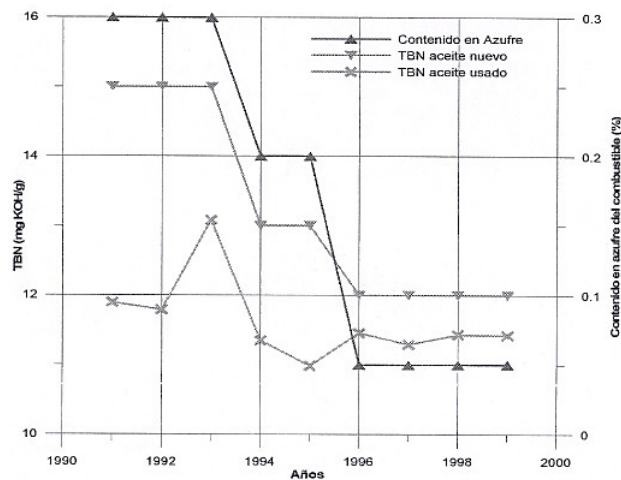


Figura 4.14. Evolución del TBN al cambio.

Figura 2.6: Evolución del TBN al cambio.

Fuente: [6]

Cuando existe una disminución considerable del nivel del TBN es muy probable que sea a causa de la presencia de combustible en el aceite, el combustible deteriora rápidamente el paquete de aditivos del aceite en un proceso llamado dilución.

El control del TBN es muy importante para poder determinar cómo se desen-

vuelve el motor durante su vida útil y también podemos saber hasta qué punto el aceite puede ser usado; conforme se prolonga la vida útil del motor se aseptera el desgaste de sus elementos (paredes de los cilindros) permitiendo que una mayor cantidad de gases de la combustión migren hacia el cárter incrementando los depósitos en el aceite, los cuales a su vez producen una disminución del TBN. Este efecto es apreciable en la **figura 2.7** donde se tomaron una serie de muestras a un motor específico, las que fueron llevadas a cabo bajo los mismos parámetros: aceite SAE15W40 CG4, un combustible con contenido de azufre de 0.05 %, 300 horas de trabajo y en un periodo de 2 años; en la gráfica es muy clara la reducción que sufre el TBN a lo largo del tiempo de funcionamiento del motor.

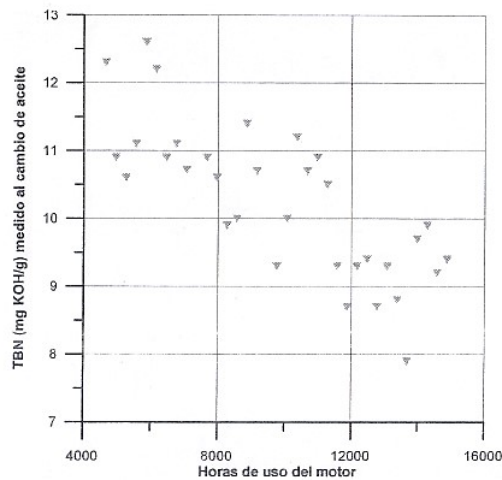


Figura 2.7: Evaluación del valor residual del TBN al periodo de cambio de aceite.
Fuente: [6]

La viscosidad también se ve afectada por esta contaminación y como consecuencia se da un mayor consumo del aceite, para contrarrestar este consumo se realizan añadidos de aceite al sistema de lubricación generando fluctuaciones en la medida de la viscosidad a la hora del cambio, dependiendo de la cantidad de los añadidos y de la concentración de contaminantes se da un espesamiento del aceite lo que se traduce en un aumento en la viscosidad tal como muestra la **figura 2.8**.

Vale considerar que los añadidos de aceite permiten que el aceite recupere sus propiedades (viscosidad, detergencia, etc.) en cierta proporción. Si en determinado caso se da un aumento del TBN puede ser debido a la pérdida de volátiles del aceite por el sobrecalentamiento del mismo.

El TBN está íntimamente relacionado con la capacidad detergente y dispersante del aceite, por lo que un aceite con un TBN de 12 posee una capacidad de limpieza del motor de un 90 %, y conforme el aceite se va degradando por el uso el TBN también disminuye tanto así que un TBN de 4 apenas tiene una eficiencia del 60 %.

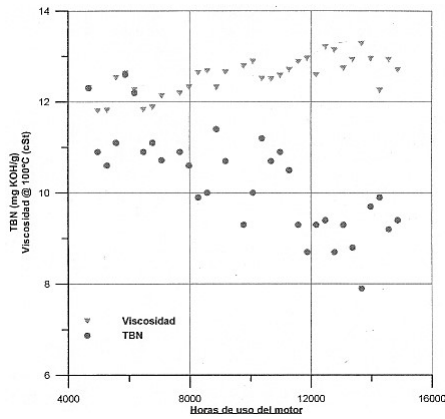


Figura 2.8: Evolución de las medidas de viscosidad a 100 °C y TBN en el aceite usado.

Fuente: [6]

2.2.4. TAN (numero acido total).

Es una medida de la acidez total que tiene el aceite después de ser usado, esta acidez se incrementa debido a la degradación que sufre el aceite durante su vida útil, produciendo óxidos y ácidos. Entre dichos ácidos están los sulfúricos y sulfurosos producidos por la reacción del aceite con los productos residuales de la combustión que se filtran al cárter por medio de los segmentos atacando la superficie de algunos metales ocasionado un desgaste corrosivo y por otro lado aceleran la oxidación del aceite.

Esta medida de la acidez o de basicidad puede ser determinada por medio del pH cuyos valores se pueden encontrar entre 4 y 11 respectivamente, donde un valor comprendido entre 4 y 7 representa un valor de ácidos base débiles, un valor del pH inferior a 4 indica que el nivel de ácidos corrosivos (peróxidos) es muy alta y las superficies metálicas corren el riesgo de ataque químico, por lo tanto se debe cambiar el aceite inmediatamente. Una forma sencilla de conocer el pH del aceite es por medio de un indicador de pH como el que se presenta en la **figura 2.9**, donde cada color de este está relacionado con un determinado valor de pH.



Figura 2.9: Patrón de colores para la comprobación de PH del aceite.

Fuente: [7]

No se recomienda la utilización del TAN para el monitoreo en motores a diésel debido a que los aditivos detergentes-dispersantes pueden provocar mediciones inexactas de este parámetro y brindar un diagnóstico erróneo.

La **figura 2.10** muestra la relación existente entre el TBN y el TAN con respecto a la viscosidad del aceite, a medida que las horas de trabajo del motor aumentan el valor del TAN y la viscosidad aumenta mientras que el valor del TBN disminuye.

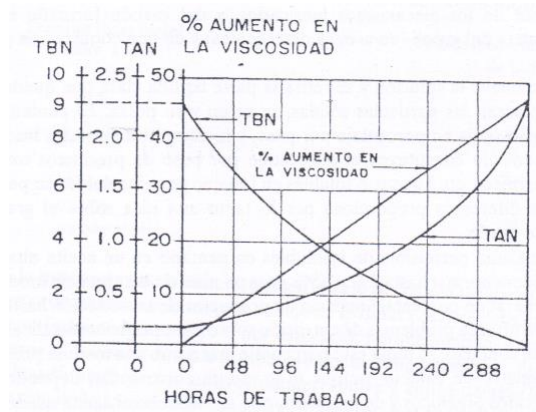


Figura 2.10: Variación del TBN, TAN y viscosidad de un aceite automotor.
Fuente: [7]

2.2.5. Oxidación y nitración.

A medida que el aceite se deteriora este va formando ésteres, cetonas y ácidos carboxílicos que dan paso a la acidificación del aceite y pérdida de la reserva alcalina. Cuando el aceite está sometido a periodos prolongados de oxidación produce un espesamiento del aceite lo que se traduce en un aumento en la viscosidad y este tendrá un efecto corrosivo en los elementos del motor por la acidificación. Durante el periodo de interacción del aceite con el motor el aceite debería oxidarse de forma progresiva, pero este proceso de oxidación se realiza a una mayor velocidad de lo que realmente se cree debido a la presencia de partículas metálicas que se desprenden por efecto del desgaste, estas partículas actúan a manera de un catalizador en el proceso de oxidación del aceite.

La nitración surge de la reacción que se da entre el aceite con los óxidos de nitrógeno (NOx) que se generan en el proceso de la combustión, ocasionando un espesamiento del aceite, formando barnices y lacas. La tendencia de la nitración durante el periodo de uso del aceite se muestra en la **figura 2.11**, como es evidente la nitración tiende a incrementar su nivel con el correspondiente aumento del número de horas de servicio del aceite.

La oxidación y la nitración del aceite van de la mano es decir están relacionados, esto se puede comprobar observando la **figura 2.12** donde se compara a

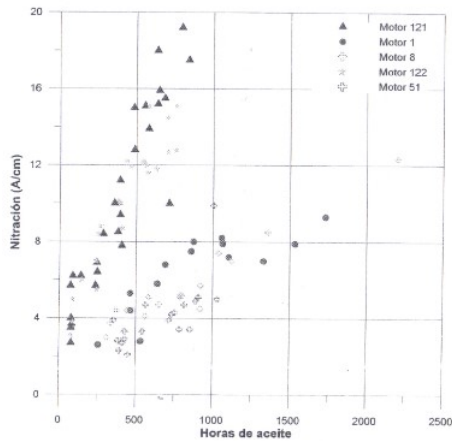
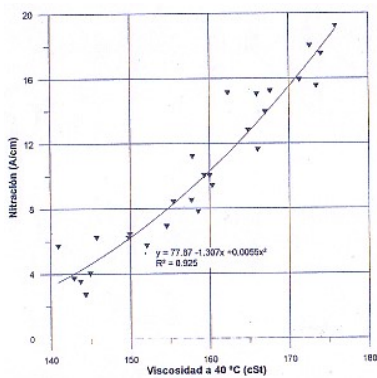
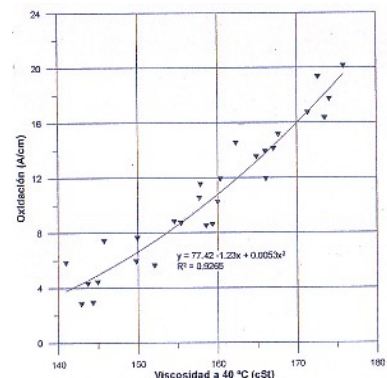


Figura 2.11: Evaluación de la nitración del aceite con el uso del mismo.
Fuente: [6]

estos fenómenos con respecto a la viscosidad.



(a) viscosidad vs nitración



(b) viscosidad vs oxidación

Figura 2.12: Comparación de la viscosidad frente a la nitración y oxidación.
Fuente: [6]

La nitración (o nitroxidación) se produce a causa de la reacción que se da entre el aceite y el óxido de nitrógeno (NOx) producido en el proceso de la combustión, con mezcla rica se quemara una mayor cantidad de combustible contribuyendo a la formación de carbonilla, por el contrario al darse una mezcla pobre existe una mayor cantidad de aire en relación a la de combustible en la cámara de combustión y al quemarse se formaran los (NOx) aumentando la nitración del aceite, aseverando la formación de barnices y lacas en los segmentos y pistones a más de un espesamiento del aceite.

2.2.6. Nivel de aditivos.

Tomar el paquete de aditivos como un parámetro preciso para el análisis y diagnóstico de los aceites no es factible debido a que estos son muy variados tanto en composición como en proporción según el fabricante y las necesidades del

sistema en el que actuaran y debido a que los fabricantes son muy reacios con respecto a brindar información sobre la composición de sus aceites ya que es el secreto de ellos. Los aditivos usados en los aceites para motores están hechos a base de metales tales como: zinc, fósforo, calcio, sodio, bario, boro y magnesio.

Una evaporación del aceite base puede dar lugar a un aumento en la concentración de estos metales de aditivación, al no contar con la cantidad necesaria de este aceite base que actué como disolvente.

Un aditivo especial es el dialquilditiofosfato de zinc o ZDDP el que está compuesto por zinc y fósforo, este es usado como aditivo anti-desgaste. Para saber si se utilizó el ZDDP en el paquete de aditivos de un aceite se debe ver las concentraciones del zinc y del fosforo las que deben estar alrededor de 3 ppm como valor medio, en caso de no existir niveles altos del zinc o del fosforo es un indicador de que se ha utilizado otro elemento como aditivo anti-desgaste. Este elemento es el calcio y se puede constatar al ver las concentraciones del mismo que deben estar entre las 4000 a 5000 ppm, es usado debido a que el ZDDP no puede cubrir con las necesidades de anti-desgaste y anti-oxidación que se requieren, ver **tabla 2.7** donde se listan los valores medios de aditivación que componen ciertos aceites.

Aceite	P	Na	Ba	Bo	Ca	Zn	Mg
Especial FFCC SAE 40	2.91	36.9	0,6	6,87	4624	3.9	11.4
Cepsa UHPD SAE 15W40	1088	3.18	0.7	27	3343	1282	133.5
Repsol Superturbo Diesel 15W40	957	18.2	0.8	97	2834	1087	494
Repsol Turbo UHPD 10W40	1097	8.47	2.6	21	4309	1253	54.4
Mobil multigrado Diesel 15W40	1084	9.8	1.4	152	3667	1231	355
Repsol Multi G Diesel 20W40	996	3.69	1	67	2966	1121	461

Tabla 2.7: Concentraciones medias en elementos típicos de aditivación.

Fuente: [6]

2.2.7. Evaluación de los parámetros de degradación del aceite.

Es de vital importancia establecer los límites idóneos entre los cuales deben encontrarse los parámetros de degradación del aceite luego de su uso, extendiendo al máximo la utilización del aceite sin que se vea comprometida la vida útil del motor. En la **tabla 2.8** se muestran los valores de estos límites en función de los fabricantes de los motores, fabricantes de lubricantes y otros autores.

Análisis	Fabricantes de Motores			Otros			
	MAN	CAT	Cummins	Detroit Diesel	MTU	Macian	Thibault
Viscosidad a 100°C	+30 %	+20 %	± grado SAE	+40 %	SAExxW30 9 - 14 cSt	±30 %	±25 %
	-25 %	-10 %	O ±4 cSt	-15 % (a 40°C)	SAExx W40 11.5 - 18 cSt		
TBN	-50 %	Min 1 mg KOH/g	-50 % o 2 mg KOH/g	Min 1 mg KOH/g	-50 %	-50 %	-25 %
TAN	—	—	TAN med	—	—	—	—
Oxidación (Abs/ cm)	—	—	—	—	25	—	25
Nitración (Abs/ cm)	—	—	—	—	25	—	—
Detergencia	—	—	—	—	—	30 % original	—

Tabla 2.8: Valores límites máximos según diferentes fuentes en motores de automoción.

Fuente: [6]

2.3. Evaluación de los principales Contaminantes del Aceite lubricante de un motor de combustión interna.

2.3.1. Introducción.

Cuando el aceite recircula por todo el sistema de lubricación del motor de combustión interna este se contamina y sus aditivos se saturan conforme avanza su tiempo de uso, siendo necesario realizar un análisis de laboratorio para determinar si el aceite puede o no seguir en servicio. Dicho análisis evalúa parámetros físico-químicos del aceite-lubricante; este se vuelve inapropiado por dos razones: **“Cuando ocurre un cambio químico en su composición como resultado de su oxidación y cuando el contenido de contaminantes es muy elevado.”** [6].

La contaminación del aceite lubricante de un motor de combustión interna se produce por múltiples factores tanto externos como internos, teniendo como principales a los siguientes:

1. **Silicio:** polvo atmosférico circundante en mayor o menor cantidad depende del entorno de trabajo del vehículo; produce desgaste abrasivo prematuro en las zonas de mayor fricción camisa-segundo-pistón y cojinetes-cigüeñal.
2. **Agua:** presente en el aceite por fugas internas que se dan a través del sistema de refrigeración del motor de combustión interna, por ejemplo una o más fisuras en el cabezote, block y la más común la deformación o quemado del empaque del cabezote; la contaminación por agua suele producir aumento de la viscosidad del aceite además de la oxidación y envejecimiento prematuro del mismo.
3. **Dilución por combustible:** este tipo de contaminación se genera por el

deficiente funcionamiento del sistema de inyección de combustible (bomba de inyección- inyectores) que se encuentran mal calibrados o sus elementos internos están con elevado desgaste, temperatura de funcionamiento del motor no adecuada, mezcla aire-combustible demasiado rica. Se puede detectar la presencia de combustible en el aceite por la disminución de la viscosidad de dicho aceite.

4. **Insolubles y materia carbonosa:** está directamente relacionada con la propia degradación del aceite, características físico-químicas (Viscosidad, Oxidación, TBN, etc.), con la eficacia de los filtros, con el desgaste de los diferentes mecanismos del sistema lubricado (hierro, zinc, plomo, cobre, plata, etc.).
5. **Otros contaminantes como el glicol y los procedentes del propio combustible:** estos contaminantes no son estudiados a detalle por su grado de importancia e influencia en la contaminación del aceite, se producen pero con poca frecuencia y dependen directamente del tipo de refrigerante y combustible utilizado.

2.3.2. Contaminación por Silicio.

El silicio como ya hemos mencionado anteriormente es el contaminante número uno del aceite lubricante, esto se debe a su característica abrasiva (dureza) que produce desgaste prematuro de las piezas en movimiento (camisa-segmento-pistón), notable en la zona del PMS cerca de la cámara de combustión de cada cilindro, el silicio ingresa en el motor a través del múltiple de admisión en mayor o menor cantidad dependiendo de la calidad de filtrado del aire, hermeticidad de las juntas (múltiple de admisión, etc.), Mientras mayor sea la calidad de filtrado menor será las partículas de polvo que logren ingresar internamente al motor, la deficiencia de filtrado se presenta cuando se utiliza filtros de aire por periodos prolongados, deficientes o rotos; se debe tener especial cuidado cuando se usa un filtro de aire por demasiado tiempo, ya que estos llegan a saturarse de polvo y no permiten el paso de la cantidad necesaria de aire hacia el motor produciendo una mezcla rica internamente en el proceso de combustión, como resultado se tiene cantidades de hollín anormales y con el consiguiente desgaste prematuro del motor, por la deficiencia del sistema de lubricación en especial en la zona del PMS de la camisa-pistón-segmento.

2.3.2.1. Problemas que se generan por la contaminación de silicio.

Las partículas de polvo tienen diferentes tamaños de acuerdo al entorno en el cual se encuentre funcionando el motor, por lo tanto el desgaste producido será diferente para cada tamaño de partículas y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Partículas de polvo, con dimensiones comprendidas entre 1 y 150 μm .
- Partículas de humo, con dimensiones entre 0.1 y 1 μm . [6]

Las partículas con un tamaño comprendido entre 1 y 20 μm aproximadamente son las más perjudiciales para el desgaste interno del motor; el problema de desgaste más significativo se genera cuando el espesor de la partícula tiende a ser igual que el espesor de la película lubricante anulando la funcionalidad de la misma y produciendo la fricción en seco de las superficies en movimiento, produciéndose con mayor frecuencia en los cojinetes de biela y bancada del cigüeñal; cuya holgura está comprendida entre 15 y 100 μm dependiendo de cada motor y la película del aceite tiene un tamaño entre 5 hasta 75 μm sin carga y entre 5 y 15 μm con carga. Por lo tanto es necesario retener todas aquellas partículas duras con un diámetro superior a 5 μm , o al menos las superiores a 10 μm . ver **figura 2.13** [6].

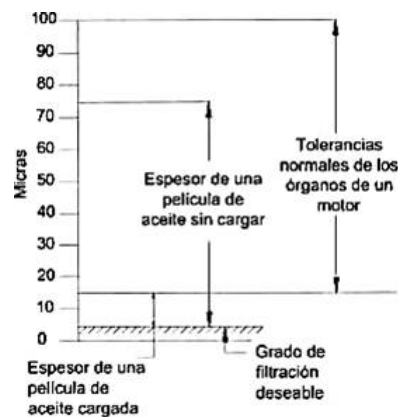


Figura 2.13: Factores que afectan sobre la exigencia de la filtración.

Fuente: [6]

El tamaño de partícula más problemática está entre las 15 y 25 μm sin observar una diferencia apreciable de tendencia entre un grado y otro de viscosidad del aceite lubricante.

Por todo lo dicho anteriormente la filtración del aire debe ser seriamente tomada en cuenta, observando que el diámetro de las partículas de silicio no sobrepase en lo posible como se mencionó anteriormente las 5 μm .

2.3.3. Contaminación por agua.

El agua es el segundo contaminante más destructivo del aceite porque al entrar en contacto con el lubricante aumenta su viscosidad considerablemente, generando un cambio de las propiedades de dicho aceite. Para controlar la cantidad de agua presente en el aceite hay que considerar lo siguiente: [6]

- En primer lugar habrá que restringir la posible entrada de la misma al sistema.
- Debemos reconocer su presencia y tenerla en cuenta.

- Deberemos analizar su estado (disuelta, emulsionada y libre) y concentración.
- Finalmente será importante eliminar la presencia de la misma en la medida de lo posible.

2.3.3.1. Efectos de la contaminación por agua en un sistema de lubricación.

En cualquier sistema de lubricación, los estados del agua más peligrosos son el libre y la emulsionada.

Como ejemplo, según [Barnes, M.; 2001], **“en un cojinete de contacto plano, la incomprensibilidad del agua relativa al aceite puede resultar en una pérdida de la película hidrodinámica del aceite que llevara a un desgaste excesivo”**. **“La sola presencia de un 1 % de agua en el aceite puede reducir la esperanza de la vida útil de este elemento hasta un 90 %”**. [6]

Al ser el agua en sus dos estados libre y emulsionada las más peligrosas para un sistema de lubricación, la recomendación es controlar que los niveles de mezcla permanezcan por debajo del punto de saturación. Para la mayoría de los aceites en uso esto significa de 100 a 300 ppm (0.01 % a 0.03 %) o menos dependiendo del tipo de aceite y la temperatura que soporta.

2.3.3.2. Efectos del agua sobre el lubricante.

El agua a pesar que tiene un efecto importante en el desgaste excesivo de los elementos que están sometidos a altas temperaturas y fricción, también aporta en el envejecimiento prematuro del aceite motor y la degradación del mismo en altos niveles.

“La presencia de agua en el aceite lubricante puede causar que el proceso de oxidación del mismo se multiplique por diez veces”[12]. Más aún si existe la presencia de metales catalizadores como el cobre, plomo y estaño.

El agua cuando se mezcla con ciertos aceites sintéticos obtenidos a partir de base de esteres fosfóricos y dibásicos, como resultado se destruye el aceite base y posteriormente se generan ácidos. **Tabla 2.9**

Los ácidos pueden causar un desgaste corrosivo, particularmente en componentes que contengan metales blandos como los utilizados en los recubrimientos de cojinetes compuestos con base de bronce o latón. **“Otros aditivos tales como los agentes demulsificantes, dispersantes- detergentes, e inhibidores de corrosión pueden ser lavados por la excesiva humedad. Todo esto resulta en un aumento de la sedimentación y los barros, taponamiento de filtros y pobre desemulsión agua-aceite”**. [6]

Problema	Efectos	
Hidrólisis y oxidación	La presencia de agua conduce a cambios químicos y físicos en el aceite base	Formación de ácidos Espesamiento del aceite Barnices y lodos
Aireación	El agua fomenta los problemas de aireación	Espuma Entrada de aire
Efectos en la viscosidad	El agua conduce a emulsiones estables, mayor viscosidad y propiedades no newtonianas del fluido	
Efectos dieléctricos	El agua reduce las propiedades aislantes del aceite	

Tabla 2.9: Problemática Asociada a la presencia de agua en el lubricante.
Fuente: [6]

2.3.3.3. Análisis de contaminación por agua en motores diésel.

En esta clase de motores la contaminación por agua proviene de la condensación en el interior del mismo del vapor de agua del aire atmosférico que ingresa a través del múltiple de admisión, además como consecuencia de las bajas temperaturas o del aumento de presión en el cárter o bien de las fugas internas del sistema de refrigeración. La problemática más significativa por la presencia de niveles de agua anormales es la corrosión sobre las superficies metálicas y la propia degradación del aceite. A continuación podemos observar los efectos que causa la contaminación por agua en el paquete de aditivos del lubricante. **Ver Figura 2.14**

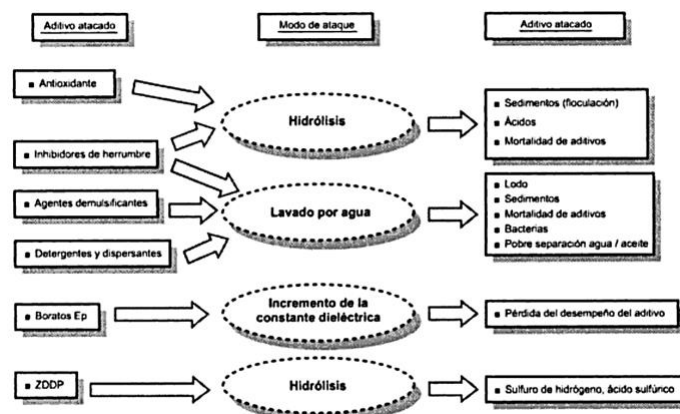


Figura 2.14: Efecto de la contaminación con agua sobre los aditivos de los aceites lubricantes.

Fuente: [6]

Se han hecho algunos estudios sobre la presencia de agua en muestras de aceites tomadas de diversos tipos de motores con diferentes aplicaciones y entornos de funcionamiento, después de tomar las muestras se ha realizado una prueba de

crepitación (pasa, no pasa), en casos que no se ha dado crepitación el porcentaje de agua se supone inferior al 0.05 % y no se toma en cuenta; caso contrario existe presencia de agua y pasa a ser cuantificada por el método de reactivo Karl Fischer (ASTM D-4928). Los resultados se pueden apreciar en la **tabla 2.10**.

	Marinos	Ferrocarril	Automoción	Cogeneración
Muestras consideradas	7735	10184	11982	2966
Muestras con contaminación de agua superior al 0.1 %	328	94	112	15
Porcentaje sobre total	4.24 %	0.92 %	0.93 %	0.5 %

Tabla 2.10: Resumen de Medidas de Agua en muestras analizadas.

Fuente: [6]

Como conclusión podemos mencionar que la cantidad de agua presente en el aceite es muy difícil detectar por fugas del sistema de refrigeración, ya que el agua que ingresa debido a la temperatura del cárter no se condensa y recircula hacia la atmosfera en forma de vapor, de manera que la contaminación no deja rastro claro de las posibles fugas de agua cuando estas están en porcentajes muy pequeños y se tiene que recorrer hacia otros métodos como la medición de la cantidad de aditivos presentes en el refrigerante del motor que nos dará la idea de la posible mezcla del agua con el aceite.

2.3.4. Dilución.

La contaminación por dilución se produce cuando el aceite entra en contacto con el combustible, la característica más relevante de esta clase de contaminación es la disminución de la viscosidad, por la diferencia de densidades entre el aceite y el combustible; al ser menos denso el combustible se queda en la parte superior del aceite.

Este tipo de contaminación se produce por múltiples causas:

- Inyectores defectuosos: goteo, mala regulación, problemas con los sellos.
- Bomba de combustible goteando o defectuosa.
- Líneas de combustible con fugas.
- Fuga de gases por excesiva marcha en vacío o debido a segmentos o camisas dañadas.
- Periodos de uso de aceite demasiado extendido. [6]

Existen diversas técnicas de medición de la cantidad de combustible en una muestra de aceite entre algunas de ellas tenemos la cromatografía de gases (ASTM D-3524), la espectrometría infrarroja (FTIR); en el próximo capítulo detallaremos algunas de estas técnicas de análisis del aceite.

2.3.4.1. Efectos producidos por la contaminación por dilución de combustible en el aceite lubricante.

Como mencionamos anteriormente el problema más significativo que provoca la dilución de combustible en un aceite lubricante es la disminución de la viscosidad, debido a su diferencia de densidades. La pérdida de viscosidad puede ocasionar que la película lubricante se rompa y falle en condiciones tales como altas temperaturas y cargas significativas.

A continuación se muestran unas imágenes donde se aprecia el desgaste por pérdida de lubricación en los cojinetes. Ver **figura 2.15 y 2.16**

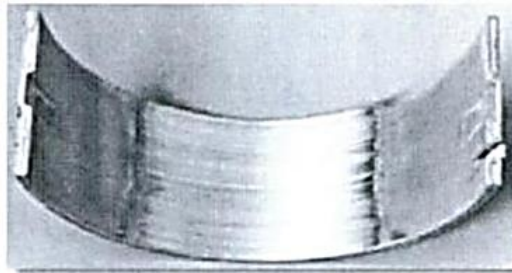


Figura 2.15: Desgaste generalizado en cojinete debido a insuficiente espesor de la película lubricante como resultado de presencia de dilución.

Fuente: [6]

Otro de los problemas que causa la presencia de combustible en un aceite es la dilución de los paquetes de aditivos, al ser mayor el volumen del aceite mezclado con el combustible, los aditivos pierden su concentración por tanto su funcionalidad y eficacia dentro del sistema de lubricación del motor. Muchos estudios han podido determinar que la disminución del TBN no se debe al consumo de la reserva básica de los aditivos sino más bien a la dilución por combustible en el aceite. El descenso del punto de inflamación es otro de los problemas por dilución, produciendo en el aceite una menor temperatura que puede soportar sin llegar a inflamarse. Normalmente los lubricantes nuevos rondan los 220-240 °C de punto de inflamación. **“Un aceite usado no presenta riesgos de inflamación mientras su punto de inflamación no sea inferior a 180 °C, quedando descartados los riesgos de explosión en el cárter”**. [13]

El envejecimiento prematuro y oxidación del aceite lubricante además la pérdida de nivel de dispersancia y protección antidesgaste se produce también por la dilución de combustible.

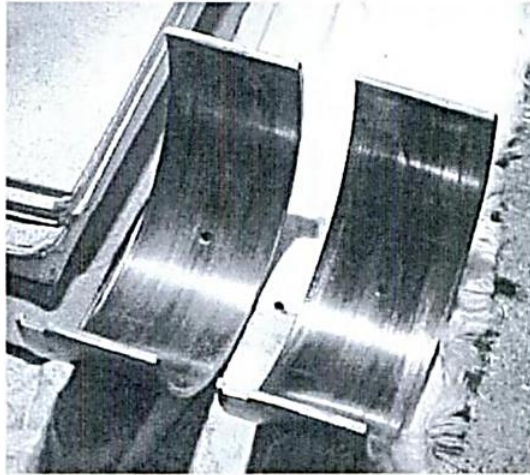


Figura 2.16: Desgaste en cojinetes de bancada, eliminación de la capa de plomo superficial en motor de uso ferroviario debido a la contaminación del aceite por dilución.

Fuente: [6]

Finalmente la dilución provoca el incremento de azufre en el aceite, cuando el combustible posee un alto nivel de azufre.

2.3.5. Insolubles y materia carbonosa.

La cantidad y características de insolubles presentes en una muestra de aceite es de suma importancia conocerlos porque de ello se puede deducir el nivel de degradación del propio aceite, la calidad de los filtros de aceite, el desgaste interno del motor y la saturación de los aditivos detergentes del aceite por acumulación de materia carbonosa producida por la mala combustión.

Según la norma ASTM D-893 nos indica que utilizando tolueno como disolvente nos podremos encontrar con: materia carbonosa, contaminantes inorgánicos y material de desgaste, representando por tanto, básicamente material extraño que ha entrado en el aceite. **“Los insolubles en pentano incluyen además resinas y material orgánico proveniente de la propia oxidación y polimerización del aceite”**. [6]

Analizando de entre todos los contaminantes insolubles en el aceite de un motor Diésel el más significativo es la materia carbonosa. Porque dicha materia se va aglomerando desde partículas de forma esférica muy pequeñas (0.01 y 0.05 μm) hasta formar macro moléculas pastosas que con el tiempo se van acumulando en las paredes del sistema lubricado y más aún en las galerías de lubricación de todo el motor, trayendo como consecuencia la pérdida de eficacia de dicho sistema.

“La materia carbonosa consta de un 98 % de carbono en peso, se forma durante el proceso de combustión y entra al cárter de aceite con el blow-by de los gases de combustión”. [6]

Las causas y efectos producidos por un nivel significativo de materia carbonosa en un aceite se pueden observar en la **tabla 2.11**.

Causas	Efectos
Cambio de aceite muy extendido	Pérdida de dispersancia
Blow-by elevado	Formación de lodos
baja compresión	Pérdida de protección anti-desgaste
Alta relación de combustible/aire	Bloqueo de venas de lubricación
Filtros de aire tapados	Taponamiento de filtros
Variación y excesiva marcha en vacío	

Tabla 2.11: Causas y efectos de la contaminación por materia carbonosa.

Fuente: [6]

2.3.5.1. Influencia de la materia carbonosa sobre la lubricación.

Según diversos autores que han estudiado la influencia y el impacto de la materia carbonosa como contaminante del aceite lubricante han llegado a las siguientes conclusiones; que la materia carbonosa provoca:

- Un aumento de la viscosidad
- Un incremento de la tasa de desgaste
- Mayor formación de barros (sludge)
- Un aumento de la presión diferencial del filtro o incluso su taponamiento

La aglomeración de la materia carbonosa forma una red débil de gran volumen efectivo donde queda englobado el aceite. **“Datos expuestos en estudios del fabricante de motores Mack llegan a afirmar que un 5.5 % de materia carbonosa llega a producir un aumento del 10 % de la viscosidad”**. [14]

Para evitar dichas aglomeraciones es necesario que el aceite contenga aditivos dispersantes sin cenizas, etc.

Un estudio realizado por [14] llega a ofrecer las siguientes conclusiones en este aspecto:

La parte más vulnerable del motor es el árbol de levas que posee componentes operando bajo condiciones de lubricación límite.

La dispersancia de la materia carbonosa es crítica para la vida de los filtros, el control de la viscosidad, la formación de barros y el mantenimiento del nivel de bombeabilidad del aceite.

2.4. Análisis de los principales elementos del motor de combustión interna que sufren desgaste.

Todos los elementos que se encuentran en movimiento relativo durante el funcionamiento del motor sufren desgaste en mayor o menor magnitud, dependiendo de una serie de factores tales como: zonas de contacto, velocidad de deslizamiento, temperatura, calidad de lubricación, etc. El fenómeno de desgaste de las partes que conforman un motor trae consigo consecuencias negativas tales como disminución de la vida útil de todas las partes, pérdida de las prestaciones (potencia, par), acortamiento del periodo de cambio de aceite, consumo excesivo de combustible, aceite, altas emisiones de gases contaminantes, etc.

Por lo tanto es necesario conocer de manera detallada el proceso de desgaste de las principales partes del motor, para posteriormente poder controlarlas, diagnosticarlas y disminuirlas a su mínima expresión.

2.4.1. Desgaste del grupo pistón-segmentos-camisa.

El pistón conjuntamente con los segmentos y la camisa se puede considerar como el corazón del motor, sin estos no se produce movimiento alguno dentro del motor, por ello la importancia de estudiarlos a detalle.

Siendo este el principal órgano del motor sufre desgaste considerable, debido a las condiciones extremas a la cual está sometida tales como: **“velocidades de deslizamiento, presiones entre elementos y temperaturas del grupo elevadas, junto con condiciones de lubricación crítica, ambiente corrosivo y presencia de abrasivos en el aire admitido y en el aceite”**. [6]

Las zonas de mayor desgaste en el pistón son: las caras superior e inferior de las ranuras de alojamiento de los segmentos, la falda y el asiento del bulón. En los segmentos el desgaste se genera en la superficie exterior y las caras superior e inferior. Finalmente en la camisa el desgaste se da en toda la superficie longitudinal en especial en la zona del punto muerto superior (PMS).

2.4.1.1. Desgaste Adhesivo.

Cuando los pistones se mueven dentro de los cilindros se forma una película hidrodinámica de lubricante entre los segmentos y la camisa que los protege del desgaste excesivo. La película hidrodinámica de lubricante sufre un cambio de espesor de acuerdo a la posición relativa del pistón-segmento, este cambio se hace más visible al final de la carrera de expansión presentando un espesor de película mínima al igual que cuando estos sobrepasan la zona del punto muerto superior; esto se debe a que la velocidad relativa del segmento-camisa es baja y tanto las cargas como la temperatura son elevadas; en estos puntos la película lubricante

suele romperse provocando el contacto inter metálico entre estas dos partes provocando el rozamiento y por lo tanto el desgaste con pérdida de material de la superficie más blanda, en especial como ya se dijo en la zona del punto muerto superior donde el desgaste se presenta en toda la superficie de la camisa.

“Las partículas producidas por el desgaste del grupo segmentos-cilindro poseen un tamaño inferior a $30\mu\text{m}$ y alta dureza, razón por la cual van a resultar abrasivas”. [6]

Cuando se aumenta la potencia del motor también se aumenta el desgaste de sus partes porque las presiones medias se elevan al igual que las temperaturas y las cargas a velocidad constante.

En el momento que se multiplica la velocidad media de pistón- segmentos respecto a la del cilindro se genera más rápidamente una película lubricante hidrodinámica en toda la superficie de la camisa; como contraparte la misma camisa en la zona del PMS tiene mayormente contactos inter metálicos de manera que prevalece los efectos negativos sobre los positivos es decir el desgaste se mantiene y crece de acuerdo a la potencia del motor.

La temperatura es otro de los factores importantes que afecta al desgaste interno del motor porque además de modificar la viscosidad del aceite tiene mucho que ver con la dilatación o distorsión térmica de los materiales en especial de la camisa, segmento de fuego y la falda del pistón; con la consiguiente formación de capas de óxido de baja resistencia.

Durante el arranque en frío se produce un desgaste excesivo por la deficiente película de lubricación presente en el interior del cilindro, provocando en los casos más extremos un micro gripado por el contacto inter metálico entre el segmento-camisa y cuyas partículas de desgaste se caracterizan por su alta dureza llegando a medir aproximadamente $60\mu\text{m}$.

Para reducir el desgaste de las partes que conforman un motor hay que trabajar principalmente en el diseño, refrigeración, materiales y geometría de la capa superficial sometida a rozamiento, que constituyen dichos elementos (pistón-camisa-segmento).

Concluyendo un motor más rápido se va a desgastar superiormente en relación a uno más lento. Ver **figura 2.17**.

2.4.1.2. Desgaste Corrosivo.

Este tipo de desgaste en el grupo pistón-segmento-camisa está íntimamente relacionado con ciertos subproductos muy agresivos producto de la combustión y de la forma como esta se realiza dentro del motor. Cuando hablamos del proceso de combustión esta va a depender de la cantidad estequiometrica de aire-combustible; en un motor diésel el aire comprimido a altas presiones es

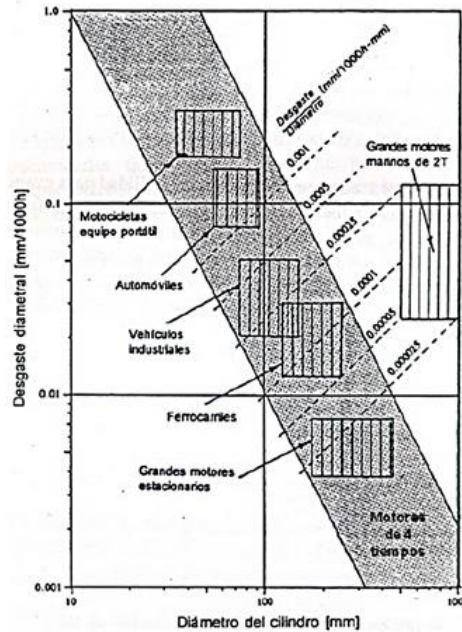


Figura 2.17: Desgaste de la camisa del motor en función del tamaño del mismo.
Fuente: [6]

inyectado con una cierta cantidad de combustible para que se produzca el proceso de combustión a través de reacciones físico-químicas del aire-combustible. Como subproducto de la combustión tenemos los, monóxidos de Carbono (CO), dióxidos de Carbono (CO₂), monóxido de azufre (SO₃), este último compuesto al entrar en contacto con cierta cantidad de vapor de agua se genera el ácido sulfúrico (H₂SO₄) altamente corrosivo para algunas superficies metálicas de las cuales pueden estar constituidas el grupo estudiado en este apartado.

Según diversos estudios se han llegado a determinar que mientras mayor cantidad de azufre contenga el combustible mayor será el desgaste de un motor, ya que el azufre al entrar en contacto en cualquiera de sus formas como subproducto de la combustión con las películas lubricantes del motor, termina agotando ciertos aditivos y modificando sus propiedades además de provocar el desgaste corrosivo por medio de las reacciones electroquímicas en las superficies circundantes. Por ello es necesario contar con un aceite con reserva básica (TBN) suficiente para contrarrestar y minimizar al máximo el impacto del azufre dentro del motor.

2.4.2. Desgaste Abrasivo.

Como ya hemos estudiado anteriormente uno de los principales contaminantes del aceite es el silicio; este provoca un importante desgaste interno del motor por su característica de alta dureza pudiendo fácilmente rallar o desgastar a altas presiones de contacto a la camisa-segamento-pistón del motor y otros elementos como los cojinetes del cigüeñal, sistema de distribución (leva-empujador; balancín cola de válvula, etc.) La mejor forma de disminuir el desgaste abrasivo es filtrando todos los fluidos que puedan entrar en contacto con las partes del motor.

2.5. Formación de depósitos.

Los depósitos que se forman en el motor a causa de diversos agentes contaminantes afectan de forma directa el comportamiento del sistema de lubricación, modificando las propiedades físicas-químicas del aceite y adhiriéndose a las superficies de los elementos del motor ocasionando un mayor desgaste y una deficiente transmisión del calor.

2.5.1. Clasificación de los tipos de depósitos.

Estos depósitos se pueden clasificar de la siguiente manera según [6]

- Depósitos que comprometen la vida útil del motor al dificultar la circulación del aceite, taponando el filtro y los conductos de lubricación ocasionando una disminución del aceite necesario para la lubricación (lubricación tipo graso).
- Depósitos que pueden conducir a una avería prematura de ciertas piezas del motor:
 - Localizados sobre varillas y válvulas con tendencia a producir el pegado y quemado de las mismas.
 - Localizados en la zona de segmentadura, limitando la libertad de movimiento de los segmentos en sus alojamientos.
- Depósitos que provocan un progresivo empeoramiento en el funcionamiento del motor, pero sin perjuicio inmediato sobre sus piezas:
 - Barnices, alojados sobre las faldas del pistón que originan una interferencia en la transmisión del calor pistón-cilindro y que en el peor de los casos se puede ocasionar el pegado en frío de los mismos.
 - Sobre los segmentos rascadores y en los orificios de retorno del aceite de los pistones, obstruyendo el paso del aceite y ocasionando un aumento del consumo del mismo.
 - En la cámara de combustión provocando una pérdida de potencia debido a la aparición de formas anormales de la combustión.
- Depósitos no perjudiciales para el funcionamiento del motor pero que aumentan el trabajo de mantenimiento del mismo.
- Depósitos sobre la cubierta de la distribución, cubre balancines, cárter, filtros, etc.

Los depósitos que podemos encontrar en el motor están en función de la temperatura del mismo, tales como: [6]

- Depósitos de alta temperatura o calamina que se forman en las partes sometidas a mayores temperaturas como la cámara de combustión, cabeza del pistón y válvulas de escape.
- Depósitos de temperatura intermedia tales como barnices, lacas y materia carbonosa en las zonas de segmentos, faldas de pistón y válvulas de admisión.
- Depósitos de temperatura relativamente baja, lo que se conoce como barros y se forma en el cárter, cubierta de balancines y de la distribución o en los filtros del circuito de lubricante, etc.

2.5.2. Depósitos en la cámara de combustión.

Los depósitos que se forman en la cámara de combustión de un motor diésel son menos problemáticos que los que se forman en un motor de gasolina, las características de formación o adhesión de estos depósitos en la cámara de combustión de los motores diésel son:

En la fase de pre-mezcla de la combustión ya se libera carbón sólido, seguida de una elevación de la temperatura, resultado de la combustión aumenta aún más la liberación de carbono, debido a esto el carbono producido en la combustión sale despedido del motor por medio de los gases de escape o bien se queda en el interior del mismo. De acuerdo a la naturaleza de los depósitos estos pueden ser:

2.5.2.1. Hollín.

El hollín se forma en el interior de la cámara de combustión mediante el proceso mismo de la combustión, durante la transición de este proceso existen zonas con dosado muy rico que alcanzan elevadas presiones y temperaturas con una falta de oxígeno, la cadena de hidrocarburos empieza a fracturarse y deshidrogenarse convirtiéndose fácilmente en carbono. Esta formación se da en el seno del chorro del combustible donde hay muy poco oxígeno. En la **figura 2.18** se puede ver el proceso de formación del hollín.

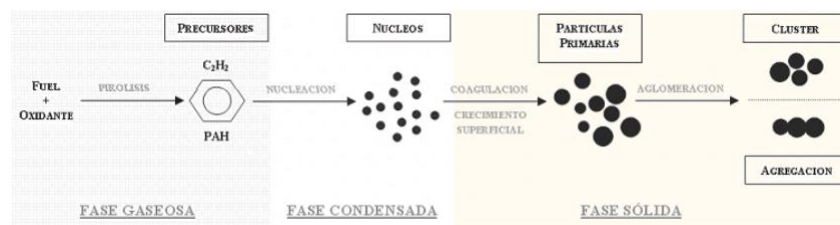


Figura 1.4: Procesos que intervienen en la formación de hollín.

Figura 2.18: Proceso de formación del hollín (altas temperaturas).

Fuente: [26]

Estas partículas de hollín en su recorrido hacia la atmosfera se agrupan de tal manera que a la salida del tubo de escape de un motor tenemos lo siguiente

formación como puede verse en la **figura 2.19**. Además en la figura puede apreciarse que la tendencia de estas partículas es a tener una forma esférica.

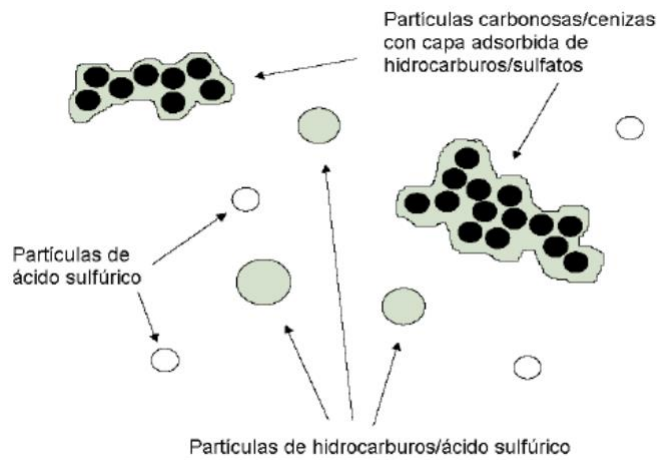


Figura 1.3: Estructura típica de las partículas recogidas en el escape de un motor diésel

Figura 2.19: Estructura típica de las partículas recogidas en el escape de un motor diésel.

Fuente: [26]

Bajo cualquier parámetro de funcionamiento del motor diésel como: aumento de la relación aire/combustible, aumento del régimen de giro, aumento de la carga y la tasa de EGR baja; **“el tamaño de las partículas se encuentra entre un rango de 19 a 36 nm, según los resultados de varios análisis”** [15],[16].

Como la formación del hollín tiene lugar en la cámara de combustión este se deposita básicamente en la cabeza del pistón y paredes de la cámara de combustión, se aglomeran en pequeñas cantidades en puntos específicos del motor, por lo cual tiene poco efecto sobre el funcionamiento del mismo. Pero para el aceite lubricante este representa una amenaza, produciendo el ennegrecimiento más rápido del mismo, una saturación más rápida de la propiedad dispersante y **“si este se encuentra en una concentración de entre 2 a 3% presenta una tendencia a separarse para formar depósitos en diversas partes del motor.”** [6]

2.5.2.2. Calamina vitrificada.

Se origina por el cracking térmico de una mezcla de combustible con poco oxígeno al estar en contacto con superficies a altas temperaturas, tornándose de un aspecto similar a la escoria. La calamina debido a su composición es abrasiva y pueden producir importantes desgastes sobre las paredes de los cilindros y los segmentos.

Si el depósito que se ha formado es a base de carbono puro su unión al metal es débil pero si este depósito contiene cenizas estas actúan como un medio ligante

fortaleciendo la adhesión. El lubricante quemado en la cámara de combustión produce más contaminantes que el propio combustible debido a la cantidad de aditivos que este posee.

2.5.3. Depósitos sobre las válvulas de escape.

Al estar sometidas a las mismas temperaturas que el resto de la cámara de combustión, los depósitos en estas no son muy diferentes de los que se encuentra en la cámara.

Estos depósitos comprometen la vida útil e integridad de las mismas, por un lado dificultando o restringiendo la evacuación del calor al ser malos conductores térmicos y también cuando se da el desprendimiento de estos interponiéndose entre el asiento y la válvula provocando de esta forma un cierre inadecuado, a causa de esto se fugan gases de la combustión a muy altas temperaturas y en su paso deterioran los asientos de válvulas, ver **figura 2.20**.

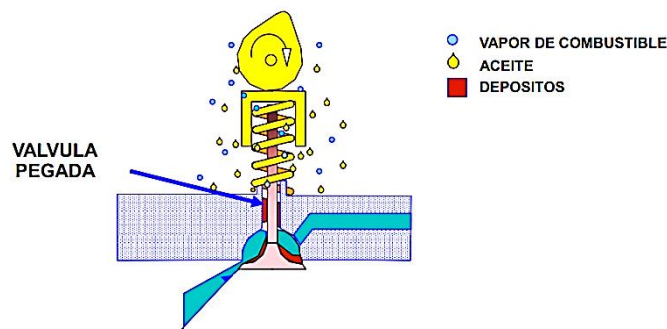


Figura 2.20: Formación de depósitos sobre la guía y asiento de válvula (medias y altas temperaturas).

Fuente: [27]

“Existen métodos para mejorar el comportamiento de las válvulas a pesar de los depósitos, estos pueden ser de origen mecánico, metalúrgico y diseño” [6]

- Revestimiento de asientos y apoyos con aleaciones especiales
- Refrigeración interna de las válvulas
- Empleo de aceros especiales

2.5.4. Depósitos en los alojamientos de los segmentos.

Cuando el juego que existe entre el segmento y su alojamiento se encuentra colmado por depósitos se restringe su movilidad y la facilidad de desempeñar su papel de junta de estanqueidad; dependiendo de la extensión de la aglomeración estos depósitos pueden suprimir en su totalidad la libertad de movimiento de los

segmentos manteniéndolos bloqueados en sus alojamientos produciendo el pegado de los segmentos, que a su vez pueden dar paso a la posible ruptura de estos durante el funcionamiento, ver **figura 2.21**.

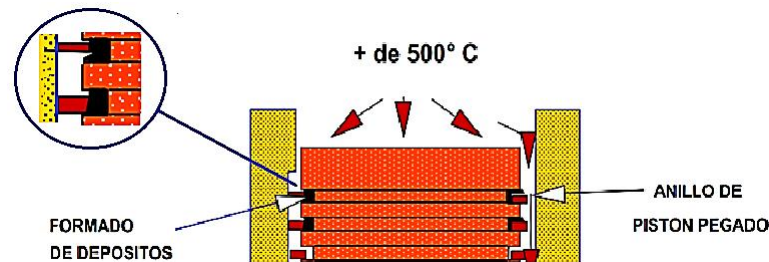


Figura 2.21: Formación de depósitos sobre los segmentos del pistón (temperaturas medias).

Fuente: [27]

Estos depósitos afectan al funcionamiento del motor produciendo las siguientes anomalías: **“perdida de potencia, aumento del consumo de combustibles y aceite, mayor blow-by, contaminación más rápida del aceite, etc.”** [6]

El pegado de segmentos es un indicativo de que existe un funcionamiento a temperaturas elevadas del fondo del alojamiento, este pegado puede ser de dos formas:

2.5.4.1. Pegado en caliente.

Este tipo de avería se produce cuando el segmento se adhiere al pistón a causa de los depósitos y a las altas temperaturas alcanzadas en la parte superior del pistón ocasionando la unión de los dos cuerpos, también se puede dar entre la parte interna del segmento y el fondo de la garganta donde se acumulan los depósitos.

2.5.4.2. Pegado en frío.

Se da por motivo de una parada prolongada del motor donde el segmento se bloquea en una posición por acción de los depósitos, pero al momento del arranque del motor este se despega, este tipo de anomalía no es perjudicial pero al dejar que se sigan acumulando los depósitos puede convertirse en un pegado en caliente del segmento.

Dos fenómenos químicos son los que dan origen a la formación de depósitos en los pistones, por un lado está la oxidación propia del aceite lubricante y la coquización térmica del aceite oxidado.

Los productos orgánicos solubles e insolubles presentes en el aceite resultan de la oxidación del mismo, al depositarse en los segmentos actúan en primer instancia como plásticos ejerciendo una adherencia que resulta ser más sensible a

temperaturas bajas que a altas temperaturas donde son más fluidos. Luego estos depósitos actúan como un medio ligante que atrae a productos carbonosos resultantes del proceso de la combustión engendrando una especie de coque.

En motores diésel, la mayor oxidación del aceite se da debido a una mayor cantidad de oxígeno en la combustión, combustibles con un alto contenido de azufre pueden formar depósitos más duros que inclusive pueden ser abrasivos.

2.5.5. Depósitos sobre la falda del pistón.

Los depósitos que se forman en la falda del pistón son diferentes a los depósitos anteriormente nombrados, debido a las características que estos presentan, como su espesor el cual es muy fino como una capa que cubre la superficie de la falda del pistón y el color que este posee que puede ir del amarillo o pardo claro hasta pardo oscuro o el negro brillante. Por estas características estos depósitos reciben el nombre de barnices o lacas, no es un depósito que se acumule en grandes cantidades o pueda ocasionar abrasión de las paredes de los cilindros, pero dificulta el intercambio de calor entre la falda del pistón y el cilindro permitiendo que las temperaturas en el pistón aumenten; en casos extremos se puede dar el agrietamiento de los pistones, ver **figura 2.22**.

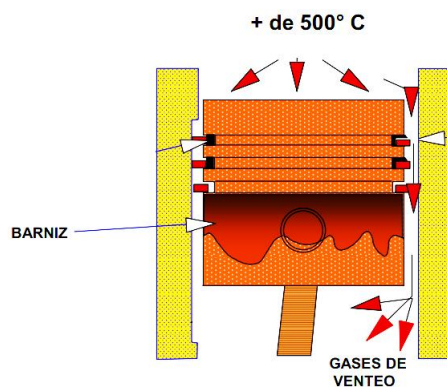


Figura 2.22: Formación de depósitos sobre la falda del pistón (temperaturas medias).

Fuente: [27]

2.5.6. Depósitos a temperatura de funcionamiento relativamente baja.

Estos depósitos se producen en zonas del motor donde la temperatura es más baja que la encontrada en la cámara de combustión, como el cárter el cual es idóneo para estos depósitos comúnmente conocidos como lodos o sludge, estos presentan un color que va del gris al negro y de acuerdo a la concentración de contaminantes este presenta una consistencia pastosa y la de un material semisólido, **figura 2.23**.

Estos lodos están compuestos por diversos contaminantes como: “mezclas de carbono u hollín, aceite, aceite parcialmente quemado, fracciones del combustible, partículas metálicas o de óxidos que provienen del desgaste del motor y polvos atmosféricos o emulsiones de estos productos con ciertos porcentajes de agua” [6].

Estos depósitos están influenciados por la temperatura, a temperaturas bajas poseen considerables cantidades de agua lo que le da una consistencia semejante a una mayonesa, a mayores temperaturas estos depósitos tienen la consistencia de una material semisólido debido a que el agua se evapora dejando a los lodos en un estado de deshidratación.

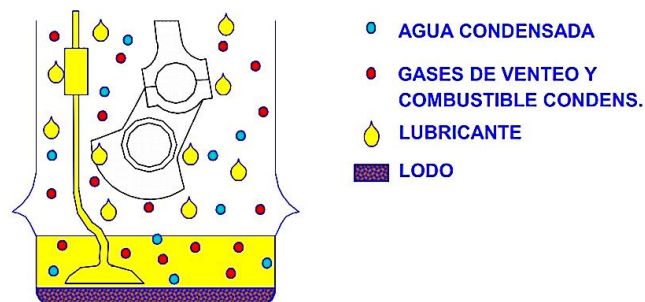


Figura 2.23: Formación de depósitos en el cárter del motor (temperaturas bajas).

Fuente: [27]

Capítulo 3

Técnicas, equipos y parámetros utilizados para evaluar el estado real de un aceite lubricante.

3.1. Equipos y técnicas aplicables para el análisis de aceites lubricantes del motor.

Dentro de este apartado se tratara sobre los equipos y técnicas que son utilizados en la actualidad para el análisis de los aceites de motor, estos nos otorgan una referencia del estado del aceite del motor de una forma rápida y sencilla, los análisis se los lleva acabo en laboratorios especializados donde se obtiene una apreciación cualitativa y cuantitativa de los componentes del aceite. **“Estas técnicas se pueden clasificar de acuerdo a su finalidad en”** [6]

- Técnicas para la determinación de la degradación del aceite.
- Técnicas para la cuantificación de la contaminación presente en el aceite.
- Técnicas para la identificación y cuantificación de las partículas de desgaste en el aceite usado.

En esta sección del capítulo vamos a tratar con las siglas ASTM que representan a la sociedad Americana para pruebas y materiales, esta institución ha establecido una serie de normas en las cuales se establecen parámetros y condiciones óptimas bajo las cuales se evaluaran las propiedades físico-químicas y los contaminantes de los aceites tanto nuevos como usados.

3.1.1. Técnicas analíticas para la determinación de la degradación del aceite.

Estos son algunos de los métodos que se utilizan para el cotejo de las propiedades del aceite mediante las cuales se podrá medir el nivel de degradación del mismo. La degradación es la perdida de las propiedades tanto físicas como

químicas que posee inicialmente el aceite que se da a causa de diversos factores como: estado y mantenimiento del motor, calidad del aceite, tipo de servicio que desempeña, tiempo de servicio del aceite y añadidos de aceite (en caso de existir).

3.1.1.1. Viscosidad.

Como ya es sabido la viscosidad es la propiedad más importante del aceite y es la que define la resistencia que ofrece el aceite al contacto entre metales, esta viscosidad puede ser absoluta o dinámica. La viscosidad es variable dependiendo de la concentración de los diferentes contaminantes, aumenta ante la presencia de solubles e insolubles y la oxidación, por otro lado se ve disminuida ante la dilución por combustibles.

La viscosidad también varía durante el periodo de funcionamiento del motor a causa de la presión y cambios de temperatura, a la variación de la viscosidad a causa de la temperatura se le conoce como índice de viscosidad (IV) el cual puede estar entre 0 y 100 como ya se explicó anteriormente. El IV no es usado como parámetro de diagnóstico del aceite debido a la degradación del aditivo mejorador del índice de viscosidad el cual no es detectable en la mayoría de los casos del análisis y a más puede verse enmascarado por contaminantes presentes en el motor como la dilución por combustibles.

La viscosidad cinemática en Centistokes a 40 y 100°C puede ser determinada por medio de diferentes métodos, de los cuales destacamos el usado por la norma ASTM D-455 que establece los parámetros mediante los cuales se obtiene la viscosidad cinemática a diferentes temperaturas. En este método se utilizan tubos de vidrio que poseen formas y calibraciones diversas a las cuales se les llama viscosímetros, esta técnica consiste en medir el tiempo en segundos en el cual el aceite circula por el viscosímetro, luego el valor de la viscosidad cinemática se obtiene del producto entre el tiempo de escurrimiento obtenido y la constante de calibración del viscosímetro. En cambio la viscosidad dinámica se obtiene del producto de la viscosidad cinemática conseguida y de la densidad específica del aceite a la misma temperatura.

3.1.1.2. Acidez-basicidad del aceite.

La acidez o alcalinidad de un aceite nuevo nos da la información sobre el grado de refinado y de aditivación, mientras que en un aceite usado nos brinda información sobre los contaminantes y el nivel de degradación del mismo. Al tomar la acidez como un parámetro de evaluación nos permite conocer los cambios químicos sufridos por el aceite a causa de su oxidación que proviene de los residuos de la combustión. Como ya se mencionó anteriormente estos ácidos producto de la combustión tiene dos efectos dañinos en el motor, ocasionando el desgaste corrosivo de los metales y una aceleración en la oxidación del aceite. Para llevar a cabo el monitoreo de este parámetro existe la norma ASTM D-664 que se define como la cantidad de ácido en miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar el contenido de ácido en un gramo de muestra y que esta alcance

un punto final semejante a un pH de 11.

El TBN o índice de basicidad total se emplea para monitorear la reserva alcalina requerida para neutralizar los ácidos procedentes de la combustión y de la oxidación del aceite a altas temperaturas, para llevarlo a cabo existen las normas ASTM D-2896, ASTM D-4739, ASTM D-644 y ASTM D-5984. Por medio de la ASTM D-2896 podemos obtener una mejor medida del contenido de aditivo total en un aceite nuevo añadiendo la cantidad de ácido perclórico necesario para neutralizar todos sus componentes básicos en un gramo de muestra. La ASTM D-664 se realiza de igual forma utilizando el ácido clorhídrico (HCL), vale tomar en cuenta que si se va a realizar el seguimiento de un vehículo en particular las pruebas deben ser realizadas siempre bajo la misma norma ya que existen diferencias como es el caso de la ASTM D-2896 donde el resultado del TBN analizado es mayor que el que se obtiene por la ASTM D-664 lo que puede llevar a una mala interpretación de los datos en el proceso de monitoreo del vehículo. Últimamente se ésta utilizando la ASTM D-4739 y la ASTM D-5984 que resultan ser muy eficaces para el análisis de aceites usados, en la **figura 3.1** se muestra el comportamiento del TBN frente al TAN de un aceite en función del tiempo de uso del mismo.

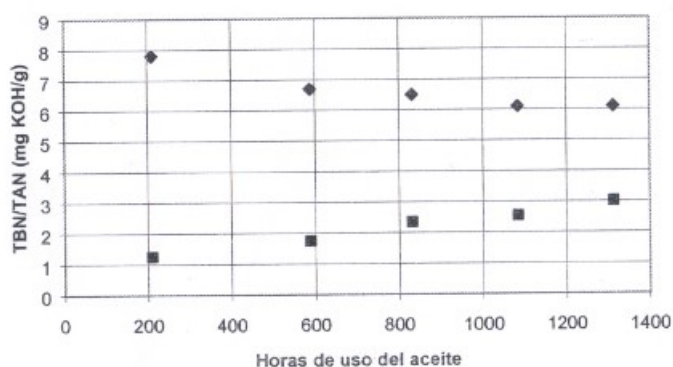


Figura 3.1: Evolución típica del TBN y TAN en el lubricante usado en función del tiempo de uso del mismo.

Fuente: [6]

3.1.2. Técnicas de análisis de la contaminación del aceite.

La contaminación del aceite se ocasiona por la presencia de agentes extraños en él, que pueden provenir tanto del exterior como del interior del motor, dentro de los contaminantes que podemos encontrar en el aceite tenemos: partículas metálicas y óxidos metálicos, polvo atmosférico, combustible, agua, materia carbonosa y ácidos de la combustión y la propia oxidación del combustible. A continuación se describen los métodos de medición de los contaminantes que no provienen del desgaste ni del polvo atmosférico.

3.1.2.1. Determinación de presencia de dilución por combustibles.

Dentro de los motores diésel la dilución por combustibles se puede determinar por:

- La viscosidad de la muestra debido a que los combustibles diésel son menos viscosos que el aceite, su presencia es detecta por la reducción de la viscosidad, el porcentaje de dilución se obtiene de la **figura 3.2**
- A partir del punto de inflamación
- A partir de la espectrometría infrarroja, la que se verá más adelante

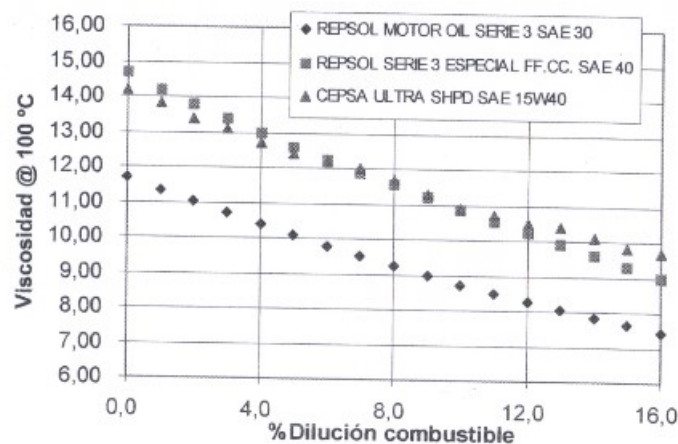


Figura 3.2: Variación de la viscosidad a 100 °C en función de la cantidad de dilución por combustibles presente en el aceite.

Fuente: [6]

Una causa muy importante por la que se da la dilución son las contantes paradas y arrancadas a las que está sometido el vehículo durante su circulación dentro de la ciudad en las horas pico, de aquí surge la necesidad de cambiar el aceite con mayor frecuencia aunque el aceite aun tenga una buena reserva alcalina (TBN).

La dilución por combustibles se analiza bajo la norma ASTM D-322 para motores a gasolina pero para motores diésel no existe una prueba estandarizada debido a que el grado de volatilidad del diésel es menor y a causa de esto se requieren de mayores temperaturas para evaporarlo y con este se evaporarían las fracciones más livianas del aceite dando lugar a resultados erróneos. También se puede determinar verificando el punto de inflamación, si este disminuye significa que el aceite está contaminado con combustibles.

3.1.2.2. Determinación de la contaminación con agua.

La contaminación del aceite por el agua puede venir de diversa fuentes como es el caso de la condensación dentro del motor a causa de las bajas temperaturas o del aumento de la presión en el cárter y de fugas del sistema de refrigeración,

el agua produce oxidación de los elementos del motor y la degradación del mismo aceite. El contenido de agua presente en el aceite puede ser determinado por varios métodos de entre los cuales tenemos la centrifugación, destilación y análisis infrarrojo (método cuantitativo).

Por medio de la norma ASTM D-95 se obtiene una mezcla de aceite y un solvente hidrocarburo que se destilan, condensan y son recogidos en una trampa calibrada. Para concentraciones muy pequeñas de agua se utiliza el método de valoración del aceite mediante el reactivo de Karl Fisher de acuerdo con la norma ASTM D-1744.

La concentración de agua de una muestra de aceite usado cuando es inferior a 0.1 % no representa ningún problema, entre 0.1 a 0.2 es un contenido alto pero controlable por el paquete de aditivos del mismo aceite, concentraciones por encima de 0.2 % se considera crítico y debería buscarse su origen el cual puede ser a causa de cambios bruscos en la temperatura de funcionamiento, serpentines de enfriamiento rotos, etc. los aceites presentan un color claro y brillante cuando están libre de agua, pero ante la presencia de esta presentan un color opaco y turbio.

3.1.3. Espectrometría infrarroja.

Por medio de este método obtenemos una determinación cualitativa y cuantitativa de la composición de una muestra mediante el análisis de la longitud de onda a las cuales absorben radiación infrarroja, el proceso habitual es comparar los datos obtenidos de la muestra de aceite usado con respecto a una de aceite nuevo de la misma marca, **“dentro de los contaminantes que pueden ser detectados por este método tenemos”** [6]

- Productos de oxidación y nitración
- Contaminación por agua
- Contaminación por glicol por parte del sistema de refrigeración
- Dilución de combustible

3.1.4. Análisis para la determinación del desgaste del motor.

Para llegar a determinar la presencia de partículas metálicas en el aceite se debe llevar a cabo un análisis cualitativo para conocer qué tipos de metales están presentes en el aceite y también un análisis cuantitativo para determinar la cantidad de dichos metales. Existen diversos métodos para determinar el contenido de partículas metálicas en el aceite usado de un motor diésel. Dentro de los principales elementos de desgaste del motor que podemos encontrar dentro una muestra de aceite usado son los que se listan en la **tabla 3.1**.

Tipo de material	Origen
Silicio	Aire exterior y de los aditivos antiespumantes.
Calcio	Aire exterior y aditivos detergentes.
Bario, magnesio	Aditivos detergentes.
Hierro, cromo	Anillo y camisas del motor.
Aluminio	Pistones.
Estaño, cobre y plata	Cojinetes del cigüeñal.
Plomo	Cojinetes del cigüeñal (motores diésel) o del combustible (gasolina).
Vanadio, sodio	Combustible quemado.
Boro	Anticongelante del radiador.
Níquel	Del vástago de las válvulas, del cigüeñal y combustible quemado.
Plata	De la soldadura del radiador y de los cojinetes cuando estos son de plata.

Tabla 3.1: Materiales presentes en una muestra de aceite de acuerdo a su origen.

Fuente: [7]

3.1.5. Espectrometría.

La espectrometría se da a causa del intercambio de energía que existe entre la radiación electromagnética y la materia, con este método es posible identificar los elemento por medio del espectro electromagnético (cantidad de luz que es absorbida o transmitida) que resulta ser característico de cada elemento.

Donde el espectrómetro de emisión atómica **figura 3.3** usa la propiedad que poseen los átomos de absorber energía cuando estos están sometidos a una fuente de excitación y a su vez esta energía es usada para que los electrones migrar a niveles superiores de energía, cuando la fuente de excitación ha cedido los electrones regresan a sus niveles originales emitiendo energía que forma espectros únicos con longitudes de onda característicos de cada elemento. La intensidad de la energía emitida a una cierta longitud de onda es proporcional a la concentración del elemento. El espectrómetro más usado es el de emisión por plasma. La norma más usada para el conteo de partículas por medio de la espectrometría es la ASTM D-4951.



Figura 3.3: Espectrómetro de emisión atómica.

Fuente: [28]

3.1.6. Conteo de partículas.

Estos contadores de partículas permiten conocer el número de partículas dentro de la muestra de aceite clasificándolas de acuerdo al tamaño, la norma usada

para este método es la ISO 4406 que clasifica a las partículas de acuerdo a un rango numérico: superiores a $4\ \mu\text{m}$, superiores a $6\ \mu\text{m}$ y superiores a $14\ \mu\text{m}$ que dan la calificación de R4/R6/R14. Este método no es recomendado para el seguimiento del desgaste debido a que cuenta todo tipo de partículas incluidas las no metálicas.

3.1.7. Microscopia.

Mediante esta técnica se puede utilizar un microscopio convencional o electrónico dependiendo del tamaño de las partículas que se van analizar, así pues para partículas superiores a $1\ \mu\text{m}$ es suficiente con un microscopio convencional pero para partículas inferiores es idónea la utilización de un microscopio electrónico, **figura 3.4**.



Figura 3.4: Microscopio metalográfico OLYMPUS.
Fuente: [29]

3.2. Proceso técnico para el cambio de aceite.

1. Comprobar que exista en stock la caneca del aceite lubricante (15w40), filtro de aceite, filtro de combustible y filtro de aire, ver **figura 3.5**.



Figura 3.5: Productos en stock.
Fuente: Autores

2. Limpiar toda la superficie externa de la caneca del aceite lubricante con guaype, franela u otro elemento que sirva para tal propósito y que se encuentre libre de suciedad, ver **figura 3.6**.

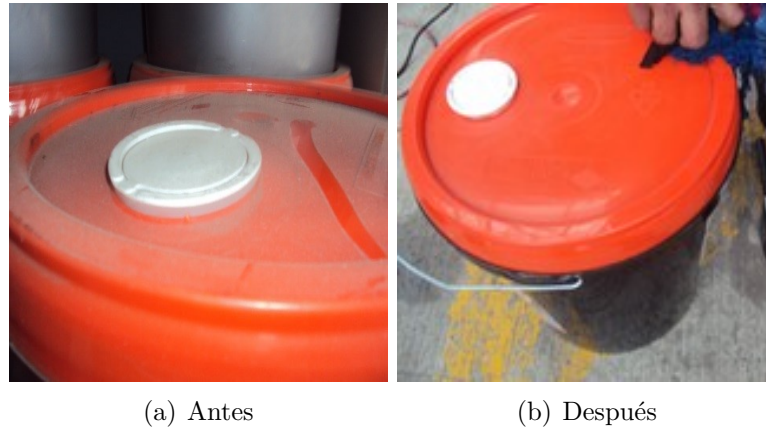


Figura 3.6: Limpieza de la caneca de aceite.

Fuente: Autores

3. Trasladar la caneca, filtro de aceite, filtro de combustible, filtro de aire y las herramientas necesarias para el cambio de aceite a la zona más próxima a la unidad respectiva, **figura 3.7**.



Figura 3.7: Productos en la zona de cambio de aceite.

Fuente: Autores

4. Verificar que se cuente con todas las herramientas y utensilios necesarios para el cambio de aceite y que se encuentren exentos de toda suciedad.
5. Estacionar correctamente la unidad para el cambio de aceite, mantenerlo en ralentí; anotar el kilometraje recorrido de la unidad en caso de que funcione el tacómetro, **figura 3.8**.

Nota: este paso es importante para controlar los kilómetros de uso del aceite lubricante y para proceder a drenarlo en el momento preciso.

6. Acceder al compartimento del filtro de aire y observar la lectura del sensor de presión (verde, amarillo o rojo) en caso de que funcione dicho sensor.



Figura 3.8: Posicionamiento de la unidad.
Fuente: Autores

7. Apagar la unidad y a continuación acceder al filtro de aire para su respectivo mantenimiento, cambiar el filtro de aire bajo los siguientes parámetros:
 - Lectura del sensor de presión indique el color rojo.
 - Después de 3 cambios de aceite consecutivos.
 - En caso de malas condiciones del filtro de aire; exceso de polvo o presencia significativa de humedad en el elemento filtrante, ver **figura 3.9**.



Figura 3.9: Posicionamiento de la unidad.
Fuente: Autores

8. En caso de que el filtro de aire no cumpla los parámetros previamente mencionados para su reemplazo, sacudir el filtro de aire como se muestra en la **figura 3.10** de manera que las partículas de polvo más pesadas se separen del filtro.

Nota: Bajo ninguna circunstancia limpiar con aire a presión ya que se genera la obstrucción de los poros del elemento filtrante con las mismas partículas contenidas en el, también se puede dar el desgarramiento o microfisuras del elemento filtrante permitiendo el paso de partículas de mayor tamaño al interior del motor acelerando su desgaste. [30]



Figura 3.10: Proceso adecuado para eliminar el excedente de polvo de un filtro de aire.

Fuente: Autores

9. Limpiar con un guaype o con una franela húmeda toda la superficie interna del compartimento del filtro de aire de manera que este quede completamente limpio y libre de posibles contaminantes, ver **figura 3.11**.



(a) Antes

(b) Después

Figura 3.11: Limpieza del habitaculo del filtro de aire.

Fuente: Autores

10. Montar el filtro de aire respectivo tanto interno como externo, asegurándose que las mariposas de sujeción de cada uno de ellos queden ajustadas correctamente.

Nota: Mientras se realiza este proceso ya ha transcurrido el tiempo necesario para que todo el aceite del motor se concentre en el cárter.

11. Identificar la ubicación de la varilla de medición y la boca de llenado del aceite; limpiar las superficies de cada una de ellas, **figura 3.12**.
12. Sacar la varilla y limpiarla; insertar la varilla esperar alrededor de 15 segundos y sacarla nuevamente; observar el nivel de aceite dentro de los límites de graduación de la varilla (máx. - min). En caso de dudas sobre el nivel de aceite volver a realizar el proceso de medición, ver **figura 3.13**.



Figura 3.12: Limpieza de la varilla de nivel y voca de llenado del aceite.

Fuente: Autores



Figura 3.13: Verificación del nivel de aceite.

Fuente: Autores

13. Limpiar el área superficial donde va alojado el tapón del cárter, ubicar el contenedor para drenar el aceite; aflojar y quitar el tapón del cárter, ver **figura 3.14**.



Figura 3.14: Drenado del aceite.

Fuente: Autores

14. Desmontar el filtro de aceite con la herramienta correcta, esperar hasta que se drene todo el aceite de esta zona (5 min aproximadamente), ver **figura 3.15**.
15. Durante este tiempo de espera revisar el filtro de combustible, en caso de ser necesario se debe cambiarlo, mientras tanto el otro operario debe revisar posibles orificios o fisuras en todo el sistema de admisión de aire.
16. Limpiar toda la boquilla donde va roscado el filtro de aceite; cerciorarse que no quede fibras u otro contaminante en dicha área, **figura 3.16**.



Figura 3.15: Desmontaje del filtro de aceite usado.
Fuente: Autores



Figura 3.16: Limpieza de la boquilla del filtro de aceite.
Fuente: Autores

17. Lubricar la junta de goma del filtro de aceite en toda su superficie y proceder a montarlo, ver **figura 3.17**.
Nota: realizar el apriete moderado del filtro y con cautela, para evitar que el filtro de aceite no se deforme.
18. Limpiar el tapón de cárter y asegurarse que la arandela de sellado de cobre este en buenas condiciones; colocar el tapón en el cárter con su respectivo apriete evitando aislar la rosca del cárter.
19. Destapar la boca de llenado de aceite y ubicar el embudo; al mismo tiempo destapar la caneca de aceite observando que no haya suciedad o contaminación circundante, vaciar el aceite por el embudo en la medida correcta, ver **figura 3.18**.
20. 19. Tapar la boca de llenado de aceite. Encender la unidad durante 3 min en ralentí con la finalidad que el lubricante circule por todo el sistema de lubricación del motor, luego de transcurrido este tiempo apagar la unidad y esperar 3 min hasta que el aceite retorne hacia el cárter.



Figura 3.17: Montaje del filtro de aceite.

Fuente: Autores



Figura 3.18: Proceso de llenado de aceite del motor.

Fuente: Autores

21. 20. Repetir el proceso indicado en el literal 11, en caso de que el aceite no esté en el nivel máximo de la varilla, agregar más aceite hasta que el nivel indicado en dicha varilla llegue a su ubicación correcta (máx.).

Nota: este paso es de suma importancia para llevar el control de consumo de aceite antes y después de cada cambio de aceite.

3.3. Parámetros bajo los cuales se realizara la toma y análisis de las muestras de aceite.

Antes de enumerar los pasos que son necesarios para la toma de muestras de aceite de un motor, primeramente se tiene que tener muy en claro que se quiere obtener con el análisis de aceite. Es importante que para que este proceso se lleve a cabo exitosamente y de cómo resultados el estado real del aceite, seguir algunos pasos como parte de un proceso técnico, que evite tomar muestras en el lugar incorrecto y menos óptimo; con posible contaminación de la muestra, dando como resultado un falso análisis, haciendo que perdamos tiempo muy preciado en el mantenimiento predictivo, sobre todo si se trata de una flota de vehículos que están constantemente en circulación y cuyo número es significativo, además del costo de enviar las muestras que en muchos de los casos alcanza un valor monetario considerable.

Muchas empresas dedicadas a analizar muestras de aceite entregan un formato completo de todo lo que se puede analizar en un aceite, pero hay criterios que una persona especializada en el tema tendrá que elegir, de manera que solo se evalúe parámetros que lleven a determinar el estado del aceite usado, ya que no es lo mismo analizar una muestra de aceite de un vehículo que utiliza como combustible Gasolina o Diésel versus uno que utiliza gas para el proceso de combustión menos aun si lo comparamos con un motor marino cuyo combustible tiene altas concentraciones de azufre y cuyo entorno de funcionamiento es totalmente diferente a los anteriores mencionados; por lo tanto ya que difieren uno de otro, también los parámetros de evaluación del aceite se diferencian entre sí.

A continuación presentamos los pasos que se deben seguir en la toma de la muestra de aceite de un motor de combustión interna Diésel:

1. Determinar los principales parámetros que se van a evaluar en el aceite usado y las normas bajo las cuales estas se sustentan por ejemplo: la viscosidad, TBN, Conteo de partículas metálicas y no metálicas, cantidad de Agua, etc.
2. Elegir una empresa especializada en el análisis de aceite, que sea neutral; es decir que no sea propietaria de la marca de lubricante que se va evaluar y peor aún que tenga nexos directos con alguna empresa de lubricantes, dicha empresa tendrá que garantizar el cumplimiento de normas internacionales durante los ensayos de las diferentes pruebas requeridas por el técnico.
3. Realizar un estudio del total de unidades existentes dentro de toda la empresa, identificando, midiendo y evaluando las condiciones generales de cada vehículo.
4. Considerar por lo menos el 25 % de toda la flota de vehículos de la empresa para que los resultados del estudio se puedan aplicar con certeza posteriormente a todas las unidades; cuyo estado se asemejen a los vehículos analizados. El porcentaje de unidades consideradas para el estudio tendrán que cumplir una serie de condiciones iniciales tales como: no consumir aceite, bajas emisiones de gases contaminantes, condiciones de funcionamiento normal, circulación constante, etc.
5. Analizar las instalaciones de la empresa donde se realiza el cambio de aceite, lugar de almacenamiento, proceso de cambio de aceite, herramientas y utensilios utilizados en dicho proceso, etc.
6. Generar un proceso técnico de cambio del aceite, dicho proceso deberá arrancar desde el almacenamiento del lubricante hasta la utilización del mismo.
7. Conseguir los elementos necesarios para la toma de muestra de aceite: recipiente por lo general un envase plástico, etiqueta, bomba de vacío con su respectiva manguera.
8. Tomar la muestra de aceite siempre y cuando el aceite se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento, en ausencia de polvo o cualquier

contaminante circundante en el entorno. Se recomienda hacerlo por la varilla de medición del nivel de aceite del cárter, limpiando la boca antes de ingresar la manguera de la bomba de vacío.

9. Tomar una muestra del aceite nuevo, de manera que se pueda contar con una referencia sobre las características iniciales de dicho lubricante para posteriormente compararlas con los resultados de las muestras de los aceites usados.
10. Luego de tomar la muestra de aceite enviarla al laboratorio lo antes posible de manera que se tenga los resultados antes de realizar el próximo cambio.

Ahora bien, enumerados los pasos del proceso de toma de muestra del aceite del motor, a continuación especificamos los pasos que se deben seguir en el momento que se va a evaluar los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de aceite:

1. Conseguir fuentes bibliográficas pertinentes sobre toda información acerca de los materiales de los cuales está constituido el motor de combustión interna.
2. Analizar las características esenciales del aceite lubricante utilizado (base-aditivos).
3. Analizar las características generales del aceite sin usar, principalmente la cantidad de silicio; que no sea mayor a 3 ppm, en caso de superar este nivel se puede inferir que el aceite está siendo incorrectamente almacenado o que el ambiente en el cual se encuentra ubicado para su cambio tiene un elevado número de contaminantes circundantes.
4. Analizar la cantidad de hierro (Fe) presente en la muestra de aceite sin usar al igual que la cantidad de sodio, el porcentaje del primer elemento nos dará una idea del grado de contaminación del aceite nuevo durante su envasado y el segundo elemento de la posible existencia de condensación interna de Agua en el recipiente por una diferencia significativa de temperaturas.
5. Analizar la Viscosidad a 100°C y el Número Total Básico (TBN) que serán de gran utilidad para evaluar posteriormente la saturación de los principales aditivos del aceite y su grado de degradación; como complemento observaremos el porcentaje de oxidación, nitración y sulfatación de dicho aceite.
6. Comparar los parámetros analizados anteriormente con los resultados de las muestras de aceite usados. Si es que la viscosidad y el TBN disminuyen prematuramente más del 25 % y 50 % respectivamente, el aceite tendrá que ser drenado ya que no cuenta con las características para seguir lubricando correctamente al motor de combustión interna Ver la **tabla 2.8**.
7. Analizar el consumo de combustible de la unidad mensualmente para determinar su aumento o constancia, con su respectiva incidencia en la disminución de la viscosidad del aceite si aumenta el consumo de combustible dentro de la unidad.

8. Analizar los porcentajes de ppm de los elementos metálicos y no metálicos de la muestra de aceite y compararlas con valores límites de diversos fabricantes de motores a nivel internacional. Ver **tabla 3.2**

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

Tabla 3.2: Resumen de valores condinatorios de concentraciones metálicas en el aceite según diversos fabricantes. Los valores están expresados en partes por millón (ppm).

Fuentes: National Tribology Services, Fabricantes

9. Observar la presencia de agua, glicol, hollín, entre otros en los resultados de la muestra analizada. Ver **tabla 3.3**

Análisis	Fabricantes de Motores			Otros			
	MAN	CAT	Cummins	Detroit Diesel	MTU	Macian	Thibault
Agua	0.3%	0.25%	0.2%	0.3%	0.2%	0.25%	0.25%
Dilución	5%	5%	5%	2.5%	—	4%	3%
Insolubles	2%	—	—	—	—	1.5%	—
Materia carbonosa	—	—	—	—	2.5%	1.23%	3%
Glicol	—	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	—	Positivo
Silicio	—	10 ppm	15 ppm	—	15 ppm	Evaluación por tendencias	20 ppm

Tabla 3.3: Valores límites máximos según diferentes fuentes en motores Diésel de Automoción.

Fuente: [6]

10. Analizar más de una vez los resultados de las muestras de aceite bajo criterios científicos-técnicos para posteriormente emitir conclusiones correctas.

3.4. Normas bajo las cuales se realiza el análisis para determinar el estado real de un aceite lubricante.

Las diferentes muestras de aceite enviadas a los laboratorios especializados en el análisis de aceite usado realizan las pruebas o ensayos bajo las siguientes normas:

Análisis de desgaste, Contaminantes y Aditivos (ASTMD4951): se realiza por medio de un ICP plasma y detecta la cantidad de partículas metálicas menores a 10 μm en partes por millón (ppm) en suspensión contenidas en el aceite.

Análisis de las condiciones del Aceite (ASTM E2412): se realiza por medio de un espectrómetro de radiación infrarroja que determina la cantidad de contaminantes presentes en el aceite tales como: hollín, oxidación, nitración y sulfatación. Las unidades de medición de esta prueba es UFM (Un-subtracted FT - IR Methodology).

Análisis de viscosidad (ASTM D445): en estos análisis también determinamos la viscosidad (cST@100°C) del aceite e interpretamos la calidad del mismo en nuestro informe.

Pruebas Físico y Químicas: donde se detecta la presencia de agua y glicol en el aceite.

Análisis de Cuenta Partículas: se realiza por medio de un contador de partículas y se determina la limpieza del aceite según código ISO 4406, para aceites hidráulicos, transmisiones, mando finales, diferenciales, ejes y para aceites de motores que trabajen a gasolina.

Este análisis no se realiza al aceite de motor diésel (solo bajo pedido y si el aceite es nuevo).

Análisis Cuantitativo de Combustible en el Aceite (D3524): se realiza por medio de un Cromatografo de Gases y nos reporta en porcentaje.

Análisis de TBN (Número Total Base) (ASTM D5984): determina la capacidad básica que tiene el aceite para neutralizar los ácidos producidos durante la combustión.

Capítulo 4

Características específicas de los filtros de baja gama vs alta gama.

4.1. Selección de los vehículos para el muestreo.

Para poder llevar a cabo el desarrollo de esta tesis se visitaron las empresas de buses urbanos de la ciudad de Cuenca de entre las cuales se estableció un convenio con LANCOMTRI S.A ubicada en la vía al valle sector Monay al sur de la ciudad, en la **figura 4.1** se da una perspectiva de la infraestructura de dicha empresa.



Figura 4.1: Infraestructura de la empresa LANCOMTRI S.A
Fuente: Autores

Cuenta con un total de 64 unidades entre Mercedes-Benz y Chevrolet Izu-su, para llevar acabo el seguimiento de las condiciones del aceite del motor se eligió una unidad de cada marca tomando como criterio de selección el estado actual de cada motor el cual debe reflejarse en la gran mayoría de unidades, debido a que las unidades fueron adquiridas entre el 2002 a 2006 y al recorrido diario que estas realizan los motores ya han sido reparados por lo menos en dos ocasiones.

Se ha elegido una unidad por cada marca debido a que el diseño y materiales de los cuales esta constituido uno u otro motor son diferentes lo que conlleva a tener comportamientos variados del aceite lubricante, es decir un motor puede presentar mayor desgaste en uno de sus componentes que el otro motor bajo las mismas condiciones de operación , el nivel de desgaste repercute en vida útil del aceite por que al haber más partículas metálicas la degradación del paquete de aditivos se acelera.

La unidad 29 que fue seleccionada es un Izusu cuyo motor tiene las siguientes características, ver **tabla 4.1**.

Chevrolet Izusu (unidad 29)	
año	2002
modelo	FTR32M
motor	6HE1899577
cilindraje	7127 cc

Tabla 4.1: Características de la unidad 29.
Fuente: Autores

Al ser un modelo que entro en circulación a partir del año 2002 el motor ya ha sido reparado completamente (rectificado cabezote y bloque, cambio de chapas de bancada, etc.), efectuándose la última de estas reparaciones el 23 de agosto del 2013, en la **figura 4.2** se muestra la unidad.



Figura 4.2: Unidad 29.
Fuente: Autores

La otra unidad seleccionada fue la 64 que es un Mercedes cuyo motor tiene las siguientes características, ver **tabla 4.2**.

Este motor entro en circulación a partir del año 2006 al igual que el Chevrolet también ha pasado por la reparación completa del motor, siendo la ultima el 10 de abril del 2014, en la **figura 4.3** se muestra a esta unidad.

Mercedes Benz (unidad 64)	
año	2006
modelo	OF1721/59
motor	37797310640926
cilindraje	12000 cc

Tabla 4.2: Características de la unidad 64.
Fuente: Autores



Figura 4.3: Unidad 64.
Fuente: Autores

4.2. Estudio de las diferencias entre filtros de Aceite de Baja gama vs Alta gama.

Las diferencias entre un filtro y otro a simple vista no son tan obvias como para determinar su calidad porque muy a menudo los filtros de baja gama tienden a ser una copia casi exacta de un filtro de aceite de alta gama, por lo tanto es necesario realizar un estricto análisis de cada uno de sus componentes empezando desde sus elementos que se encuentran en la parte interna para finalmente terminar analizando sus partes externas.

4.2.1. Tubo central perforado.

Como ya se mencionó en el primer capítulo la principal función de este elemento es la de brindar soporte al papel filtrante para que este no colapse a causa de las presión a la que es sometido el aceite lubricante dentro del circuito de lubricación, mientras que los agujeros dispuestos sobre toda su superficie facilitan el flujo de aceite hacia el motor.

El diseño convencional de este elemento se está dejando de usar debido a la incorporación de nuevos diseños que representan un mayor beneficio, dentro de las innovaciones de estos diseños están las canalizaciones en forma de espiral que

le proporcionan al fluido una menor restricción al momento de fluir desde el papel filtrante hacia el interior del filtro y posteriormente al resto del motor ver detalle A de la **figura 4.4**, además cuenta con unas nervaduras en espiral a lo largo del tubo que le proporciona una mayor resistencia a las sobrepresiones evitando que este colapse ver detalle B de la **figura 4.4**. [36] y [41]

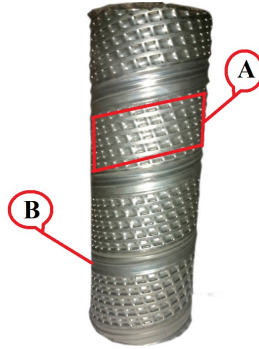


Figura 4.4: Tubo central de un filtro de aceite de alta gama.

Fuente: Autores

Las sobrepresiones que se pueden generar dentro del sistema de lubricación se dan como consecuencia de un mal funcionamiento de la válvula de by-pass y la válvula reguladora de presión de la bomba de aceite. Si un tubo convencional tuviera que hacer frente a una sobrepresión este se colapsaría tal como se puede ver en la **figura 4.5** conduciendo a la pérdida de filtración y a una disminución del flujo de aceite que circula por el motor lo cual derivaría en una reducción de la vida útil del motor o en el peor de los casos en daños severos del mismo.



Figura 4.5: Colapso del tubo central por acción de una sobrepresión del sistema de lubricación.

Fuente: [34]

Dentro de las diferencias que podemos percibir en los tubos de los filtros de aceite que estamos estudiando tenemos, que todos tienen el mismo diseño en espiral (**figura 4.6**) reflejando una notable mejora en la resistencia a las sobrepresiones sin embargo en los de alta gama (b y c de la figura) uno posee una mayor inclinación de la espiral y el otro tiene doble nervadura lo que les otorga una resistencia superior a más de una mayor seguridad y fiabilidad en caso de existir una presión anormal dentro del filtro como consecuencia de las anomalías ya mencionadas anteriormente.



(a) Baja gama A (b) Alta gama A (c) Alta gama B

Figura 4.6: Tubos centrales de los filtros de aceite involucrados en la tesis.

Fuente: Autores

Otra de las diferencias es la disposición de las perforaciones las cuales varían de una marca a otra y en función de los requerimientos del sistema de lubricación de un motor (presión y caudal de aceite). Estas perforaciones en los de baja gama están hechas en forma de circunferencias grandes (a de la figura 4.6) las cuales poseen aristas vivas que pueden ocasionar desgarros o micro fisuras entre las fibras del elemento filtrante en el momento que el flujo de aceite comprime al papel filtrante contra la superficie del tubo central, esto no ocurre en el tubo del filtro de alta gama ya que sus perforaciones están hechas con una matriz especial y los aristas vivas producto del proceso están por la parte interna del tubo con lo que se elimina la posibilidad de rupturas en el papel filtrante (b y c de la figura 4.6).

4.2.2. Elemento Filtrante.

Es la parte esencial de un filtro de aceite y de este dependerá la cantidad de partículas que serán retenidas (eficiencia), al hablar de eficiencia nos referimos a la capacidad que tiene el elemento o papel filtrante para atrapar y retener cierto número de partículas de un determinado tamaño. La eficiencia de un filtro se obtiene por medio de pruebas realizadas a los filtros las cuales consisten en hacer pasar a través del filtro un aceite con un determinado número de partículas contaminantes de cierto tamaño y con la ayuda de contadores de partículas ubicados antes y después del filtro saber cuántas partículas lograron pasar y en base a estos datos poder determinar la eficiencia del filtro.

Por ejemplo para conocer la eficiencia de un filtro para eliminar partículas de $20\ \mu\text{m}$, al introducir 100 partículas salen 50 podemos decir que el filtro tiene una eficiencia de 50 % a $20\ \mu\text{m}$, ver **figura 4.7**.

Es la parte primordial del filtro de aceite y de este elemento va a depender la cantidad de partículas que queden retenidas, mientras mas estrechas estén las fibras del material filtrante ente si mas partículas quedaran atrapadas en el medio filtrante y mientras mas separadas las fibras unas con respecto a otras menos partículas serán retenidas. De acuerdo a distintos fabricantes de filtros de aceite la eficiencia de filtración de diferentes tipos de filtros de celulosa (baja gama)



Figura 4.7: Eficiencia de un filtro de aceite.

Fuente: [35]

está en el orden de 20 y 40 micras respectivamente siendo las inferiores a 20 μm las más perjudiciales para el desgaste prematuro de los cojinetes del cigüeñal [37], los filtros semi-sintéticos la eficiencia de filtrado esta alrededor de las 10 a 20 micras [38], [39] y [40]; mientras que para filtros sintéticos la capacidad de retención esta desde 1 hasta menores a 10 micras [37] y [35].

Los filtros involucrados en esta investigación son de celulosa y semi-sintéticos, entre los cuales existen varias diferencias siendo la más notoria el acabado del elemento filtrante donde los de baja gama difieren bastante de los de alta gama ya que sus pliegues se encuentran distribuidos de forma no uniforme es decir unos están más separados entre sí (ver detalle a de la **figura 4.8**) en tanto que otros se encuentran demasiado cercanos entre si (detalle b de la **figura**), esto acompañado de la falta de tensión entre los pliegues (detalle b de la **figura**) facilitan la unión de los mismos ante el flujo de aceite, disminuyendo el área de filtrado y a su vez el proceso de filtración lo que deriva en una reducción de la vida útil del filtro así como la del aceite y la del motor; mientras que para el elemento filtrante de alta gama la separación entre pliegues es más uniforme y no se encuentran tan unidos entre sí (detalla c de la **figura**) además estos se encuentran tensados lo que le permite tener un mejor rendimiento y eficiencia que el anterior.

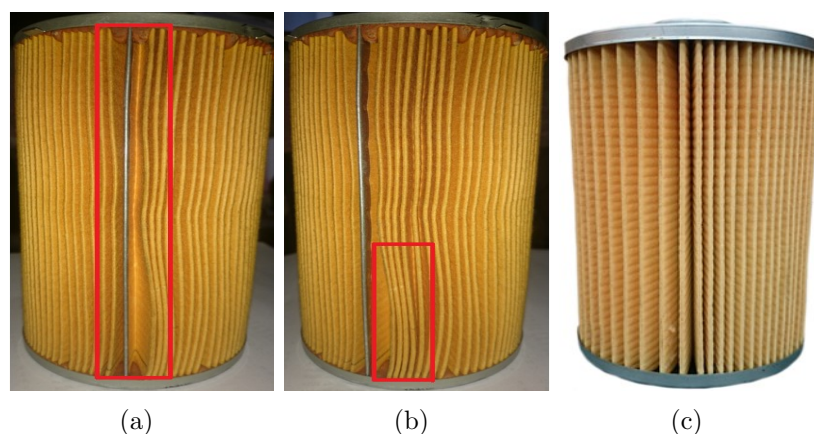


Figura 4.8: Tubos centrales de los filtros de aceite involucrados en la tesis.

Fuente: Autores

Esta distribución de los pliegues se las midió con la ayuda de un calibrador (pie de rey) para tener una idea mas clara de las diferencias entre los elementos filtrantes de un filtro de baja y alta gama, ver **figura 4.9** y la **tabla 4.3** donde

se listan las medias tomadas de los elementos filtrantes en puntos elegidos aleatoriamente.



Figura 4.9: Medición de la distancia entre pliegues.

Fuente: Autores

Filtro baja gama	Filtro alta gama
7.36	8.10
4.54	7.46
4	6.26
3.92	6.08
3.42	5.88
3.34	5.2
1.1	5
0.9	3
0.56	2.74
0.4	2.56

Tabla 4.3: Tabla de distancias entre pliegues de los filtros de aceite.

Fuente: Autores

Otra diferencia que es perceptible a simple vista es el medio de unión entre el elemento filtrante y sus respectivas tapas laterales el cual consiste en un pegamento que está distribuido en gran cantidad y reboza a lo largo de toda la periferia de las tapas laterales además es muy denso lo cual supondría un inconveniente, ya que sus excedentes ocasionarían la distribución tan dispareja de los pliegues esto se da en los filtros de baja gama **figura 4.10**; mientras que para los de alta gama el elemento de unión es diferente, se trata de una resina especial la cual es poco densa además se coloca en cantidades precisas para no generar grandes concentraciones de la misma, también se puede deducir que es mucho más resistente que el pegamento usado en los filtros de baja gama ya que realiza la misma función con una menor cantidad del mismo.

Observando los elementos filtrantes por su parte interior (tubo central perforado), constatamos hasta donde llega el pegamento, en la **figura 4.11** podemos comprobar el exagerado nivel de masilla en la tapa inferior de un filtro de baja gama; todo lo contrario sucede en los de alta gama donde el pegamento esta uniformemente distribuido por toda la zona circular a excepción de esas dos salientes que son casi imperceptibles y que no generaran mayor problema.

Los tipos de masilla utilizados como pegamento de los pliegues del elemento filtrante tienen que ser resistentes a altas presiones y temperaturas de funcionamiento, de manera que garanticen la sujeción correcta de dichos pliegues en todo momento; la masilla usada en los filtros de baja gama da mucho que desear ya que por pruebas realizadas después de abrir los filtros de aceite usados por varios kilómetros (5000 a 7000 Km) estos se desprenden fácilmente de sus tapas inferior

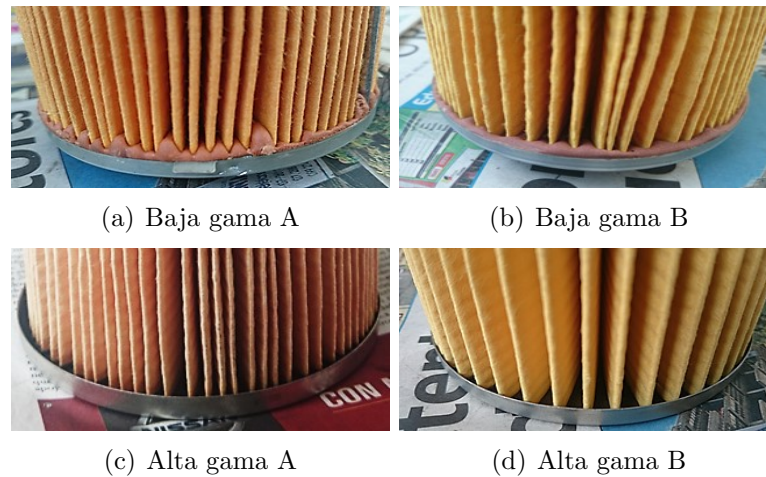


Figura 4.10: Distribución del pegamento en los filtros de aceite.
Fuente: Autores

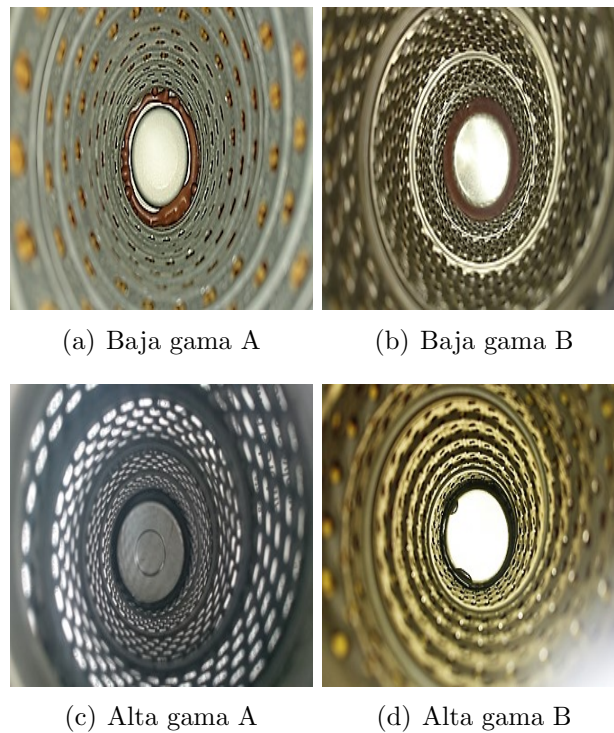


Figura 4.11: Concentración de masilla en la parte interna del elemento filtrante.
Fuente: Autores

y superior; esto no pasa con los filtros de alta calidad que utilizan una resina especial en lugar de la masilla descrita anteriormente, su capacidad de sujeción es superior a la anterior y después de usar el filtro por el mismo periodo, mantiene sus características iniciales, de manera que estos filtros si se pueden utilizar cuando se utilizan aceites que se deben cambiar en periodos prolongados de tiempo.

Otra diferencia que no es perceptible a simple vista si no que debe calcularse es el área de filtración, la que nos indica la capacidad que tiene el filtro para contener las impurezas de un determinado tamaño a lo largo de su vida útil, es decir un filtro al tener una mayor área de filtración el tiempo requerido para que este

se sature o colmate por las impurezas contenidas en el aceite será superior; cabe recalcar que la eficiencia de filtración no depende del área de filtración como ejemplo de esto podemos citar a dos de los filtros involucrados en este estudio donde el de alta gama posee una menor área de filtración con respecto a su homónimo de baja calidad, pero sin embargo su eficiencia para retener partículas contaminantes del aceite es superior, esto se lo puede comprobar en los resultados de los análisis de aceite de la unidad 64 en el capítulo 5 (tabla 5.3, donde los valores menores en ppm del Fe, Al, Cr y hollín corresponden al filtro de alta gama). En la **tabla 4.4** el área A de filtración se obtuvo al multiplicar T que es el número total de pliegues por las dimensiones laterales de los mismos, estas dimensiones se obtuvieron mediante el proceso convencional de medición (pie de rey).

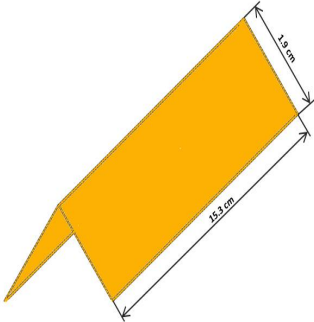
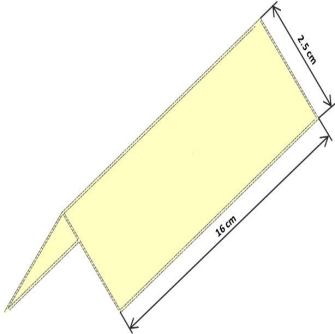
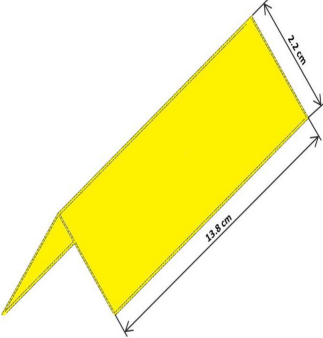
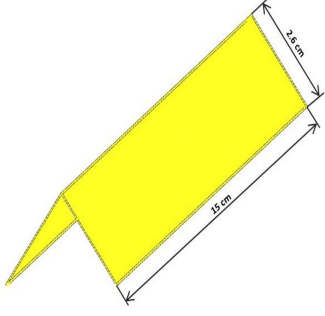
	VS.	
BAJA CALIDAD (A)		ALTA CALIDAD (A)
n = 2 P = 84 $T = P * n = 84 * 2 = 168$ $A = 168 * (15,3cm) * (1,9cm) = 4833,76cm^2$		n = 2 P = 72 $T = P * n = 72 * 2 = 144$ $A = 144 * (16cm) * (2,5cm) = 5760cm^2$
Observación: Comparando el área de filtración de los elemento filtrantes resulta ser que, el área del elemento filtrante de alta calidad (A) es mayor en un 16.08 % que la del elemento filtrante de baja calidad (A).		
	VS.	
BAJA CALIDAD (B)		ALTA CALIDAD (B)
n = 2 P = 74 $T = P * n = 74 * 2 = 148$ $A = 148 * (13,8cm) * (2,2cm) = 4697,52cm^2$		n = 2 P = 53 $T = P * n = 53 * 2 = 106$ $A = 106 * (15cm) * (2,6cm) = 4134cm^2$
Observación: Comparando el área de filtración de los elemento filtrantes resulta ser que, el área del elemento filtrante de baja gama (B) es mayor en un 12 % que la del elemento filtrante de alta calidad (B).		

Tabla 4.4: Área de filtración de los filtros que forman parte del estudio de esta tesis.


	VS.	
BAJA CALIDAD (A)		ALTA CALIDAD (A)
<p>Observación: Comparando el gramaje de los elemento filtrantes resulta ser, que el elemento filtrante de baja calidad (A) posee un mayor peso en una proporción de 4.62 % que el elemento filtrante de alta calidad (A).</p>		
	VS.	
BAJA CALIDAD (B)		ALTA CALIDAD (B)
<p>Observación: Comparando el gramaje de los elemento filtrantes resulta ser, que el elemento filtrante de alta calidad (B) posee un mayor peso en una proporción de 21.89 % que el elemento filtrante de baja calidad (B).</p>		

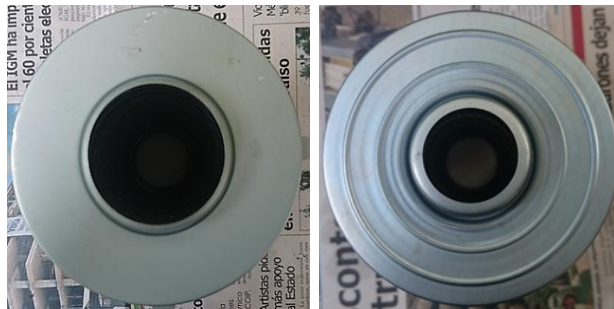
Tabla 4.5: Análisis de la concentración de fibras existentes en los elementos fil-trantes, en base al gramaje de los mismos.

Un elemento filtrante dependiendo de su calidad puede estar compuesto de un 100 % de fibras orgánicas, sintéticas o de una proporción específica de los dos tipos de fibras y teniendo en cuenta que las fibras orgánicas poseen un mayor peso que las sintéticas, entonces por medio del gramaje determinaremos el peso de cada uno de los elementos filtrantes concernientes a la tesis, para ello se tomo una muestra con las mismas dimensiones para todos los elemento filtrante (1.4 cm por lado lo que nos da un área de 1.96 cm²), los datos se listan en la **tabla 4.5** donde se puede notar la diferencia existente en el gramaje entre los filtro de baja gama A y el de alta gama A siendo el de baja gama mas pesado en una relación de 4.62 % lo que nos da a entender que en la composición de este elemento hay una mayor proporción de fibras orgánicas que sintéticas; mientras que en los otros dos elementos restantes el de alta gama B posee un peso superior en una relación de 21.89 % a su homónimo, esta diferencia de peso se debe a la mayor concentración

de fibras orgánicas y sintéticas que efectivamente se reflejan en el mayor espesor que tiene este filtro respecto al otro (referirse a la figura 1 del anexo A).

4.2.3. Tapa superior.

Sirve de soporte del elemento filtrante dándole una forma circular a dicho material, permite que el flujo de aceite que ingresa hacia el filtro vaya desde la parte externa hacia la interna del medio filtrante, además aloja a la válvula anti-retorno y en función de esta el diseño de la tapa puede variar tal y como se ve en la **figura 4.12** donde una válvula sencilla requiere de una tapa llana y simple para dar hermeticidad (izquierda de la figura), aunque la hermeticidad conseguida no es la optima; mientras que una válvula más compleja requiere de una tapa diferente (derecha de la figura) en la cual existe una nervadura que le sirve de alojamiento y que le permite brindar una mejor sellado.



(a) Baja gama



(b) Alta gama

Figura 4.12: Diferencias en la parte superior del elemento filtrante (tapa).

Fuente: Autores

Otra diferencia evidente son las lengüetas ubicadas a lo largo de la periferia que le permiten al elemento filtrante mantenerse centrado dentro de la carcasa ante la presión del aceite, **figura 4.13**, donde la imagen (a) tiene unas lengüetas muy finas las cuales se doblarían con facilidad ante presiones elevadas (derecha de a) mas no pasa así en (b), se puede ver que son mucho mas robustas y que están en condiciones de soportar presiones mucho mayores (derecha de b) lo que representa una amplia ventaja dentro del motor por que garantizan un flujo constante de aceite al motor aun en las peores condiciones.



Figura 4.13: Diferencias entre las tapas superiores del elemento filtrante, lengüetas.

Fuente: Autores

4.2.4. Tapa Inferior.

Al igual que la tapa superior sirve de soporte y da forma al material filtrante, permite que el aceite pase obligatoriamente por papel filtrante además sirve de alojamiento del muelle de sobre presión; en cuanto a las diferencias existentes, en una tapa de un filtro de baja gama es llana a excepción de la zona donde se aloja el muelle (a de la **figura 4.14**), mientras que en una de alta gama como la de (b de la **figura 4.14**) tiene un enchapado a diferente nivel y nervaduras lo que da lugar a una mayor cantidad de pegamento dándole mayor seguridad a los pliegues, ver **figura 4.15**.

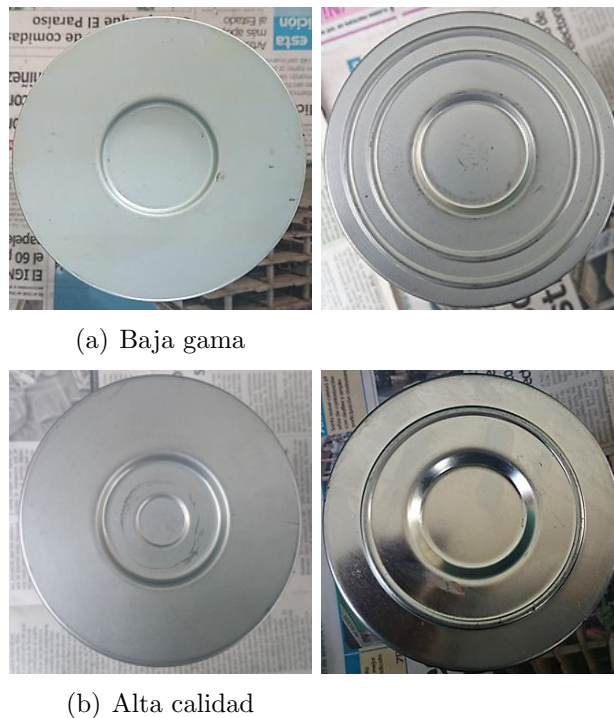


Figura 4.14: Diferencias en la parte inferior del elemento filtrante (tapa).

Fuente: Autores



Figura 4.15: Distribucion de pegamento en la tapa inferior.
Fuente: Autores

4.2.5. Diafragma Antirretorno.

Permite que el flujo del aceite circule en una sola dirección o sentido es decir desde el exterior hacia el interior del filtro ademas mantiene la hermeticidad de dicho elemento, evita que el filtro de aceite se vacié cuando el motor no esta en marcha.

Dentro de las diferencias se puede decir que en un filtro de baja gama este diafragma o válvula bypass es muy simple a demás al ser construido de plástico resulta ser muy rígido y tiende a resecarse ante la presencia del aceite caliente lo que puede engendrar problemas de hermeticidad luego de un cierto periodo de funcionalidad (a de la **figura 4.16**); mientras que en un filtro de alta gama esta válvula tiene un diseño mas complejo y al ser construido con elastomeros resistentes a las altas temperaturas de los aceites, presenta una mayor flexibilidad así como hermeticidad y durabilidad en periodos prolongados de operación (b de la figura). [36]

En uno de los filtros de alta gama no existe esta válvula (d de la figura anterior) en su lugar se genera la hermeticidad a través del contacto metal con metal que se da entre la tapa superior del elemento filtrante y la tapa roscada del filtro.

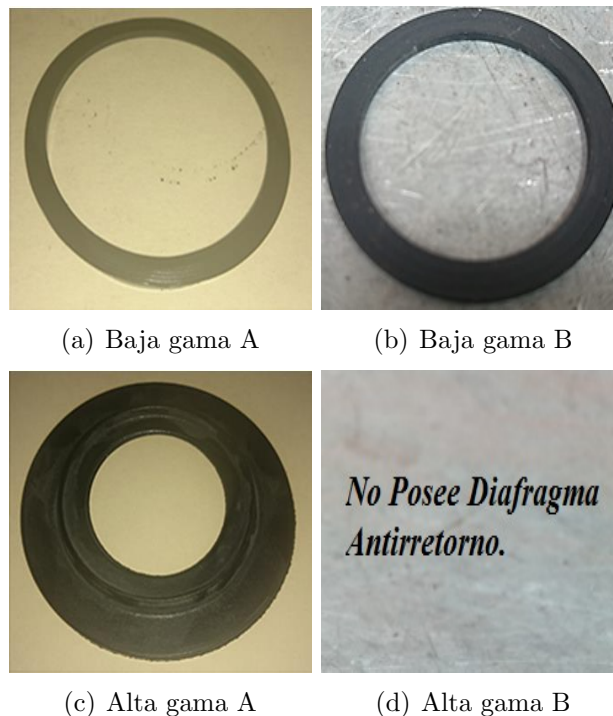


Figura 4.16: Diferencias entre el diafragma de los filtros.
Fuente: Autores

4.2.6. Muelle de Sobrepresión.

Mantiene una presión constante del flujo de aceite de acuerdo a las necesidades de uno u otro sistema de lubricación, en casos de sobre presión producida por la saturación del medio filtrante se comprime permitiendo el paso de aceite sin filtrar hacia el motor de manera que se garantice un flujo de aceite hacia el motor hasta en las peores condiciones, ver **figura 4.17**.



(a) Baja gama A



(b) Baja gama B



(c) Alta gama A



(d) Alta gama B (diafragma)

Figura 4.17: Diferencias entre los muelles.

Fuente: Autores

4.2.7. Placa Roscada.

Cumple la función de elemento de sujeción del filtro de aceite con el motor mediante la zona roscada además aloja la junta de goma que garantiza la hermeticidad del filtro es decir impide la fuga de aceite hacia el exterior.

La principal diferencia en este elemento es la concavidad, en el de baja gama tenemos una concavidad hacia arriba que ralentiza el flujo de aceite (a de la **figura 4.18**) en relación a una placa roscada de alta gama (b de la figura) que posee una concavidad hacia abajo que le proporciona al flujo de aceite una mayor velocidad hacia el interior del filtro, en la **figura 4.19** puede verse el diseño de estos elementos con mayor claridad.



Figura 4.18: Diferencias entre las tapas del filtro.

Fuente: Autores



Figura 4.19: Vista frontal del diseño de las tapas roscadas.

Fuente: [36]

4.3. Características generales de las fibras del elemento filtrante.

El elemento filtrante está formado por múltiples fibras de tamaño microscópico ($8\mu\text{m}$ hasta $60\mu\text{m}$) que están entre tejidas unas con otras de manera no uniforme hasta formar redes muy complejas que van a retener las impurezas que pasen a través de ellas sin limitar la circulación del fluido, el tamaño de retención dependerá del espacio existente entre una fibra y otra.

Los elementos filtrantes más usados son los de material orgánico (celulosa) que se encuentran presentes en la naturaleza en árboles de pino y eucalipto; están recubiertas con resinas sintéticas termo curables, las fibras son irregulares y están dispersas de manera no uniforme, pueden retener partículas cuyo diámetro este dentro del rango de 20 hasta 40 micras. Su precio es económico pero la calidad de retención es limitada, ver **figura 4.20**.

En la actualidad existen elementos filtrantes compuestos o semi sintéticos es decir parte orgánica (celulosa) y otra sintética (fibra de vidrio), de manera que se aprovecha las cualidades de cada material, pero cada vez se hace uso extensivo de elementos filtrantes totalmente sintéticos (poliéster) para usos prolongados del filtro de aceite, las fibras son más delgadas y su distribución es más uniforme que las de fibras de celulosa, de manera que los tamaños de los poros entre una y otra fibra son más pequeñas, de manera que su capacidad de retención va desde la $2\mu\text{m}$ en adelante. Son más caras que las anteriores pero su precio justifica su calidad, ver **figura 4.21**.

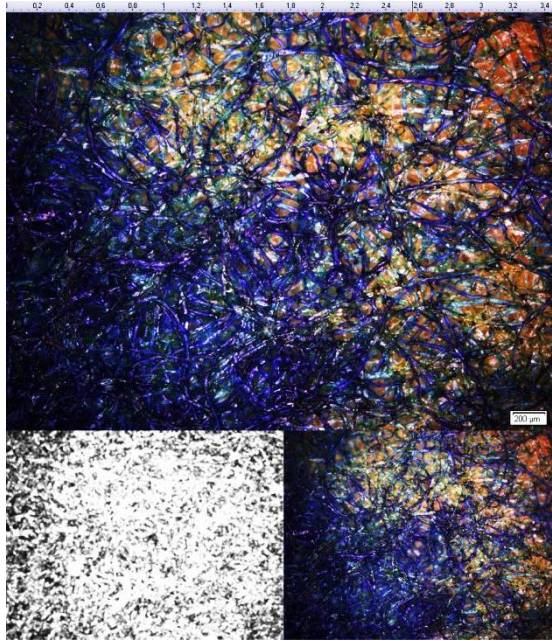


Figura 4.20: Filtro baja calidad.
Fuente: Autores

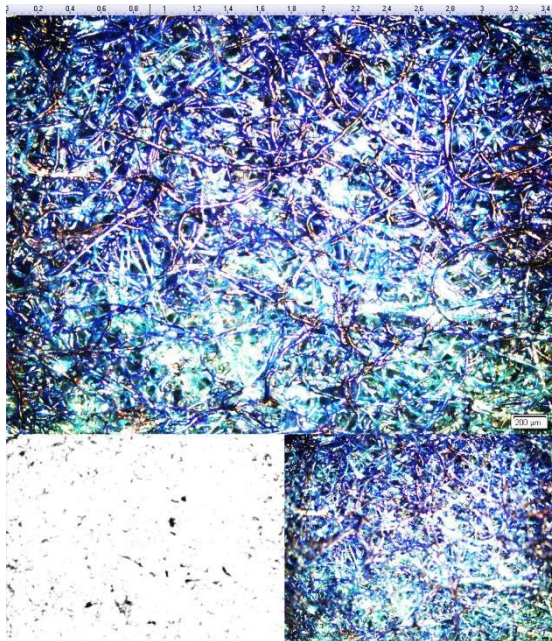


Figura 4.21: Filtro de alta calidad.
Fuente: Autores

4.3.1. Características específicas de los elementos filtrantes.

4.3.1.1. Elementos filtrantes utilizados en nuestro medio.

Los elementos filtrantes utilizados en nuestro medio se caracterizan por su baja calidad y son adquiridos y utilizados en masa por su bajo coste; son de mala calidad porque la capacidad de filtrado es limitada debido a múltiples factores,

una de ellos es la distribución de las fibras que es totalmente no uniforme, dichas fibras son de material orgánico cuyo diámetro oscila entre 14 a 50 μm entre las más representativas, ver **figura 4.22**.

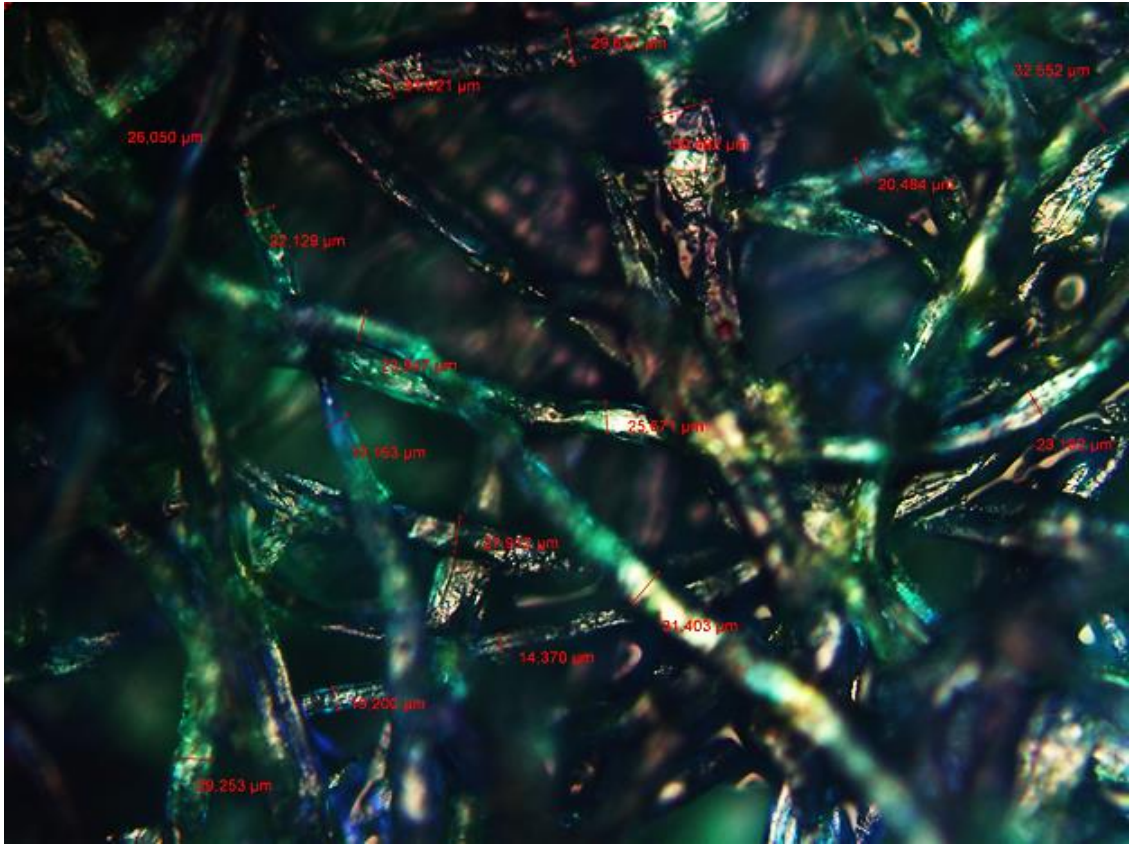


Figura 4.22: Diámetro de las fibras de un elemento filtrante de baja calidad.

Fuente: Autores

A simple vista es imposible determinar las diferencias existentes en un elemento filtrante y otro, por lo tanto es necesario analizarlo en un microscopio de buena calidad que tenga un aumento de hasta 100X aunque la mayoría de las características ya se las puede determinar con un aumento que va desde 10X hasta 20X dependiendo del tipo del elemento filtrante a analizar. Como pudimos observar en la **figura 4.22**, las fibras orgánicas de este elemento filtrante son de diámetro variable en todas sus secciones, cuyos diámetros en una sola fibra va desde un extremo 23 μm hasta terminar en 31 μm por citar un ejemplo. La capacidad de retención da mucho que desear ya que los espacios que quedan entre una fibra y otra están entre 30 y 108 μm , ver **figura 4.23**.

Claro está que las partículas quedan retenidas en el elemento filtrante por tres medios o mecanismos de filtración que son por efecto de tamizado, inercia y de adherencia, que hacen que la capacidad de retención mejore en cierto porcentaje hasta llegar a retener partículas del orden de 10 hasta 40 μm como lo mencionamos anteriormente. Pero el problema radica en que las partículas cuyo diámetro son menores a 10 μm no son retenidas y pasan a través del elemento filtrante a circular por todo el sistema de lubricación, estas partículas son las que causan

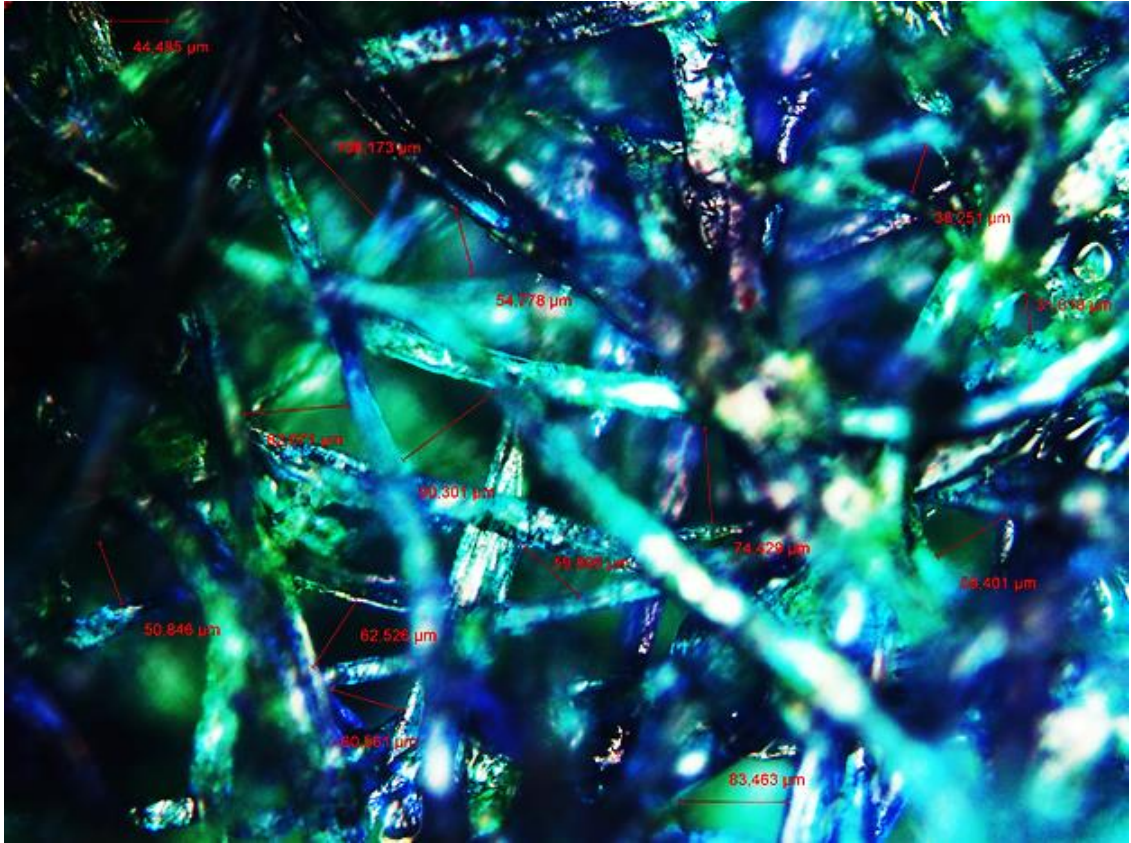


Figura 4.23: Separación entre las fibras (poros) de un elemento filtrante de baja calidad.

Fuente: Autores

más daño internamente al motor especialmente en las zonas de poca tolerancia dimensional como los cojinetes del cigüeñal, en donde la película lubricante está al límite y en muchos casos el espesor de la película lubricante es igual al diámetro de la partícula produciéndose el contacto inter metálico y posterior desgaste de las superficies en fricción seca.

En la **figura 4.24** observamos otro tipo de elemento filtrante constituido por fibras orgánicas, hay que recalcar que aparte de las fibras orgánicas este tipo de elemento filtrante tiene una reducida cantidad de fibras sintéticas, este elemento filtrante tiene una calidad superior al descrito anteriormente porque el tamaño de diámetro de las fibras es menor que el anterior y va desde $13 \mu\text{m}$ hasta $42 \mu\text{m}$, de manera que puede ser compactado de mejor forma con un cierto número de capas superior al anterior.

En la **figura 4.25** se observa la separación entre una fibra y otra que están entre un rango de 20 a $62 \mu\text{m}$, espacio inferior al descrito anteriormente, de manera que la capacidad de retención de partículas mejora por los espacios más reducidos y la mejor compactación de dicho elemento filtrante.

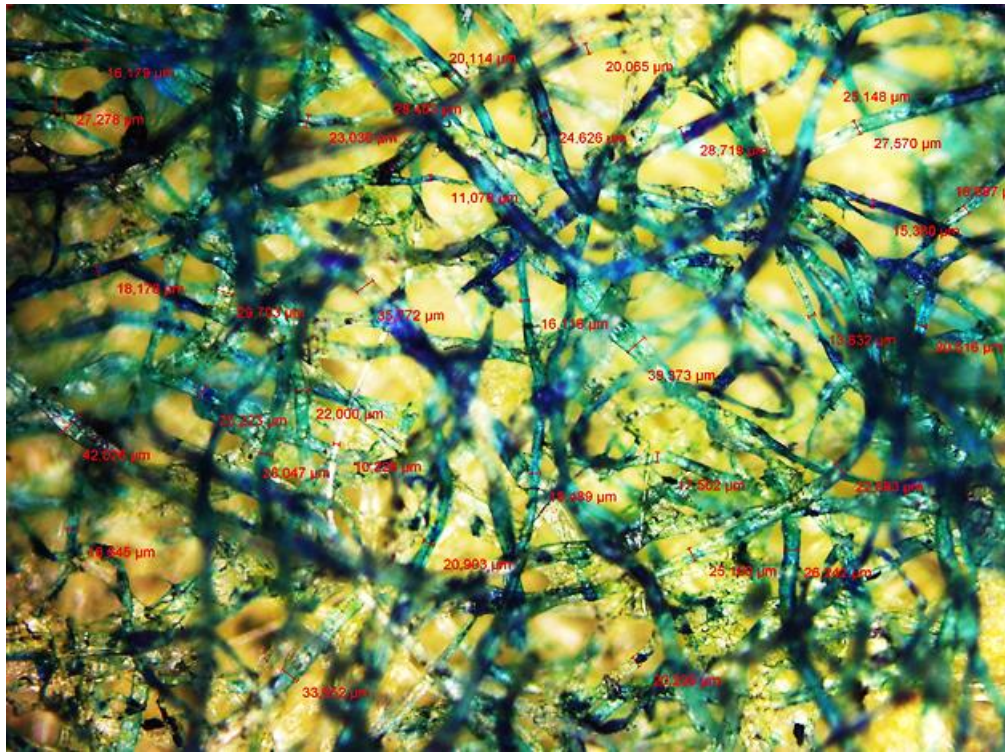


Figura 4.24: Diámetro de las fibras de un elemento filtrante de baja calidad, constituido por un cierto porcentaje de fibras sintéticas.

Fuente: Autores

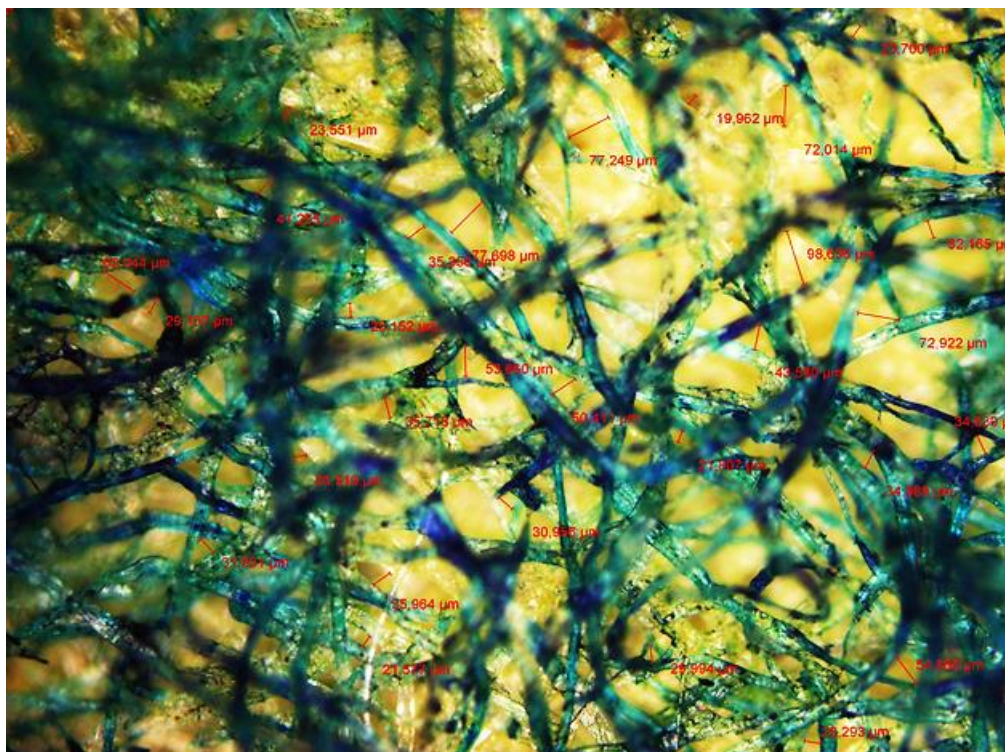


Figura 4.25: Separación entre las fibras de un elemento filtrante con cierto porcentaje de fibras sintéticas.

Fuente: Autores

4.3.1.2. Elementos filtrantes recomendados en el presente proyecto de tesis.

Los elementos filtrantes recomendados en la presente tesis se caracterizan por ser materiales semi- sintéticos es decir materiales compuestos, una cantidad de este material tendrá origen orgánico (fibras de celulosa) procesadas de mejor manera que las típicas fibras analizadas anteriormente por lo tanto serán más uniformes y con un diámetro inferior, mientras que la otra cantidad será de origen sintético (fibras de vidrio o poliéster). Las fibras sintéticas se pueden reconocer fácilmente porque tienen un diámetro uniforme y son mucho más delgadas que las fibras orgánicas y no cambian su diámetro a lo largo de toda su sección, su diámetro esta entre las $9\mu\text{m}$ a $14\mu\text{m}$. Ver **figura 4.26**

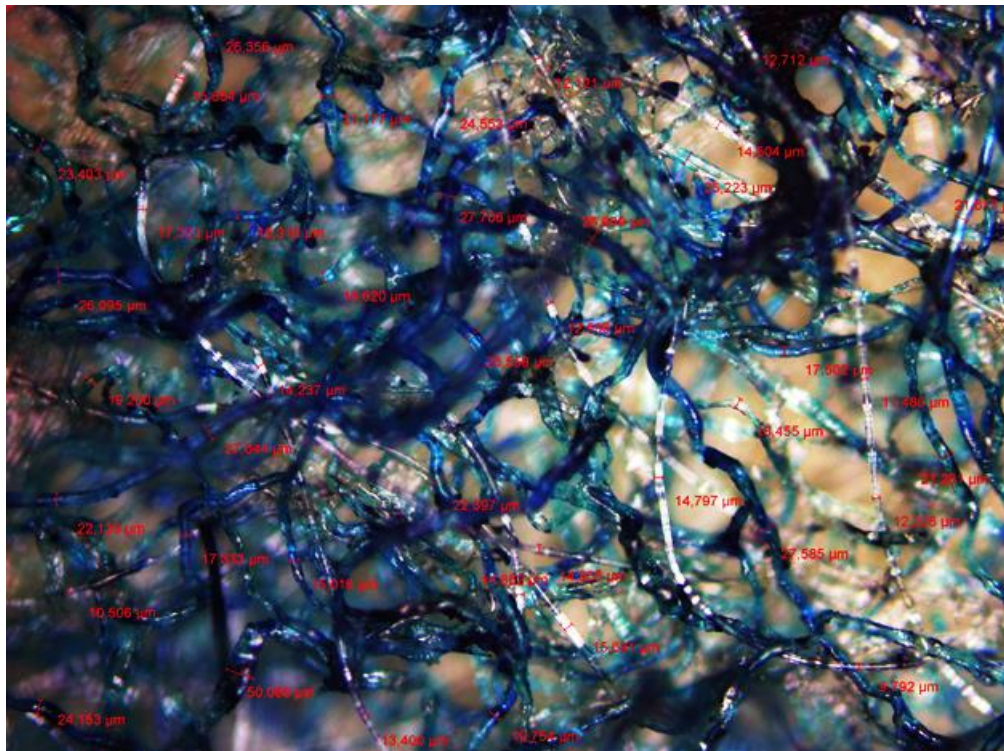


Figura 4.26: Diámetro de las fibras de un elemento filtrante de alta calidad.
Fuente: Autores

Las fibras al ser más delgadas y uniformes dejarán espacios más reducidos entre una fibra y otra, por lo tanto el elemento filtrante podrá ser compactado de mejor manera y con un mayor número de capas, sus fibras estarán más juntas en relación a los constituidos por fibras orgánicas. La distancia más grandes entre una fibra y otra esta alrededor de las $20\mu\text{m}$ hasta $123\mu\text{m}$ y los espacios más reducidos esta entre las $9\mu\text{m}$ y $20\mu\text{m}$. Ver **figura 4.27** y **4.28** respectivamente.

En la **figura 4.29** podemos observar otro elemento filtrante de alta calidad, este tipo de elemento filtrante tiene 2 clases de fibras, al igual que el anteriormente descrito; estas dos clases de fibras las podemos agrupar por su tamaño de diámetro y tipo de material. La primera clase de fibras son las sintéticas (color blanco) con un tamaño de diámetro que va desde las $9\mu\text{m}$ hasta las $16\mu\text{m}$, la

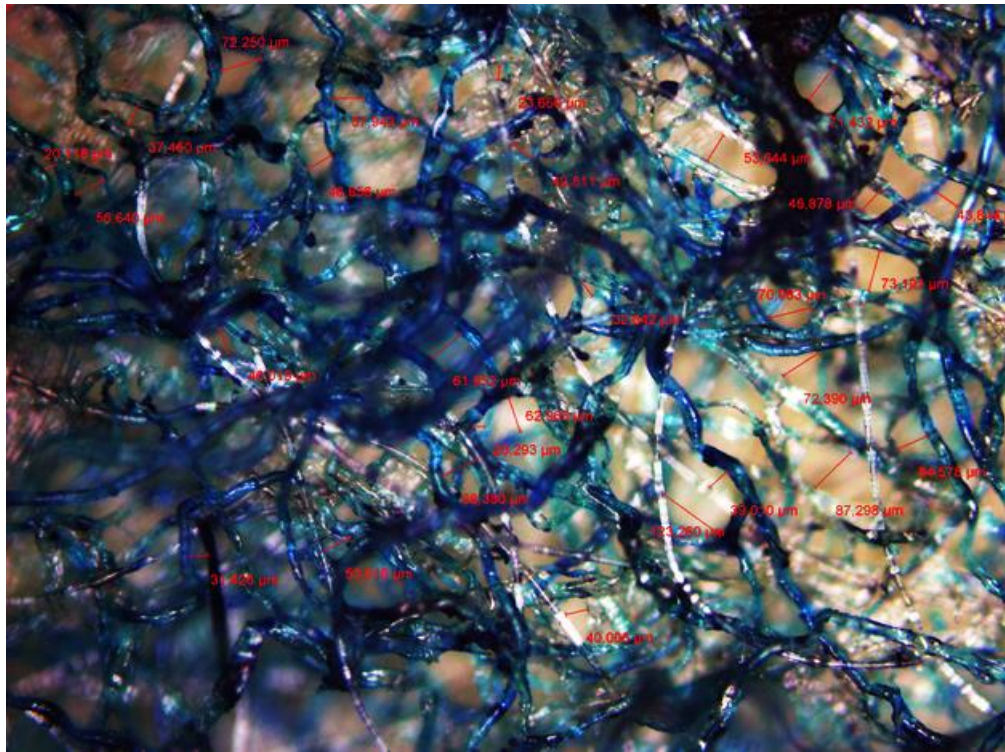


Figura 4.27: Separación entre las fibras de un elemento filtrante de alta calidad.
Fuente: Autores

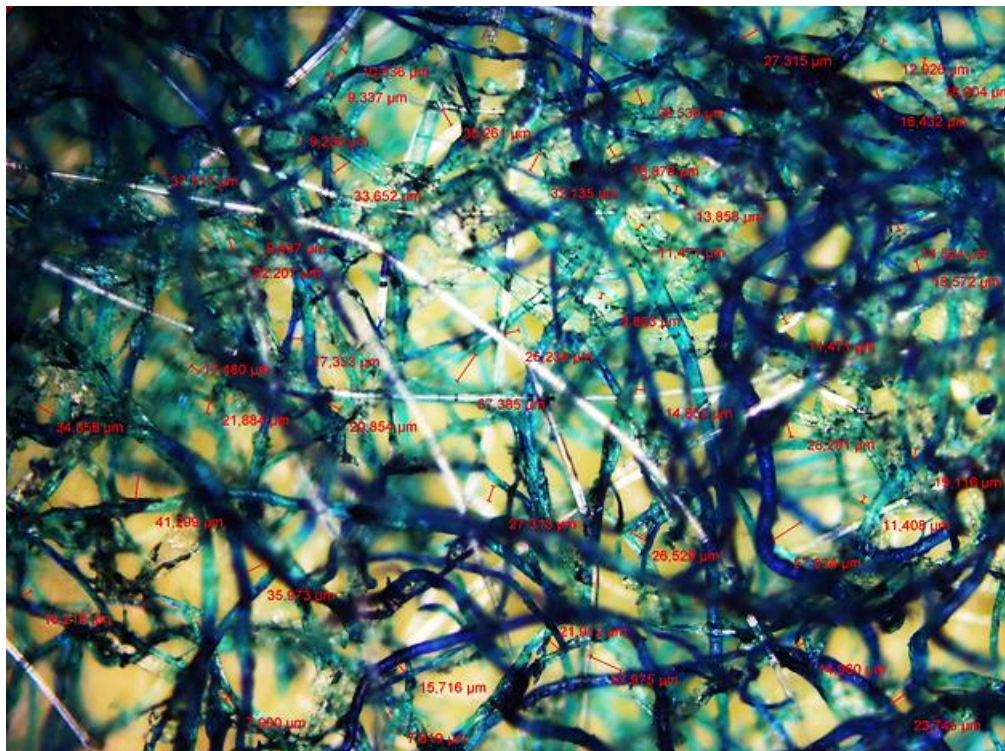


Figura 4.28: Separación entre las fibras de un elemento filtrante de alta calidad.
Fuente: Autores

segunda clase son semisintéticas (color verdoso y azulado) que van des las 16 μm hasta las 30 μm .

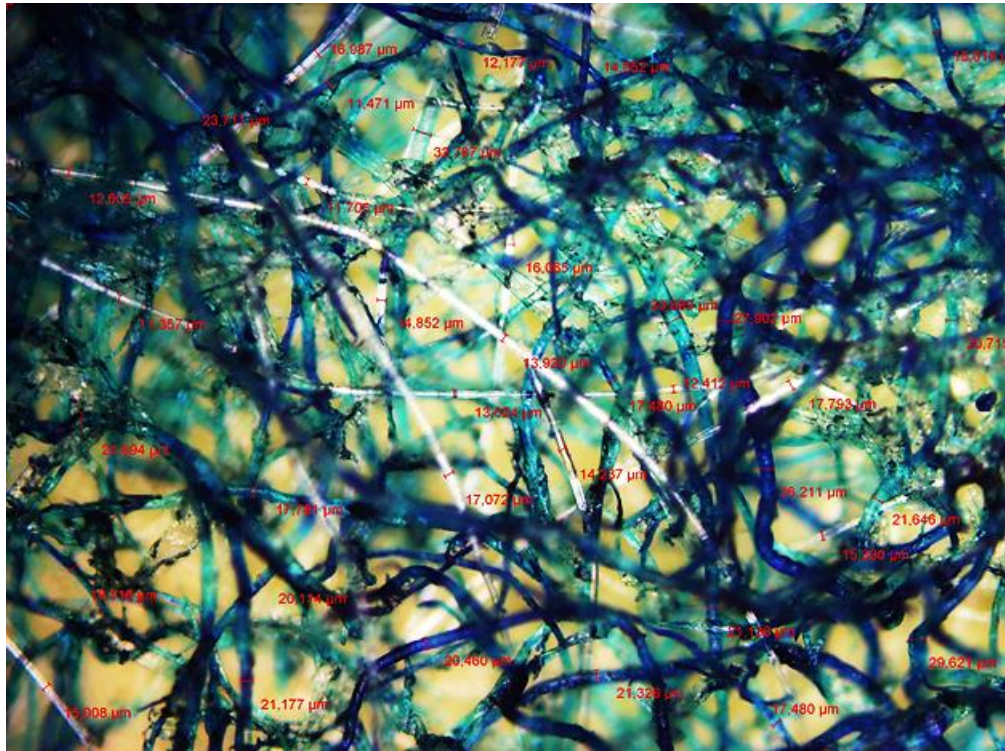


Figura 4.29: Diámetro de las fibras de un elemento filtrante constituido por fibras sintéticas y semi-sintéticas..

Fuente: Autores

Por todas las características mencionadas anteriormente podemos concluir que la eficiencia de los elementos filtrantes recomendados en esta sección son superiores a los elementos filtrantes constituidos por fibras orgánicas.

Capítulo 5

Análisis de resultados de las muestras de aceite.

5.1. Análisis de resultados.

En el trayecto del desarrollo de la tesis, en el transcurso de 6 meses se ha logrado recopilar los resultados de las muestras de aceite tomadas a diferentes kilometrajes; empezando el muestreo a los 21 días (4620 Km) para finalmente prolongar el cambio de aceite hasta los 31 días (7159 Km). Para poder comparar los resultados del análisis de cada una de las muestras de aceite tomadas se ha procedido a muestrear el aceite en sus condiciones iniciales de manera que se tenga una referencia o punto inicial, el cual nos ayude a entender el comportamiento y la evolución de la degradación del aceite lubricante debido a múltiples factores tales como altas temperaturas, residuos carbonosos, partículas de desgaste, entre otros, que se dan conforme se prolonga el periodo de uso de dicho aceite lubricante dentro del motor de combustión interna.

Las condiciones iniciales del aceite se muestran en la **tabla 5.1**.

Condiciones Iniciales Aceite GULF 15w40 CI-4

Uso de aceite (km)	Elementos de desgaste (ppm)															
	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
0	0	3	0	1	0	0	3	2	1	0	0	0	3206	25	1287	1155

Uso de aceite (km)	Condición del aceite/ conteo partículas										
	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	PFC	V100	TBN	
0	0	10	4	22	N	N	N		15,3	12	

Tabla 5.1: Condiciones iniciales (sin uso) del aceite GULF 15W40 CI-4.

Fuente: Autores

En la **tabla 5.2** se presentaron los resultados de las muestras de aceite tomadas a la unidad 29, mientras que en la **tabla 5.3** se listan los resultados obtenidos de las muestras de aceite tomadas de la unidad 64, todos estos datos fueron tomados durante el transcurso del desarrollo de la presente tesis.

Unidad 29: ISUZU FTR32M 7127 cc

km Motor	km Aceite	Avance aceite (km)	Elementos de desgaste (ppm)															
			Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
	0	0	0	3	0	1	0	0	3	2	1	0	0	0	3206	25	1287	1155
32340	4620	4620	0	25	4	2	0	2	4	2	0	0	1	0	3445	24	1402	1217
43000	5587	10207	0	23	0	1	3	0	5	1	0	1	0	0	3715	33	1436	1243
50081	7081	17288	0	61	7	6	1	4	4	2	0	0	1	0	3686	8	1321	1092
55825	5744	23032	0	54	6	4	0	0	5	3	3	0	0	0	3975	5	1458	1295
57240	7159	24447	0	65	7	5	0	3	7	3	3	0	0	0	3868	4	1409	1262
	6820	31267	0	36	4	1	0	0	6	5	2	0	0	0	3518	13	1362	1141

km Motor	km Aceite	Avance aceite	Condición del aceite/ conteo partículas									
			ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	PFC	V100	TBN
	0	0	0	10	4	22	N	N	N		15,3	12
32340	4620	4620	53	11	6	23	N	N	N	1.64	14	9
43000	5587	10207	29	11	6	23	N	N	N		13.2	10.5
50081	7081	17288	120	9	7	26	N	N	N		14.3	10.5
55825	5744	23032	135	12	8	28	N	N	N		14.7	9
57240	7159	24447	157	13	9	29	N	N	N		15.1	9.5
	6820	31267	115	12	8	27	N	N	N		14.3	10.0

Tabla 5.2: Condiciones del aceite tras un cierto recorrido, “ISUZU FTR32M de 7127 CC” (unidad 29 de la flota).

Fuente: Autores

Unidad 64: MERCEDES BENZ 12000 cc

km Motor	km Aceite	Avance aceite (km)	Elementos de desgaste (ppm)															
			Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
	0	0	0	3	0	1	0	0	3	2	1	0	0	0	3206	25	1287	1155
7700	5280	5280	3	58	2	6	7	4	20	3	0	8	2	0	3568	6	1388	1178
12980	5280	10560	2	40	0	5	5	0	9	3	2	5	0	0	3843	3	1461	1331
18213	5233	15793	2	28	0	4	3	0	6	4	3	4	0	0	3409	18	1336	1159
19531	6551	17111	0	36	0	5	4	0	7	5	3	5	0	0	3517	11	1355	1182

km Motor	km Aceite	Avance aceite	Condición del aceite/ conteo partículas									
			ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	PFC	V100	TBN
	0	0	0	10	4	22	N	N	N		15,3	12
7700	5280	5280	86	11	6	24	N	N	N		13.3	10
12980	5280	10560	78	11	7	25	N	N	N		13.8	8
18213	5233	15793	73	10	7	25	N	N	N		13.2	8
19531	6551	17111	89	11	7	26	N	N	N		13.2	7.5

Tabla 5.3: Condiciones del aceite tras un cierto recorrido, “MERCEDES BENZ de 12000 CC” (unidad 64 de la flota).

Fuente: Autores

5.2. Interpretación de los resultados.

Para poder interpretar correctamente cada uno de los resultados de las muestras de aceite tomadas, se ha procedido a graficarlas de manera que se pueda sacar conclusiones a cerca del comportamiento del aceite dentro del motor, las tres primeras muestras de aceite tienen la particularidad que han usado un filtro de aceite de baja gama (común en el medio) en el cambio de aceite y en las 2 muestras posteriores se ha usado un filtro de alta gama; la finalidad del uso de estos dos tipos de filtros de aceite es estudiar su eficiencia dentro del sistema de lubricación analizando el papel que cumplen en la degradación prematura del mismo.

5.2.1. Parámetros que sirven para evaluar el estado real del aceite lubricante del motor de combustión interna (Unidad 29).

A continuación presentamos la interpretación respectiva de cada una de las gráficas empezaremos por la gráfica del TBN, luego continuaremos con la viscosidad y finalmente terminaremos con la interpretación de la gráfica del ST (hollín); estas tres gráficas son de suma importancia al momento de evaluar el estado real del aceite lubricante que circula por todo el sistema de lubricación del motor. Si es que una de estas gráficas contiene alguno de sus valores fuera de los límites condinatorios como se especifica en cada uno de ellos, se tendrá que investigar para determinar el porqué de esas anomalías, para tomar los correspondientes correctivos y eliminar dichos problemas; de esta forma sacar el máximo provecho del aceite lubricante dentro del motor.

5.2.1.1. Gráfica del TBN.

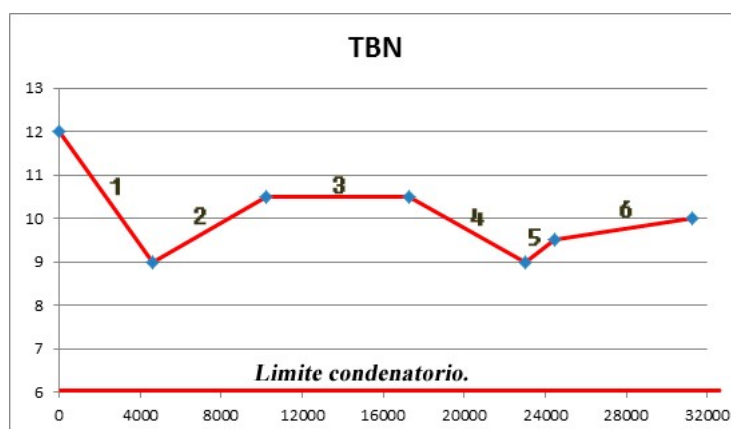


Figura 5.1: Gráfica de los valores del TBN obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

En la **figura 5.1** se puede observar la evolución del TBN desde el inicio del monitoreo del aceite lubricante hasta la culminación del mismo a través de 6 muestras de aceite analizadas en diferentes periodos de recorrido del motor de combustión interna ; la pendiente es negativa en la zona 1 (4620 km), la razón por la cual sucede esto es porque la muestra de aceite fue tomada por el tapón del cárter, en este lugar se concentran un sin número de contaminantes y hace que el análisis de aceite no sea real, la pendiente de la zona 2 (5587 Km) refleja el estado real del aceite lubricante ya que la muestra de aceite fue tomada en el lugar correcto a través del orificio de la varilla de medición del nivel de aceite y el TBN se encuentra en mejores condiciones recorriendo 967 km adicionales a la zona 1, el muestreo continua y en la zona 3 (7081 Km) se mantiene el TBN en el mismo nivel que en la zona 2 aunque haya recorrido 1494 km adicionales a la zona anterior, continuamos en la zona 4 (5744 Km) la pendiente vuelve a ser

negativa y el TBN disminuye al nivel de la zona 1 el problema que genero esto no es el muestreo incorrecto sino problemas con el sistema de lubricación en el cual el árbol de levas tenía un desgaste excesivo en sus muñones de apoyo el cual no permitía el funcionamiento correcto de dicho elemento y cuyas consecuencias y problemas se van a explicar a detalle en un solo apartado en los siguientes párrafos del presente capítulo; en la zona 5 continua el problema descrito anteriormente pero con un ligero mejoramiento del TBN hasta finales de la zona 6 (6820 Km) en donde el mismo casi adquiere su valor normal esto se debe a que el árbol de levas es reemplazado por otro nuevo y el problema de aumento del hollín y desgaste del motor ha sido resuelto.

5.2.1.2. Gráfica de V100.

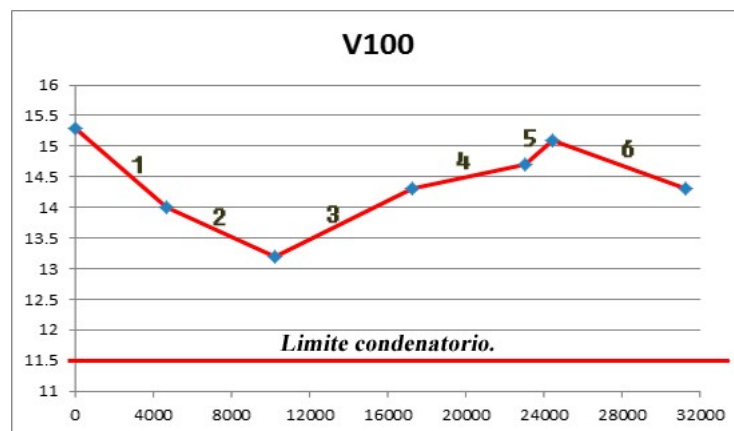


Figura 5.2: Grafica de los valores de Viscosidad obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

La viscosidad es otro de los parámetros que nos sirve para evaluar el estado real del aceite, ver **figura 5.2**, al igual que en la gráfica anterior se tiene 6 muestras de aceite analizadas con los mismos procesos de muestreo descritos anteriormente en el apartado de la gráfica del TBN, el comportamiento normal de la viscosidad es disminuir su nivel conforme avanza las horas o kilómetros de recorrido del aceite dentro del motor de combustión interna por la influencia de las extremas temperaturas que se generan al interior del motor y por la concentración de combustible en el aceite, la rapidez con la cual disminuye su índice de viscosidad dependerá de la calidad del aceite lubricante y de los aditivos de los cuales está compuesto dicho aceite; tal comportamiento normal se da en las dos primeras zonas de muestreo (1 y 2), a principios de la zona 3 hasta finales de la zona 5 sucede algo muy particular y esto es el aumento prematuro de la viscosidad, esto se debe a que el aceite lubricante tiene mayor concentración de hollín (materia carbonosa), lodos, entre otros contaminantes que al mezclarse con el aceite producen el aumento de la viscosidad del mismo y una vez más podemos relacionar el problema al sistema de lubricación concretamente al árbol de levas que posteriormente se detallara todas las consecuencias que genero dicho

elemento, en la zona 6 la viscosidad tiende a recuperar su comportamiento normal.

5.2.1.3. Gráfica del ST (Hollín).

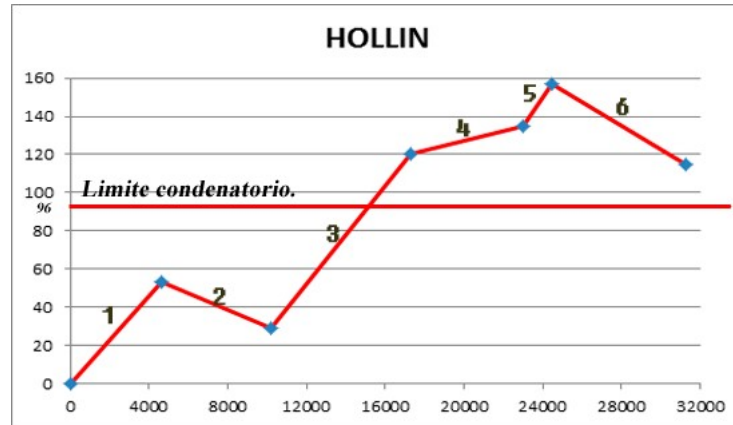


Figura 5.3: Grafica de los valores de Hollín obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

El hollín (materia carbonosa) es un subproducto de la combustión incompleta que se genera al interior de la cámara de combustión ya sea por exceso de aire o combustible, la combustión incompleta se da por múltiples factores tales como mala calibración de la bomba de inyección, inyectores en mal estado, filtros de aire saturados, pero en este caso lo vamos a relacionar directamente al sistema de distribución (árbol de levas en pésimas condiciones). En la **figura 5.3** se puede observar una tendencia de incremento del nivel de hollín conforme avanza el número de kilómetros recorridos del motor de combustión interna; desde la zona 1 hasta finales de la zona 2 tenemos un incremento normal del hollín, en la zona 3 nos encontramos con un incremento prematuro del hollín que se hace visible hasta finales de la zona 5, el incremento en estas últimas zonas se debe a un problema de cierre y apertura de válvulas de admisión y escape, este problema se genera porque el árbol de levas tiene un desgaste excesivo en sus muñones de apoyo que produce el desbalanceo de dicho elemento en toda su superficie y no le permite cumplir correctamente su función, de manera que al final tenemos dentro de la cámara de combustión una mezcla incompleta por la disminución en la entrada de aire fresco y salida de gases de escape, y la mezcla aire combustible es demasiado rica. Si observamos detenidamente la zona 4 y 5 se ha disminuido en un cierto nivel el hollín esto se debe a que en este periodo de muestreo del aceite se utilizó un filtro de alta calidad que cumplió su función de retener todos los contaminantes posibles, aclarando que el problema de árbol de levas aún seguía sin solución cuando se realizó el análisis de la eficiencia de los filtros de aceite; en la zona 6 el hollín empieza a disminuir su nivel.

5.2.2. Parámetros que sirven para evaluar el desgaste de los elementos del motor de combustión interna (Unidad 29).

Las gráficas de la cantidad de hierro (Fe), Cromo (Cr) y aluminio (Al) refleja el desgaste interno que se está produciendo dentro del motor, en el corazón del mismo (camisa-segmento-pistón), mientras mayor relación de compresión (RC) tenga el motor, mayor será el desgaste que se produce en el mismo; porque se incrementan las presiones, temperaturas y por tanto las condiciones de funcionamiento serán más extremas en comparación a uno de menor RC.

5.2.2.1. Gráfica del Hierro (Fe).

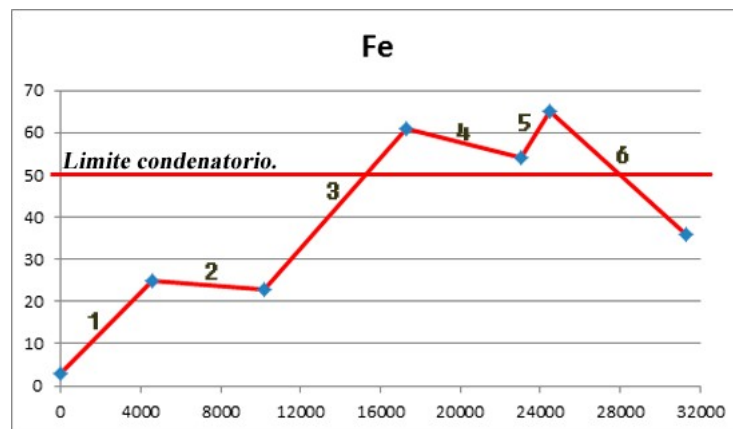


Figura 5.4: Grafica de los valores de Hierro obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

En la **figura 5.4** se puede observar el incremento de partes por millón (ppm) de cantidades de hierro (desgaste de cilindros) en las diferentes muestras de aceites tomadas; desde la zona 1 hasta la zona 2 el aumento es normal; desde principios de la zona 3 hasta finales de la misma se da un incremento prematuro de la cantidad de hierro, con una ligera disminución en la zona 4 (uso de filtro de alta calidad) y repotenciación en el incremento de hierro en la zona 5; Todo esto se debe al incremento prematuro del hollín en el interior de la cámara de combustión que a más de generar desgaste en el cilindro o camisa también lo hará con los segmentos (cromo) y pistones (Aluminio), la razón por la cual se justifica este hecho es porque la película lubricante al hacer contacto con la materia carbonosa queda retenida en esta, lo que no le permite deslizarse por todas las superficies que se encuentran en contacto produciendo el rozamiento en seco y por tanto el desprendimiento de material de la superficie más suave que este caso va a ser la camisa (fundición de Hierro) en relación a los segmentos que están fabricados con cromo un material más duro; en la zona 6 el Hierro vuelve recuperar su nivel normal.

5.2.2.2. Gráfica del Cromo.

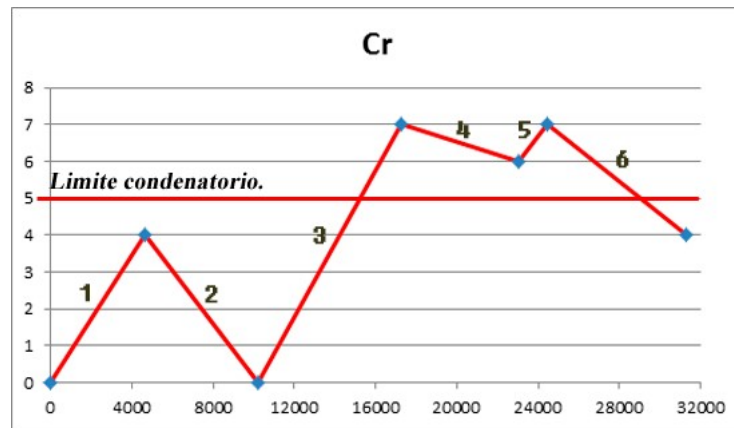


Figura 5.5: Gráfica de los valores de Cromo obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

En la **figura 5.5** se puede observar que la cantidad de cromo ha sobrepasado el límite condenatorio a finales de la zona 3 hasta la zona 5, el cromo se caracteriza por su alta dureza y resistencia al desgaste y altas temperaturas, la cantidad de hollín sigue teniendo que ver con este aumento debido a la deficiencia que produce en el aceite lubricante al contaminarlo con una mayor cantidad del mismo produciendo la fricción inter-metálico entre el cilindro y el segmento, en la zona 6 el cromo recupera su valor normal de desgaste.

5.2.2.3. Gráfica del Aluminio.

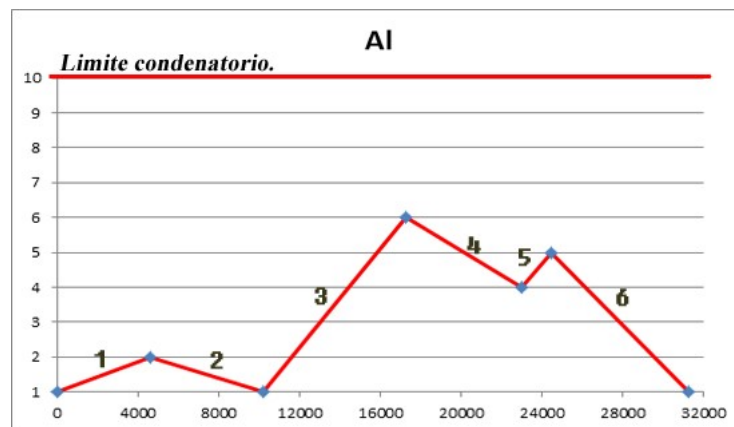


Figura 5.6: Gráfica de los valores de Aluminio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

El aluminio al igual que el hierro y el cromo ha aumentado considerablemente por el problema mencionado repetidas veces anteriormente, pero este no ha sobre-

pasado el límite condenatorio porque la falda y la cabeza pistón tienen tolerancias mecánicas superiores en relación a la camisa con el segmento lo que le permite deslizarse con una película lubricante de mayor espesor y sin ningún problema mayor de fricción seca, ver **figura 5.6**

5.2.2.4. Gráfica del Silicio.

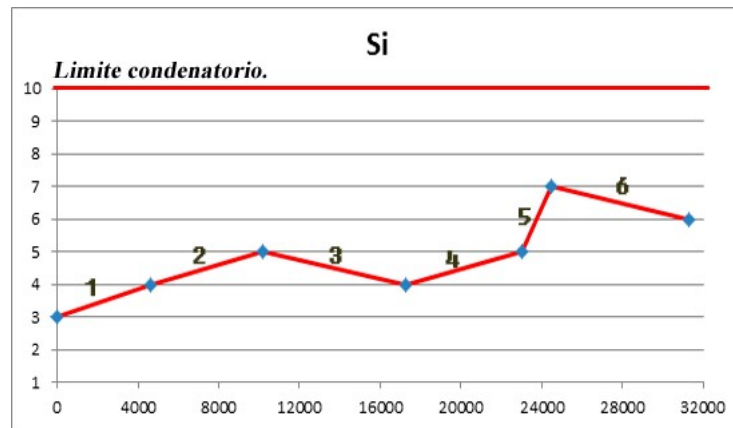


Figura 5.7: Grafica de los valores de Silicio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 29.

Fuente: Autores

El silicio es un contaminante externo y la concentración del mismo depende del entorno de funcionamiento del motor de combustión interna; el silicio presente en la muestra de aceite es indicativo de la eficiencia del filtro de Aire, mientras más cantidad de silicio se tenga en la muestra menor eficiencia de filtrado y mientras menor concentración de silicio mayor eficiencia del filtro de aire, en la **figura 5.7** todavía la cantidad de silicio no ha sobrepasado el límite condenatorio es decir que el sistema de filtrado de aire está cumpliendo con su cometido como parte de los sistemas auxiliares del motor de combustión interna.

5.2.3. **Árbol de levas con excesivo desgaste: problemas que genera en el motor de combustión interna y en sus sistemas auxiliares (lubricación); Unidad 29.**

El árbol de levas es un elemento primordial para el funcionamiento del motor de combustión interna, ya que abre y cierra las válvulas de admisión y escape en un movimiento alternativo sincronizado girando sobre unos cojinetes de fricción a la mitad de vueltas que el cigüeñal, muchas de las veces está fabricado en una sola pieza de hierro fundido y sometido a tratamientos como el templado, para que soporte grandes esfuerzos de torsión y desgaste.

Antes de mencionar el problema con el cual nos encontramos en la etapa de monitoreo del aceite de la Unidad 29 (motor Diésel de 6 cilindros en línea de 7127

cc, con un sistema de inyección mecánica), es importante describir al árbol de levas este está constituido por dos grupos: el Eje y el grupo de levas-muñones de apoyo, estos dos grupos se unen en un solo cuerpo a presión a través del estriado que tiene el eje. Ver **figura 5.8**

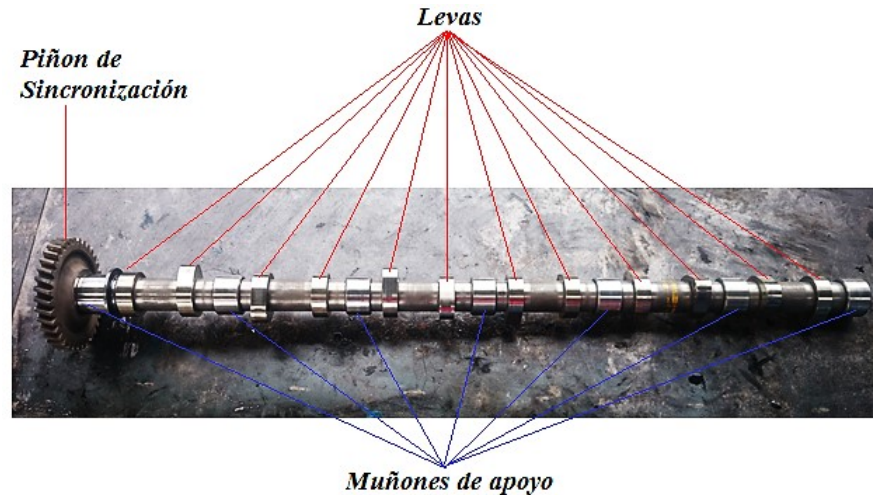


Figura 5.8: Árbol de levas de un motor diésel de 6 cilindros.
Fuente: Autores

En la **figura 5.9** se puede observar el estriado donde van montados a presión los muñones de apoyo y las levas, el objetivo del estriado es permitir sujetar firmemente a los elementos mencionados previamente y que no se desplacen angularmente, cuando el desgaste interno de estos elementos es excesivo tienden a desplazarse tanto angularmente como lateralmente.

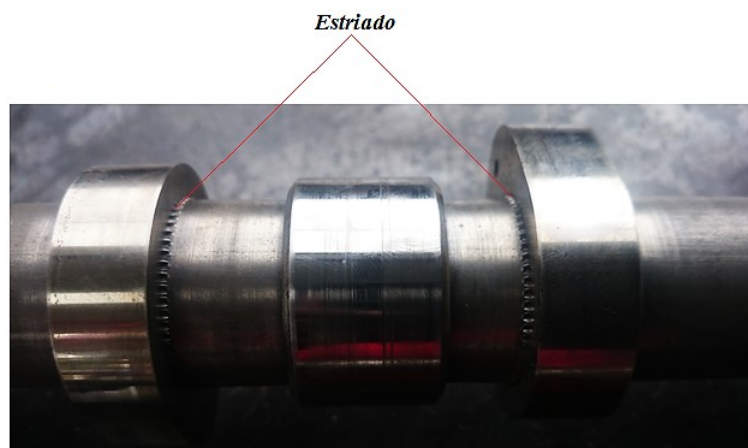


Figura 5.9: Diseño estriado del árbol de levas de un motor diésel de 6 cilindros.
Fuente: Autores

Descritas las partes principales del árbol de levas estudiado en este apartado, empezaremos por mencionar que este elemento es uno de los que están sometido a condiciones límites de lubricación, alguna de las razones que sustente esta idea es la velocidad con la que gira, cantidad y temperatura de lubricante presente

en esta zona del motor. Todos estos factores hacen que el árbol de levas tiene que estar diseñado adecuadamente para soportar a más de esfuerzos de torsión el desgaste excesivo sobre todo en los muñones de apoyo y algunos casos extremos las superficies de las levas.

El costo de un árbol de levas nuevo original ronda desde los 1000 hasta los 1400 dólares, un alterno esta alrededor de 600 dólares. El problema que se encontró el personal de mantenimiento de la empresa fue que al adquirir un árbol alterno, lo pusieron como repuesto en la reparación de la unidad 29, pero no se fijaron a tiempo que un árbol de levas alterno tiene diferencias estructurales a un original, la diferencial principal radica en la longitud de la cresta de la leva que es un 1mm mayor en el alterno. Cuando el motor estaba en marcha se percibía problemas como la falta de potencia y torque además que no se podía calibrar correctamente las válvulas de admisión y escape entre otros problemas, todo esto llevo al personal a tomar una decisión incorrecta; utilizar el árbol de levas original dañado y tratar de repararlo de la siguiente manera. Ver **figura 5.10**

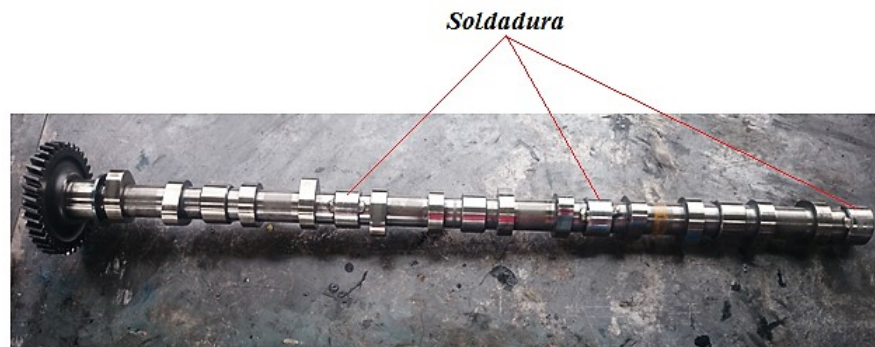


Figura 5.10: Soldadura en el árbol de levas de un motor diésel de 6 cilindros.
Fuente: Autores

Los lectores se preguntaran porque y para que soldaron los muñones de apoyo y la respuesta es porque dichos elementos al tener un juego interno en la zona del estriado de cada muñón, se desplazaban angularmente y lateralmente en un cierto rango, esto producía una serie de problemas el más visible era que no se podía calibrar las válvulas y si es que se lograba la calibración no superaba los 1000 km. Al soldar dichos elementos inicialmente parecía haberse resuelto el problema ya no se producía ningún desplazamiento por lo tanto el motor funcionaba normalmente hasta que transcurrieron 10000 km y la soldadura cedió. Ver **figuras 5.11, 5.12, 5.13.**

Cuando cedió la soldadura en los muñones de apoyo se generaron problemas de desgaste excesivo internamente en el motor, la razón es por el incremento del hollín en la cámara de combustión y cabezas de los pistones como producto del sellado defectuoso de las válvulas de admisión y escape trayendo consigo problemas en la entrada del aire fresco y salida de gases de escape. Al tener poca cantidad de aire y gran cantidad de combustible la mezcla resultante es demasiado rica, por tanto la combustión es incompleta aportando en el incremento del hollín. Ver

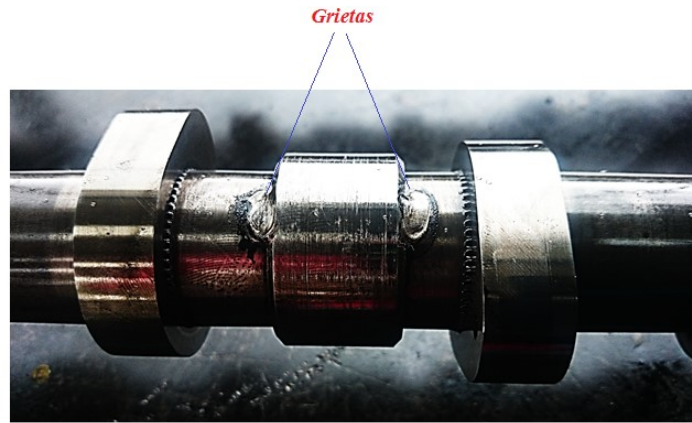


Figura 5.11: Soldadura del árbol de levas cedida como consecuencia de las altas presiones de operación.

Fuente: Autores



Figura 5.12: Grietas generadas sobre la soldadura del árbol de levas.

Fuente: Autores



Figura 5.13: Posibles grietas internas a causa de las altas presiones.

Fuente: Autores

gráfica del hollín, **figura 5.3**.

El incremento del hollín hace que el motor sufra un desgaste prematuro ya que el aceite lubricante queda retenido en las zonas de mayor concentración de residuos de la combustión y no baja hacia la zona de la camisa-segundo-pistón produciendo el rozamiento inter-metálico o seco. Ver gráfica del hierro, **figura 5.4**.

Los cojinetes de fricción hacen honor a su nombre ya que el eje o árbol de levas al girar lo roza continuamente y si no tienen la suficiente cantidad de lubricante en la superficie rozante se producirá fricción seca o inter metálica produciendo calor en toda el área de contacto y desprendimiento de material. Ver **figura 5.14**

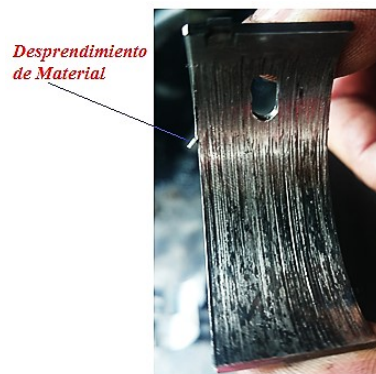


Figura 5.14: Consecuencias de usar un árbol de levas soldado.

Fuente: Autores

Todo este material desprendido será transportado por el aceite lubricante al interior del motor, la única barrera que se interpone en el paso de estos contaminantes es el filtro de aceite, el cual va a retener las partículas de mayor tamaño ($30-40\mu\text{m}$) y las de menor tamaño ($<30\mu\text{m}$) van a pasar sin ninguna dificultad, este problema se da porque el filtro de aceite utilizado en estas unidades es uno de baja calidad que no cumplen con los estándares de calidad principalmente en la constitución del elemento filtrante que tan solo está compuesto de material orgánico que por sí solo es incapaz de retener las partículas mencionadas anteriormente. Para comprobar todo esto, luego del cambio de aceite, tomamos el filtro de aceite y lo desarmamos, nos quedamos con el elemento filtrante que luego de someterlo a un proceso de escurrido del aceite que lo cubría, observamos mediante el microscopio las zonas donde habían mayor concentración de elementos de desgaste y procedimos a medir el área de cada una de las partículas presentes utilizando las herramientas que nos provee el microscopio. Ver **figura 5.15**

El problema no se termina aquí más bien sigue de largo ya que estas pequeñas partículas al acumularse internamente se hacen más grandes produciendo el desgaste prematuro en especial en zonas de poca tolerancia mecánica como en los cojinetes del cigüeñal y en el área de contacto que se da entre los cilindros-segundos-pistones. Prueba de lo mencionado se puede observar en la **figura 5.16** de la tabla 5.2 en la cual el incremento del Cromo (Cr), Hierro (Fe) y Aluminio (Al) es fruto de la acumulación de partículas de desgaste de los cojinetes de fric-



Figura 5.15: Repercusión del uso de un árbol de levas soldado sobre el papel filtrante del filtro de aceite.

Fuente: Autores

ción del árbol de levas y Hollín, el ultimo dato esta excluido debido a que la etapa en la cual ocurrió el mayor desgaste de los cojinetes del árbol de levas ya transcurrió y por tanto las concentraciones de Fe, Cr y Al han descendido.

km Motor	km Aceite	Avance aceite (km)	Elementos de desgaste (ppm)															
			Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
	0	0	0	3	0	1	0	0	3	2	1	0	0	0	3206	25	1287	1155
32340	4620	4620	0	25	4	2	0	2	4	2	0	0	1	0	3445	24	1402	1217
43000	5587	10207	0	23	0	1	3	0	5	1	0	1	0	0	3715	33	1436	1243
50081	7081	17288	0	61	7	6	1	4	4	2	0	0	1	0	3686	8	1321	1092
55825	5744	23032	0	54	6	4	0	0	5	3	3	0	0	0	3975	5	1458	1295
57240	7159	24447	0	65	7	5	0	3	7	3	3	0	0	0	3868	4	1409	1262
	6820	31267	0	36	4	1	0	0	6	5	2	0	0	0	3518	13	1362	1141

Figura 5.16: Concentraciones de metales en el aceite producto del árbol de levas soldado.

Fuente: Autores

5.2.4. Parámetros que sirven para evaluar el estado real del aceite lubricante del motor de combustión interna (Unidad 64).

Al igual que realizamos en el apartado anterior con los resultados de la unidad 29 empezaremos por interpretar las gráficas de las principales variables como el TBN, Viscosidad y Hollín que nos van ayudar a entender el grado de degradación que está sufriendo el aceite lubricante en el motor de la unidad 64 que por cierto es un motor con 6 meses de reparación desde inicios hasta la finalización del muestreo del aceite usado.

5.2.4.1. Grafica del TBN.

En la **figura 5.17** se observa el comportamiento o evolución del TBN (número total básico) que sirve para neutralizar los ácidos sulfúricos producidos en la combustión de la mezcla aire combustible en el interior del motor, la evolución del TBN como parte del aceite lubricante tiene la tendencia a decrecer mientras

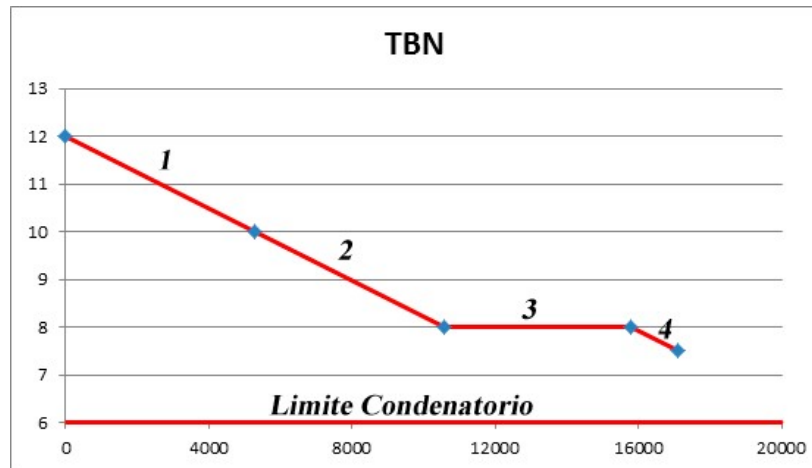


Figura 5.17: Grafica de los valores del TBN obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

más kilómetros de uso tenga el aceite dentro del motor, este comportamiento se observa en la pendiente de la gráfica del TBN desde la zona 1 hasta finales de la zona 4, el TBN decrece por la presencia de ácidos sulfúricos que tiene que neutralizar y que se encuentran en el combustible diésel como parte del sistema de alimentación de combustible, esta reducción es más acelerada en relación a los resultados de la misma gráfica de la unidad 29.

5.2.4.2. Grafica de la Viscosidad 100.

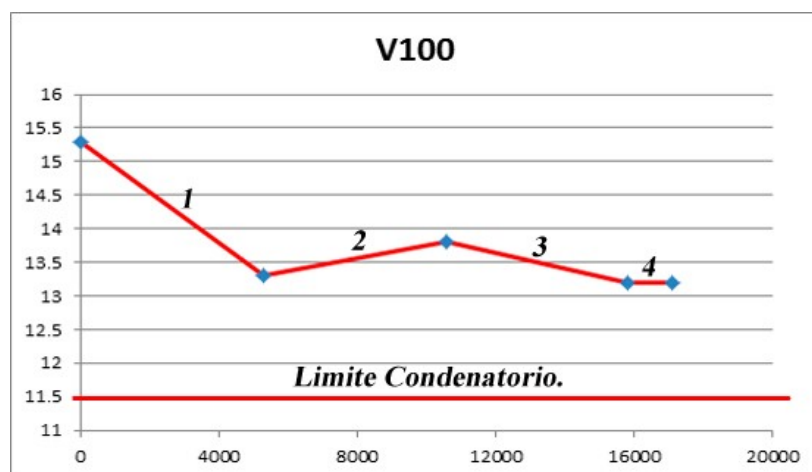


Figura 5.18: Grafica de los valores de Viscosidad obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

En la **figura 5.18** se muestra el comportamiento normal de la viscosidad es a disminuir su índice debido a factores como extremas temperaturas y presencia

mínima de combustible este comportamiento se hace visible desde principios de la zona 1, en la zona 2 se tiene un ligero incremento de la viscosidad por el aumento del hollín que le contamina al aceite, en la zona 3 hasta finales de la zona 4 se tiene nuevamente un descenso en la viscosidad en el mismo periodo de uso del aceite lubricante del motor de combustión interna, este descenso se podría catalogar como normal y este se debe a la utilización de un filtro de aceite de alta Gama que elimina la contaminación del mismo por el hollín o materia carbonosa que se genera por la combustión incompleta del aire combustible, dicho filtro retiene 38.61 % más hollín en relación a los resultados de la muestra anterior de aceite en la que se utilizó un filtro de baja gama.

5.2.4.3. Grafica del Hollín (ST).

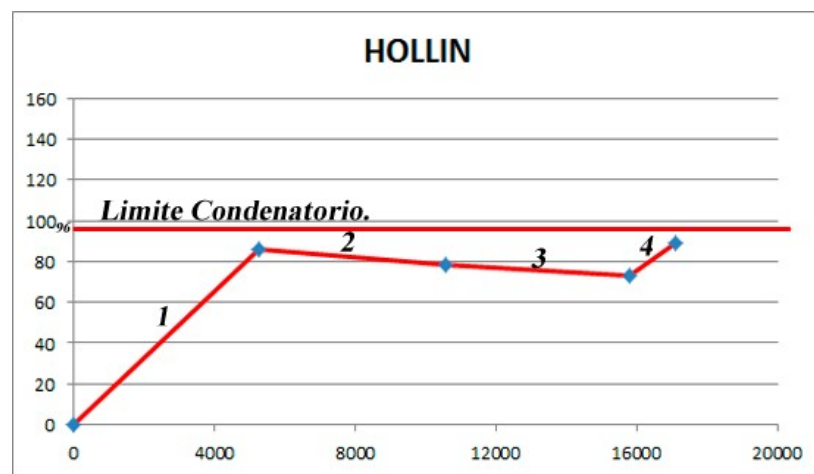


Figura 5.19: Grafica de los valores de Hollín obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

Como se mencionó anteriormente el hollín o materia carbonosa es un subproducto de la combustión incompleta de la mezcla aire combustible que se genera al interior del motor por cada cilindro en el ciclo de trabajo o de expansión de dicho motor, en la **figura 5.19** a finales de la zona 1 se tiene la máxima cantidad de hollín, dicho incremento se generó por la disminución de la entrada de aire en el múltiple de admisión como consecuencia de que los filtros de aire se encontraban saturados y no permitían el paso de la suficiente cantidad de aire, hecho que genero una mezcla demasiado rica en el ciclo de trabajo del motor analizado; en la zona 2 disminuye el hollín porque fueron reemplazados los filtros defectuosos; en la zona 3 el hollín disminuye aún más su nivel esto se debe a la utilización de filtros de aceite de alta gama que retienen mejor a este contaminante.

5.2.5. Parámetros que sirven para evaluar el desgaste del motor de combustión interna (Unidad 64).

En esta sección interpretaremos los procesos de evolución del desgaste del motor de la unidad 64 tomando en cuenta las principales gráficas de partículas metálicas, no metálicas y el silicio que es un contaminante externo que tiene que ver directamente con el desgaste prematuro del motor por su alta dureza.

5.2.5.1. Gráfica del Hierro (Fe).

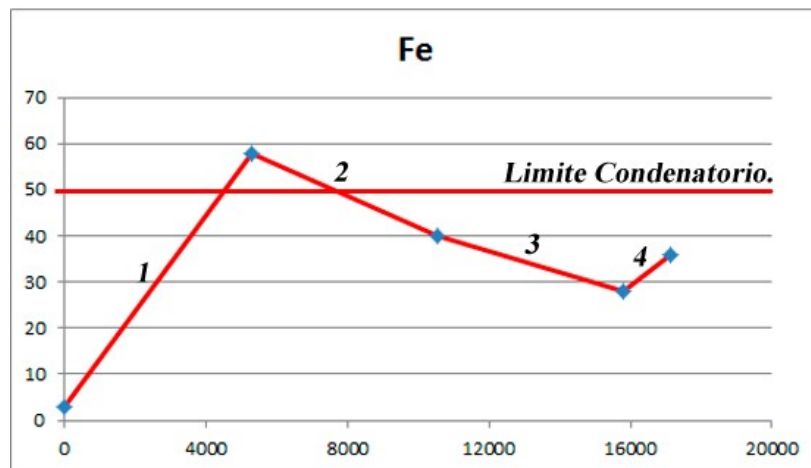


Figura 5.20: Grafica de los valores de Hierro obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

Como el motor estaba recién reparado y la muestra de aceite fue tomada después de 10 días (2200 Km) de recorrido de dicho motor era obvio que el nivel de partículas de Hierro iban estar por encima del límite condenatorio porque en ese momento el motor todavía no había superado el periodo de asentamiento en el cual el desgaste por partículas metálicas al interior del motor se normaliza. En la **figura 5.20** después de superar el periodo de asentamiento desde principios de la zona 2 hasta finales de la zona 3 la cantidad de hierro se reduce satisfactoriamente, en la zona 4 se tiene un ligero incremento de cantidad de hierro esto se debe al mayor número de Kilómetros recorridos por el motor de combustión interna con el aceite lubricante (6651 Km) en relación al muestreo anterior que se realizó a los 5233 km, dicho comportamiento se puede considerar como normal ya que dicho incremento no es exagerado y se encuentra dentro de los valores recomendados por los diferentes fabricantes de motores de combustión interna.

5.2.5.2. Gráfica del Cromo.

El cromo a pesar de empezar el muestreo de aceite antes de llegar a cumplir el periodo de asentamiento no supera el límite condenatorio y se mantiene dentro del rango o nivel permisible dado por los principales fabricantes de motores de

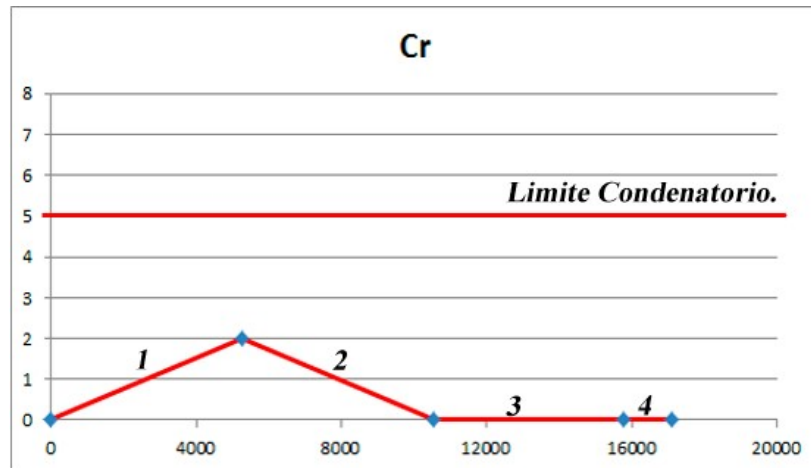


Figura 5.21: Grafica de los valores del Cromo obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

combustión interna, este comportamiento se ve reflejado desde principios de la zona 1 hasta finales de la zona 4, ver **figura 5.21**.

5.2.5.3. Gráfica del Aluminio.

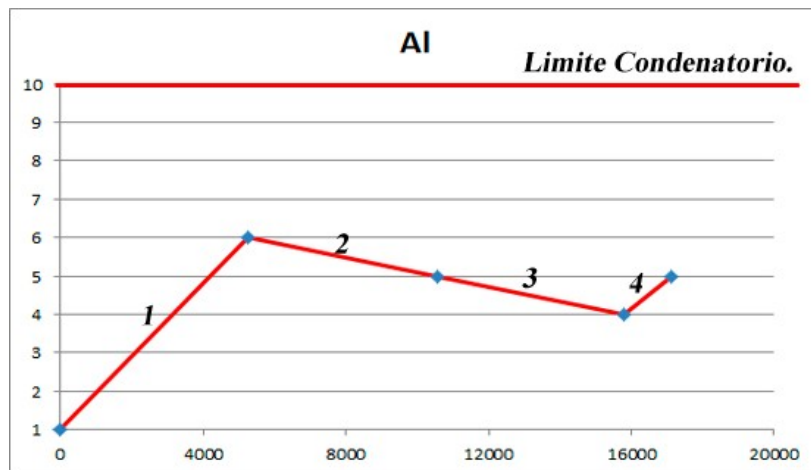


Figura 5.22: Grafica de los valores del Aluminio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

El aluminio al igual que el cromo en la gráfica anterior no supera el rango permisible o limite condenatorio incluso cuando el aceite lubricante es sometido a un recorrido de 6551 km superior al recorrido inicialmente dado por el personal de mantenimiento a cada una de las unidades que era máximo de 4600 km aproximadamente, ver **figura 5.22**.

5.2.5.4. Gráfica del Silicio.

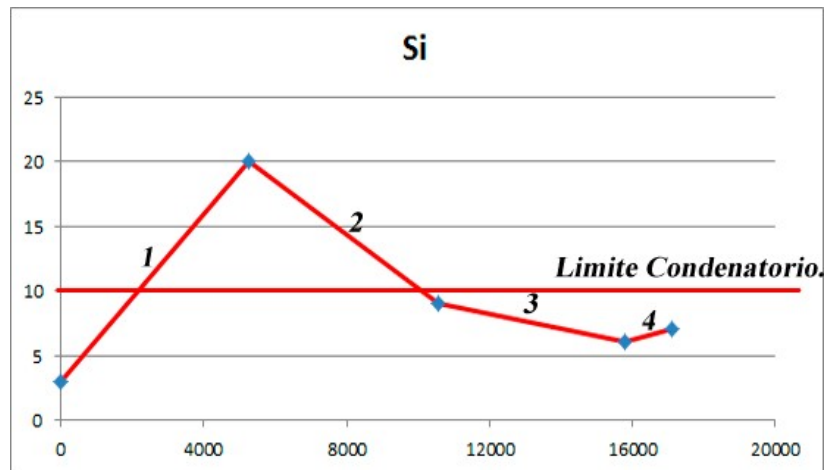


Figura 5.23: Grafica de los valores del Silicio obtenidos del análisis de aceite de la unidad 64.

Fuente: Autores

Como ya se mencionó muchas veces el silicio es un contaminante externo y este depende del entorno de funcionamiento del motor de combustión interna y de la calidad de los filtros de aire que tienen para retener esta clase de contaminantes, en la **figura 5.23** el aumento de silicio que se ve evidenciado en la zona 1 es producto de utilizar filtros de aire en mal estado que se le ha dado un incorrecto mantenimiento es decir en vez de reemplazarlos por unos nuevos se ha procedido a limpiarlos con aire a presión rompiendo, agrietando y fisurando los pliegues de todo el elemento filtrante. Las consecuencias que acarrea hacer dicho procedimiento se verá con más detalle en el siguiente apartado.

5.2.6. Filtro de aire saturado: problemas que genera en el motor de combustión interna y en sus sistemas auxiliares (lubricación); Unidad 64.

El filtro de aire evita la entrada de contaminantes como el silicio al interior del motor a través del múltiple de admisión, cuando este elemento se encuentra en buen estado es capaz de retener hasta el 99 % de partículas que lo atraviesan, pero conforme va saturándose de alguna manera su eficiencia se incrementa pero con el correspondiente problema de que no deja pasar ni partículas pero tampoco la suficiente cantidad de aire necesaria para que se realice la mezcla estequiométrica con el combustible. En la mayoría de los casos al existir poca cantidad de aire y gran cantidad de combustible la mezcla resultante es demasiado rica al interior del motor, y como ya lo mencionamos en el apartado anterior al existir una mezcla rica el hollín que se forma como producto de una deficiente combustión se incrementa con los posteriores problemas de desgaste excesivo en el motor por la saturación del paquete de aditivos del aceite lubricante.

En la **figura 5.24** se puede observar un filtro de aire en buenas condiciones, el método técnico para evaluar el estado real de este elemento es fijarse en el sensor de presión que se encuentra al lado de la carcasa o alojamiento del filtro de aire; este sensor tiene tres estados, verde indica que el filtro está en buenas condiciones, amarillo está en condiciones regulares y rojo el filtro debe ser reemplazado.



Figura 5.24: Filtro de aire externo de un motor diésel, nuevo.
Fuente: Autores

Los filtros de Aire se conservaran mejor de acuerdo al mantenimiento que reciban, especialmente la carcasa donde se alojan dichos filtros, es importante limpiarlos con una franela húmeda antes de reemplazar los filtros cuyo periodo de vida útil haya llegado a su fin. Ver **figura 3.11**

En la **figura 5.25** se puede observar un filtro de aire que se encuentra saturado, es muy difícil determinar a simple vista si es que un filtro está o no saturado, por experiencia cuando no se cuenta con el sensor descrito anteriormente , en un ambiente con niveles normales de polvo como la ciudad de Cuenca y en climas templados se recomienda cambiar el filtro de aire luego de tres cambios consecutivos de aceite es decir aproximadamente 15000 km, en verano por la gran cantidad de polvo que se alza, la reducción de la vida útil del filtro de aire se ve disminuida notablemente y se puede sugerir que los cambien aproximadamente cada 10000 km.

Cambiar los filtros de aire sin aprovechar su máxima eficiencia traerá consigo un despilfarro de recursos económicos que la empresa tendrá que cubrir al menos si se trata de una empresa que tenga un gran número de unidades circulando constantemente. Actualmente los filtros de aire tanto interno como externo representan 32 dólares un valor que llega a ser significativo por el número de unidades.

En la **figura 5.26** se observa un filtro de aire interno sin usar, este al estar cubierto por el filtro de aire externo va a soportar mejor cualquier condición de funcionamiento, porque las partículas de mayor tamaño quedaran retenidas en el filtro externo y solamente las de menor tamaño serán retenidas por este último; por lo cual recomendamos que el filtro de aire interno se lo reemplace después de 4 cambios de aceite consecutivos o aproximadamente cada 20000 km siempre



Figura 5.25: Filtro de aire externo de un motor diésel, después de un cierto recorrido.

Fuente: Autores

y cuando el clima sea templado, en verano máximo cada 3 cambios de aceite o 15000 km aproximadamente.



Figura 5.26: Filtro de aire interno de un motor diésel, nuevo.

Fuente: Autores

En la **figura 5.27** se observa un filtro de aire interno que ya se encuentra saturado luego de aproximadamente 20000 km de uso, las micro-partículas de polvo que no han podido ser retenidas por el filtro externo han quedado atrapadas en este ultimo elemento.

En la **figura 5.28** se puede observar el incremento de la cantidad de silicio en la muestra de aceite analizada en el laboratorio, este incremento se debe a múltiples factores una de ellas debido a la mala sujeción de los filtros de aire tanto interno como externo dentro de su respectiva carcasa otra posible razón se debe a la presencia de orificios después del filtro de aire que permite que el aire ingrese al motor sin filtrar y por ultimo muy a menudo sucede que el personal encargado del mantenimiento de las unidades limpia los filtros con aire a presión arruinando dichos filtros porque el aire a presión romperá o abrir los poros del elemento filtrante permitiendo que el silicio del entorno pase con mayor facilidad.



Figura 5.27: Filtro de aire interno de un motor diésel, después de un cierto recorrido.

Fuente: Autores

km Motor	km Aceite	Avance aceite (km)	Elementos de desgaste (ppm)															
			Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	V	Ca	Mg	Zn	P
	0	0	0	3	0	1	0	0	3	2	1	0	0	0	3206	25	1287	1155
7700	5280	5280	3	58	2	6	7	4	20	3	0	8	2	0	3568	6	1388	1178
12980	5280	10560	2	40	0	5	5	0	9	3	2	5	0	0	3843	3	1461	1331
18213	5233	15793	2	28	0	4	3	0	6	4	3	4	0	0	3409	18	1336	1159
19531	6551	17111	0	36	0	5	4	0	7	5	3	5	0	0	3517	11	1355	1182

Figura 5.28: Evolución de la presencia de silicio en una muestra de aceite por uso de filtros de aire sometidos a la limpieza con aire a presión y sin esta.

Fuente: Autores

Luego de cambiar los filtros de aire interno y externo por otros nuevos, después de dejar recorrer 5280 km aproximadamente al motor de combustión interna, se volvió a tomar otra muestra de aceite y los resultados fueron que el silicio disminuyó de 20 ppm con los filtros limpiados con el aire a presión a 9 ppm con filtros nuevos sin limpiar.

5.3. Eficiencia de los filtros de baja Gama vs Alta Gama.

Para determinar la eficiencia de los filtros de aceite se procede a comparar una por una las gráficas de cada elemento que sirven para evaluar el estado real de un aceite lubricante sacando cada una de las pendientes y comparándolas porcentualmente entre ellas, las gráficas muestran en primera instancia los resultados utilizando un filtro de aceite de baja gama y luego uno de alta gama en el mismo periodo de tiempo (5500 km), bajo la suposición que las condiciones de funcionamiento del motor tienden a ser las mismas pero en realidad aunque la unidad de transporte recorra la misma ruta, ciertas variables como el clima, el polvo, el modo de conducción, entre otras van a cambiar aunque de forma no tan brusca, por lo tanto es posible aplicar dicho análisis con un porcentaje mínimo de error.

Antes de empezar el análisis hay que considerar la siguiente nomenclatura para tener en cuenta sobre las características de cada gráfica:

BG = Filtros de Aceite Baja Gama

AG = Filtros de Aceite de Alta Gama

5.3.1. Hollín (ST).

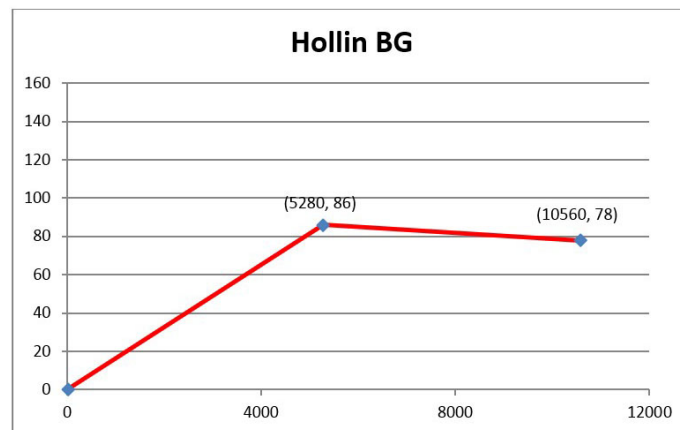


Figura 5.29: Partes por millón de Hollín utilizando un filtro de Baja Gama.
Fuente: Autores

$$mH_{BG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{78 - 86}{10560 - 5280} = -\frac{8}{5280} \times 1000 = -1,51$$

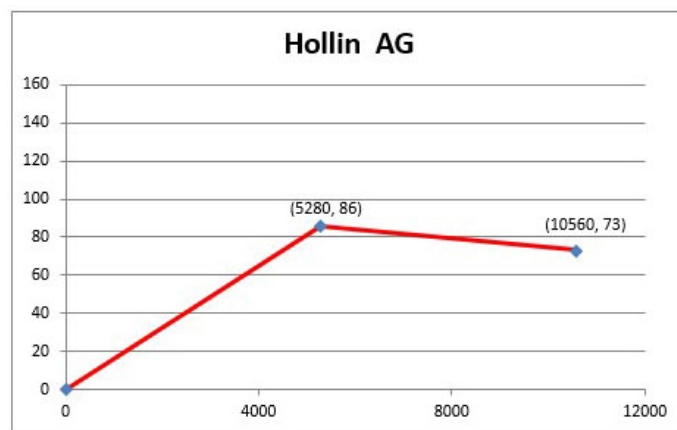


Figura 5.30: Partes por millón de Hollín utilizando un filtro de Alta Gama.
Fuente: Autores

$$mH_{AG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{73 - 86}{10560 - 5280} = -\frac{13}{5280} \times 1000 = -2,46$$

Interpretación de las pendientes de las gráficas del Hollín.

A través de una regla de tres se procede a comparar las dos pendientes, sacando el porcentaje de cada una de ellas.

$$\begin{array}{rcl} 2,46 & & 100 \% \\ 1,51 & & X = 61,38 \% \end{array}$$

$$Eficiencia = 100 \% - 61,38 \% = 38,61 \%$$

El filtro de aceite de Alta gama es 38.61 % más eficiente reteniendo hollín o materia carbonosa que un filtro de aceite de baja gama.

5.3.2. Viscosidad 100.

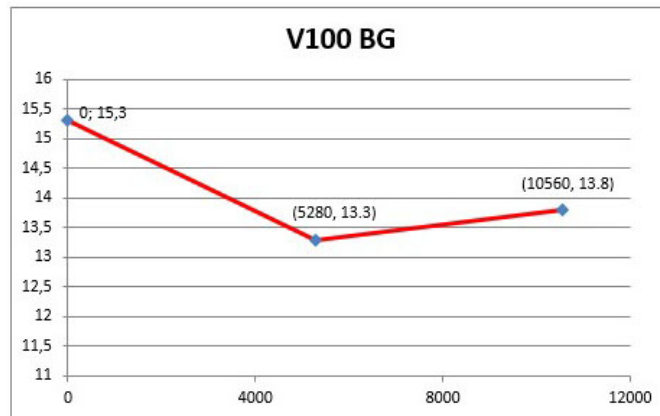


Figura 5.31: Comportamiento de la Viscosidad @100 utilizando un filtro de Baja Gama medida en Cst (centiStoke).

Fuente: Autores

$$mV_{BG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{13,8 - 13,3}{10560 - 5280} = \frac{0,5}{5280} \times 100000 = 9,46$$

$$mV_{AG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{13,2 - 13,3}{10560 - 5280} = -\frac{0,1}{5280} \times 100000 = -1,89$$

Interpretación de las pendientes de las gráficas de la viscosidad.

Dado que se tiene en la gráfica de la **figura 5.31** una pendiente positiva y en la gráfica de la **figura 5.32** pendiente negativa procedemos por cuestiones de interpretación a sumarlas para tomarlas como la totalidad del análisis.

$$rangodeestudio = mV_{BG} + mV_{AG} = 9,46 + 1,89 = 11,35$$



Figura 5.32: Comportamiento de la Viscosidad @100 utilizando un filtro de Alta Gama medida en Cst (centiStoke).

Fuente: Autores

$$\begin{array}{ll}
 11,35 & 100 \% \\
 9,46 & X = 83,34 \%
 \end{array}$$

$$Eficiencia = 100 \% - 83,34 \% = 16,65 \%$$

Utilizando un filtro de aceite de baja gama, la viscosidad aumenta en un 83.34 % en un periodo de recorrido de (5500 km), la razón principal del incremento está íntimamente relacionada con el aumento del hollín analizado y verificado en la gráfica de la **figura 5.29**. En cambio cuando se utiliza un filtro de Alta gama la viscosidad disminuye en un 16.65 % a la última lectura del análisis de aceite usado realizado con anterioridad, la razón por la cual disminuye es por la posible contaminación por combustible y la influencia de la temperatura de funcionamiento del motor, este comportamiento se puede minimizar pero no eliminar mediante aditivos mejoradores del índice de viscosidad, por lo tanto se puede considerar como tendencia normal del aceite lubricante es decir mientras mayor horas o kilómetros de uso tenga el mismo, la viscosidad tendera a disminuir; y porque no se incrementó su valor como el primer caso analizado, la explicación es muy sencilla y esta se debe a que el filtro de aceite de alta gama retuvo un 38.61 % más de hollín en relación al filtro de aceite de baja gama.

5.3.3. TBN.

$$mTBN_{BG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{8 - 10}{10560 - 5280} = -\frac{2}{5280} \times 10000 = -3,78$$

$$mTBN_{AG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{8 - 10}{10560 - 5280} = -\frac{2}{5280} \times 10000 = -3,78$$

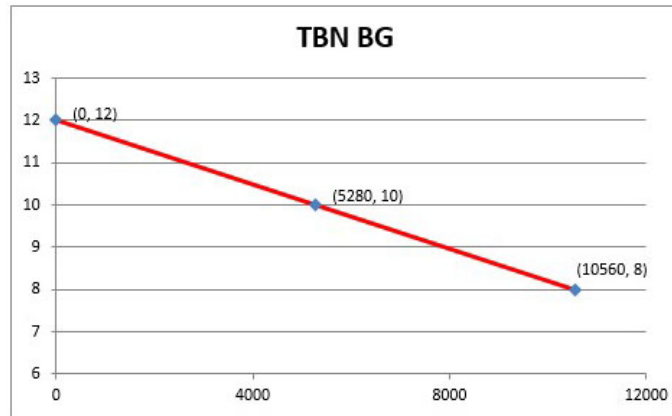


Figura 5.33: Numero Básico Total expresada en mg KOH/g.
Fuente: Autores

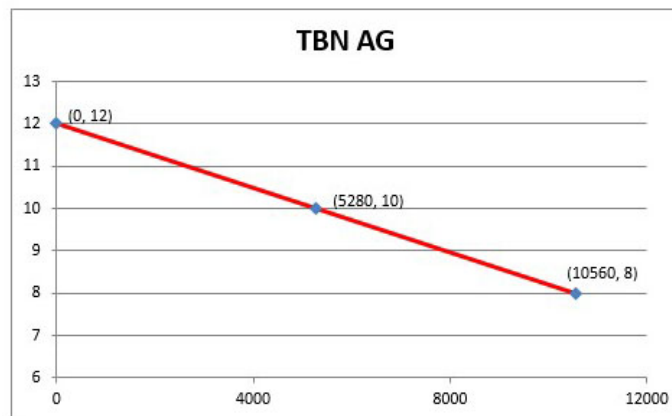


Figura 5.34: Numero Básico Total expresada en mg KOH/g.
Fuente: Autores

Interpretación de las pendientes de las gráficas del TBN.

Analizando las dos pendientes vemos que el comportamiento a disminuir es igual en los dos casos, el TBN o Número Básico total representa el nivel de alcalinidad del aceite que va ser empleado para disminuir la acidez interna, que en caso de existir va a descomponer el aceite lubricante y va a producir corrosión en el motor como producto de los ácidos sulfúricos que se generan a través de la combustión de combustibles diésel, mientras mayor refinado tenga dicho combustible menor va ser la concentración del mismo y de igual forma mientras menor refino tenga, mayor concentración de azufre poseerá el Diésel. En nuestro país el combustible Diésel aún mantiene valores considerables de azufre 500 ppm (0.05 %) INEN 6ta revisión 2012 [32], en relación a países como Estados Unidos cuyo combustible tiene una concentración de 15 ppm (0.0015 %) hasta 2006, ver anexo B.

En conclusión el TBN disminuye de la misma forma en los dos casos tanto

utilizando un filtro de Baja Gama como uno de Alta Gama, la razón es porque se está utilizando el mismo combustible con la misma concentración de azufre.

5.3.4. Hierro (Fe).

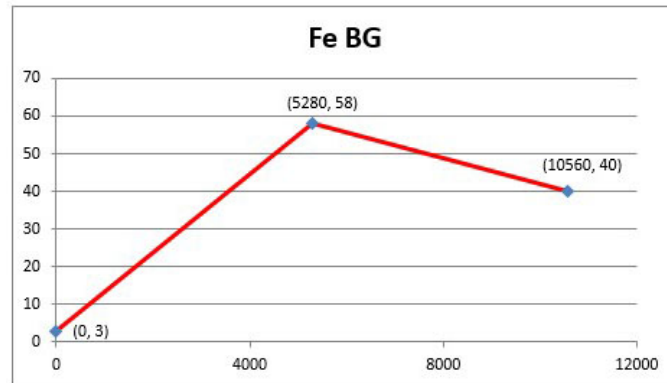


Figura 5.35: Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de hierro utilizando un filtro de aceite de baja gama.

Fuente: Autores

$$mFe_{BG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{40 - 58}{10560 - 5280} = -\frac{18}{5280} \times 1000 = -3,40$$

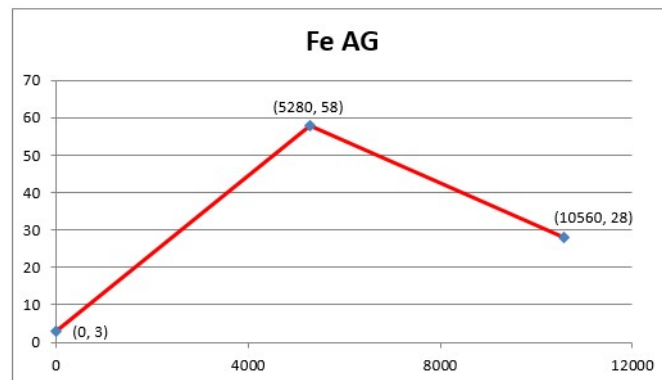


Figura 5.36: Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de hierro utilizando un filtro de aceite de Alta gama.

Fuente: Autores

$$mFe_{AG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{28 - 58}{10560 - 5280} = -\frac{30}{5280} \times 1000 = -5,68$$

Interpretación de las pendientes de las gráficas del Hierro.

A través de una regla de tres se procede a comparar las dos pendientes, sacando el porcentaje de cada una de ellas.

$$\begin{array}{ll} 5,68 & 100 \% \\ 3,40 & X = 59,85 \% \end{array}$$

$$Eficiencia = 100 \% - 59,85 \% = 40,15 \%$$

El filtro de aceite de Alta gama es 40.15 % más eficiente reteniendo partículas de Hierro en comparación a cuando se utiliza un filtro de aceite de baja gama.

5.3.5. Cromo (Cr).

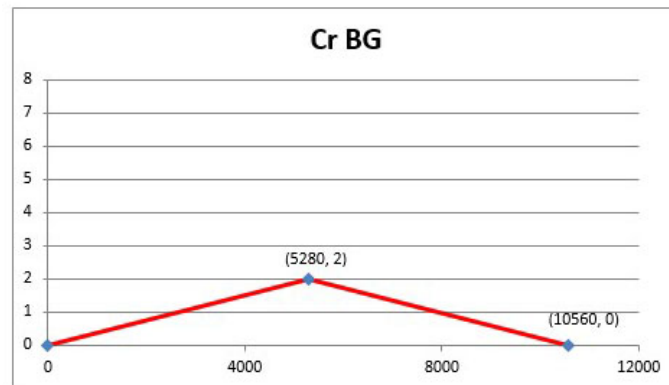


Figura 5.37: Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Cromo utilizando un filtro de aceite de Baja gama.

Fuente: Autores

$$mCr_{BG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{0 - 2}{10560 - 5280} = -\frac{2}{5280} \times 10000 = -3,78$$

$$mCr_{AG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{0 - 2}{10560 - 5280} = -\frac{2}{5280} \times 10000 = -3,78$$

Interpretación de las pendientes de las gráficas del Cromo.

Tal como se puede ver en las **figuras 5.37 y 5.38** las gráficas del cromo tanto usando un filtro de aceite baja gama como uno de alta gama, las pendientes tienen igual magnitud, la razón se justifica porque al no existir desgaste excesivo dentro del motor en especial en la zona de la camisa-segundo-pistón, la cantidad de partículas de cromo a retener es mínima y cualquiera de los filtros utilizados ha cumplido su función.

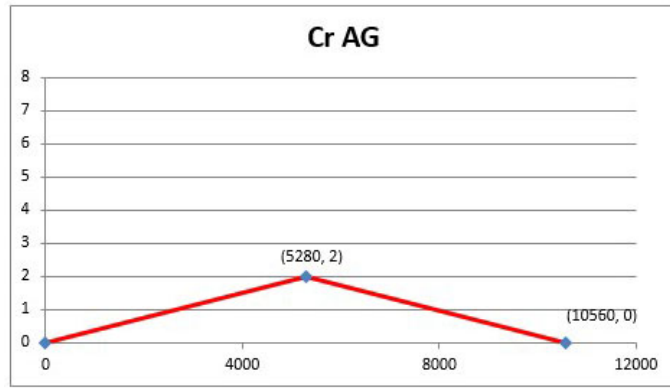


Figura 5.38: Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Cromo utilizando un filtro de aceite de Alta gama.

Fuente: Autores

5.3.6. Aluminio (Al).

Finalmente se hará la comparación entre los filtros de baja y alta gama con respecto a los depósitos de aluminio contenidos en el aceite, de donde:

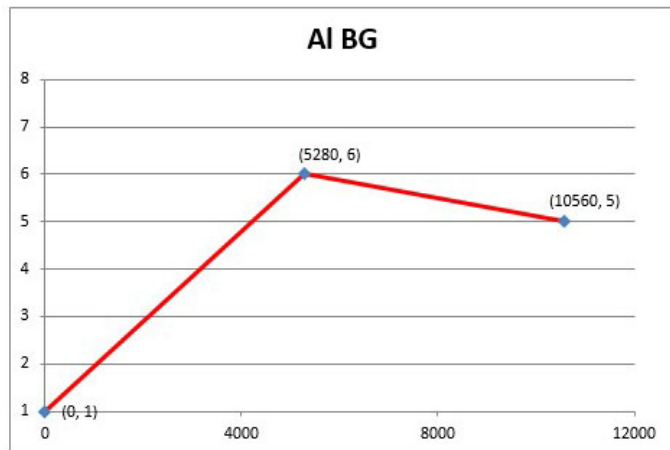


Figura 5.39: Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Aluminio utilizando un filtro de aceite de Baja gama.

Fuente: Autores

$$mAl_{BG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{5 - 6}{10560 - 5280} = -\frac{1}{5280} \times 10000 = -1,89$$

$$mAl_{AG} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{4 - 6}{10560 - 5280} = -\frac{2}{5280} \times 10000 = -3,78$$

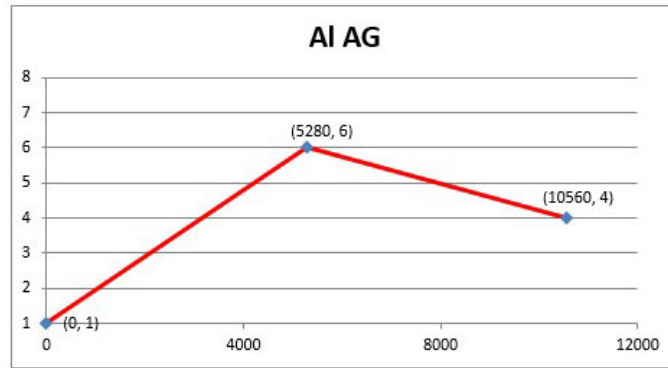


Figura 5.40: Comportamiento de la evolución del desgaste por partículas de Aluminio utilizando un filtro de aceite de Alta gama.

Fuente: Autores

Interpretación de las pendientes de las gráficas del Aluminio.

A través de una regla de tres se procede a comparar las dos pendientes, sacando el porcentaje de cada una de ellas.

$$\begin{array}{r} 3,78 \\ 1,89 \end{array} \quad \begin{array}{r} 100 \% \\ X = 50 \% \end{array}$$

$$Eficiencia = 100 \% - 50 \% = 50 \%$$

El filtro de aceite de Alta gama es 50% más eficiente reteniendo partículas de Aluminio en comparación a cuando se utiliza un filtro de aceite de baja gama.

5.4. Periodo adecuado para el cambio de aceite de las unidades muestreadas.

De acuerdo a la interpretación de los resultados del análisis de aceite usado y al estudio de la eficiencia de los filtros de aceite utilizados dentro de la empresa, podemos concluir que el cambio de aceite adecuado para cada unidad se debe realizar a los 27 días siempre y cuando cumplan con los siguientes parámetros:

1. Estado del motor de combustión Interna.

El motor de combustión interna deberá estar funcionando normalmente: elementos en buen estado (árbol de levas, bomba de inyección, inyectores, etc.), temperatura adecuada, libre de ruidos extraños, baja emisión de gases contaminantes.

2. Consumo de aceite.

El aceite tendrá que estar entre los niveles mínimo- máximo (zona de seguridad) de la varilla indicadora del nivel de aceite.

3. Consumo de combustible.

El consumo de combustible de una unidad no deberá superar el rango normal de consumo de un motor recién reparado.

4. Estado de los filtros de aire.

El filtro de aire externo como interno deberá estar en condiciones idóneas de funcionamiento; libre de humedad, pliegues en buen estado y no saturados de contaminación, etc.

Nota: recomendamos que cuando el vehículo circule por zonas con concentraciones bajas de polvo reemplacen dichos filtros después de tres cambios consecutivos de aceite.

5. Estado de los filtros de Combustible.

Los filtros de combustible deberán estar en condiciones de retener impurezas es decir no estar saturado de contaminantes. Nota: recomendamos reemplazarlos cada tres cambios de aceite.

5.5. Análisis Costo - beneficio de utilizar filtros de aceite de Alta gama vs Baja gama.

Los beneficios de utilizar filtros de aceite de alta gama son muchos en relación al costo que se tiene que pagar por ellos que por lo general representan cuatro veces el costo de un filtro de baja gama, de acuerdo al análisis económico realizado dichos filtros de aceite se pagan solos tomando en consideración varios aspectos que se ven mejorados con la utilización de los mismos, uno de los más importantes es el incremento de la vida útil del motor de combustión interna pues al tener menos partículas de desgaste circulando por todo el sistema de lubricación se va a generar menos fricción en las zonas de poca tolerancia mecánica como en la camisa-segundo - pistón, cojinetes de cigüeñal y biela, que son las partes centrales del motor de combustión interna; la reducción del desgaste por fricción por contacto inter-metálico se debe a que las partículas generadas cuando el motor funciona normalmente van a quedar atrapadas en el filtro de aceite de alta gama que es capaz de retener 40.15 % más partículas de hierro (ver gráfica de la figura 5.36) en relación a lo que retiene un filtro de aceite de baja gama.

En un filtro de aceite de baja gama solo quedan retenidas las partículas de desgaste más grandes ($>20 \mu\text{m}$) [37] y las de menor tamaño ($20 \mu\text{m}<$) atraviesan el elemento filtrante y generan mayor desgaste por interponerse entre la película lubricante y las superficies rozantes, al agruparse entre sí y formar partículas de mayor tamaño al espesor de la película lubricante.

Otro de los aspectos que se ve mejorado en la empresa que utiliza filtros de aceite de alta gama al momento de realizar el mantenimiento de las unidades (vehículos) es la reducción del consumo de combustible en un porcentaje del 5.8 % aproximadamente (ver **anexo D**) del total consumido en un mes, siempre y cuando las condiciones de funcionamiento del motor se acerquen a la ideal, la

razón por la cual sucede esto es porque al existir menos partículas metálicas y no metálicas circulando por todas las galerías de lubricación del motor se reduce la fricción por lo tanto la temperatura de funcionamiento, todo esto se ve traducido en un menor consumo de combustible.

Continuamos enumerando los beneficios otro es la prolongación del periodo de cambio de aceite de 21 días a los 31 días sin ningún inconveniente, esto es posible gracias a que las propiedades del aceite como el TBN, viscosidad y Hollín se mantienen dentro de los rangos permitidos por los fabricantes de motores, además que las partículas de desgaste como el hierro, cromo, aluminio se mantienen dentro del rango normal. Al prolongar el periodo de cambio a más de aprovechar al máximo el aceite lubricante en cada unidad le permite ahorrar dinero en filtros de aceite, canecas, paradas de las unidades, etc. pues al tener menos cambios de aceite en todas las unidades no necesito la cantidad de recursos que antes requería cuando no se aprovechaba al máximo el recurso mencionado previamente. Inclusive con un monitoreo técnico de las variables más importantes de las cuales depende la vida útil del aceite lubricante como los filtros de aire, sistema de alimentación de combustible, etc. se puede prolongar el periodo de cambio del aceite hasta los 40 días aproximadamente (8500 Km).

Análisis Costo - Beneficio de Utilizar filtros de Alta Gama				
Periodo de cambio de aceite (días)	21	25	31	40
# Unidades (buses)	64	64	64	64
Vacaciones al año (días)	12	12	12	12
# Cambios de aceite al año	17	14	11	9
# Muestras de aceite analizadas	0	16	16	16
Costo por concepto de mantenimiento.				
Costo caneca de aceite (\$)	60	60	60	60
Costo filtros de aceite (\$)	8	8	55	55
Costo unitario por muestra	0	70	70	70
Costo vida útil motor (\$)	1667	1667	1250	1250
Costo total f. aceite anual (\$)	8704	7168	19360	15840
Costo anual del monitoreo	0	1120	1120	1120
Ahorro generado con el estudio.				
Ahorro f. aceite anual (\$)	0	1536	-10656	-7136
Ahorro caneca aceite anual (\$)	0	11520	23040	30720
Ahorro combustible anual (\$)	0	0	7680	7680
Ahorro vida útil motor (\$)	0	0	26667	26667
Beneficio total anual (\$)	0	11936	45611	56811

Tabla 5.4: Costo- beneficio de utilizar filtros de aceite de alta gama vs baja gama.
Fuente: Autores

En la **tabla 5.4** se puede evidenciar los recursos económicos que se están ahorrando solo extendiendo el periodo de cambio de los 21 a los 25 días sin la necesidad de tener filtros de aceite de alta gama, cuando se desee extender a los 31 días o a los 40 días se recomienda utilizar filtros de aceite de alta gama para evitar posibles fallos en el sistema de lubricación del motor de combustión

interna por el elevado desgaste que se pueda generar al interior del motor por la demasiada concentración en el aceite lubricante de hollín u otros contaminantes que puedan a travasar el filtro de aceite de baja gama debido a sus características constructivas y que terminen afectando al normal funcionamiento de dicho motor.

Los valores de la tabla 5.4 fueron obtenidos de la siguiente forma:

1. La empresa en la cual se realizó el presente proyecto de tesis cambiaba el aceite del motor a los 21 días normalmente, con el estudio lo extendimos a los 25 días a todas las unidades.
2. Con estos periodos de cambio de aceite calculamos cuantos cambios de aceite al año se realizaba por vehículo tomando en consideración 12 días de vacaciones es decir: $(365 - 12)/21 = 16,8 \approx 17$ cambios al año.
3. Considerando la prolongación a los 25 días y tomando en cuenta el mismo número de días de vacaciones al año tenemos: $(365 - 12)/25 = 14,12 \approx 14$ cambios al año.
4. Ahora restamos el resultado del número de cambios al año con el periodo de 21 días y 25 días: $17 - 14 = 3$ cambios menos por unidad.
5. A continuación multiplicamos los 3 cambios que se ahorra por unidad por el total de las unidades que existen en la empresa prolongando el cambio de aceite a los 25 días: $3 * 64 = 192$ cambios de aceite menos en toda la empresa por año.
6. Tenemos 192 cambios de aceite menos por año por lo tanto vamos a ahorrarnos 192 canecas de aceite y 192 filtros de aceite.
7. Tomando en consideración que en promedio una caneca de aceite cuesta 60 dólares el ahorro en canecas será: $192 * 60 = 11520$ dólares de ahorro solo por concepto de canecas de aceite.
8. Ahora si calculamos el ahorro de filtros de aceite considerando que dicho elemento tiene un valor promedio de 8 dólares: $192 * 8 = 1536$ dólares.
9. A continuación consideramos el costo del monitoreo de aceite que en promedio una muestra de aceite analizada cuesta 70 dólares por las 16 que realizamos: $70 * 16 = 1120$ dólares.
10. Por ultimo sumamos el ahorro logrado por concepto de canecas y filtros de aceite al prolongar el periodo de cambio de aceite de los 21 días a los 25 días y restamos el costo del monitoreo de aceite para tener el ahorro real al final del año: $11520 + 1536 = 13056 - 1120 = \mathbf{11936}$ dólares de ahorro por año para la empresa.

Nota: El mismo procedimiento lo aplicamos para calcular el ahorro real anual extendiendo el periodo de cambio del aceite a los 31 días, 40 días pero tomando

en cuenta que dicha prolongación se la tiene que realizar con filtros de alta gama, entonces tendremos que considerar los costos que se tienen que cubrir y los beneficios a largo plazo que se derivan al utilizar esta clase de filtros de aceite.

5.6. Conclusiones.

- Es necesario tener en cuenta que el análisis de laboratorio de las muestras de aceite usado por sí solo no es suficiente para determinar la causa de una falla, sino que también se deben considerar las condiciones y el entorno de operación bajo las cuales funciona el mecanismo analizado. El análisis de aceite usado es un método de mantenimiento predictivo muy interesante, su implementación dentro de una empresa de mantenimiento vehicular al principio requiere de una mediana inversión que después de algunos meses se pague por sí sola por los beneficios que trae consigo, como el incremento de la vida útil del motor, lubricante y ahorro de combustible, ya que nos ayudara a determinar el momento adecuado para realizar una u otra actividad de mantenimiento en el vehículo de acuerdo a los resultados del análisis de la muestra de aceite usado, este método se puede complementar con otros métodos como la termografía y análisis de vibraciones cuando se desea generar un plan de mantenimiento completo por ejemplo para una flota de buses.
- El incremento de variables como el hollín, cantidad de hierro y cromo en un resultado de análisis de muestra de aceite usado se generan por múltiples factores, uno de ellos es la saturación de los filtros de aire y para corregir este problema lo más sencillo es revisar íntegramente los ductos de admisión y reemplazar los filtros de aire por unos nuevos. En la mayoría de los casos el problema se logra resolver de esta forma, pero en casos excepcionales se tendrá que proseguir a revisar la calibración de las válvulas (árbol de levas sin desgaste), inyectores y bomba de inyección; que son los elementos que contribuirán al incremento de las variables mencionadas previamente si se encuentran en mal estado. Mientras mayor cantidad de hollín se genera en el interior de la cámara de combustión mayor desgaste prematuro sufrirá el motor, ya que el aceite lubricante quedara retenido sobre la materia carbonosa por un cierto tiempo y permitirá el contacto inter metálico en especial en el PMS (punto muerto superior) de la camisa-segmen-to-pistón.
- Al utilizar filtros de aceite de baja gama se tendrá mayor desgaste prematuro del motor porque la capacidad de retención de las partículas por parte del elemento filtrante es limitada (20 a 40 μ m) y las partículas que tengan un diámetro inferior a 20 μ m pasaran a través de dicho filtro generando mayor desgaste al acumularse internamente. Un filtro de aceite de alta gama es 40% más eficiente que uno de baja calidad, retiene partículas de 2 μ m en adelante, de manera que mantiene en mejores condiciones el aceite lubricante y disminuye el desgaste del motor, permite el ahorro de combustible, entre otros por lo tanto los beneficios económicos son muchos en comparación que cuando se utiliza filtros de baja gama.

Bibliografía

- [1] CROUSE, William. *Sistemas de alimentación de combustibles, lubricación y refrigeración del automóvil*. Editorial Marcombo, Barcelona-España, 1978.
- [2] CROUSE, William. *Motores de automóvil*. Editorial Marcombo, Barcelona-España, 1976.
- [3] MILLARES, Juan. *Motor diésel, sistemas complementarios e instalaciones*. 2^{da}. Edición, Editorial Ceac, Barcelona-España, 1985.
- [4] ASTUDILLO, Manuel. *Tecnología del automóvil*. Editorial Paraninfo, Madrid-España, 2010.
- [5] ALONSO, José. *Técnicas del automóvil motores*. 11^{va}. Edición, Editorial Paraninfo, Madrid-España, 2009.
- [6] TORMOS, Bernardo. *Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado*. Editorial Reverté, Barcelona-España, 2005.
- [7] ALBARRACÍN, Pedro. *Tribología y lubricación industrial y automotriz*. 2^{da}. Edición, Medellín-Colombia, 2000.
- [8] BRADY, Robert. *Manual moderno de tecnología diesel*. Tomo I, Editorial Prentice-Hall, México, 1996.
- [9] BRADY, Robert. *Manual moderno de tecnología diesel*. Tomo II, Editorial Prentice-Hall, México, 1996.
- [10] BENLLOCH, José *Lubricantes y lubricación aplicada*. 2^{da}. Edición, Editorial CEAC, Barcelona-España, 1985.
- [11] V, Pedro.; ATARES, Arnal.; LAGUNA, Antonio. *Tractores y motores agrícolas*. 3^{da}. Edición, Editorial Mundi-Prensa, Madrid-España, 2005.
- [12] BARNES, M. *Water: the forgotten contaminant. Practicing Oil Analysis Magazine*. 2001
- [13] MORÁN, R. *Origen, efectos y tratamientos de las contaminaciones de lubricantes y combustibles en motores marinos de combustión interna*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 1997.
- [14] MCGEEHAN, J. A.; ALEXANDER, W.; ZIEMER, J. N.; ROBY, S. H.; GRAHAM, J. P. *The pivotal role of crankcase oil in preventing soot wear and extended filter life in low emission diesel engines*. Proc. Tribology Colloquium 2000.

- [15] SCHRAML, S.; WILL, S.; LEIPERTZ, A. *Simultaneous measurement of soot mass concentration and primary particle size in the exhaust of a DI diesel engine by time-resolved laser-induced incandescence (TIRE-LIII)*. SAE Paper 1999-01-0146, 1999.
- [16] ZHU, J.; LEE K, O.; SEKAR, R.; CHOI M, Y. *Morphological study of the particulate matter from a light-duty diesel engine*. Proceedings of the third joint meeting of the U.S., Sections of the combustion institute, 2003.
- [17] GÓMEZ ESTRADA, Yesid Antonio. *Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCIA a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)*. Director: Bernardo Tormos Martínez. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de València, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, València-España, 2013.
- [18] Slideshare. *Automoción, Sistemas de lubricación* [Online]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/gonguibri/sistemas-de-lubricacin>, (tomado el 09/04/2014).
- [19] Aficionados a la Mecánica. *Engrase del motor* [Online]. Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/engrase-motor.htm>, (tomado el 25/04/2014).
- [20] SlidePlayer. *Sistema de lubricación* [Online]. Disponible en: <http://slideplayer.es/slide/1031074/>, (tomado el 16/06/2014).
- [21] Yerson. *Motores Diesel* [Online]. Disponible en: <http://yerson-motoresdiesel.blogspot.com/>, (tomado el 16/06/2014).
- [22] Maquinarias pesadas. *Material-filtros-motor-maquinaria-pesada-komatsu.pdf* [Online]. Disponible en: <https://docs.google.com/file/d/0B1WvXuSVyhHqMkNndjN2RjFsRU0/edit?pli=1>, (tomado el 22/04/2014).
- [23] Máquinas de Barcos. *Información sobre mantenimiento de máquinas* [Online]. Disponible en: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2011/02/centrifugas-de-aceite-la-importancia-de.html>, (tomado el 05/05/2014).
- [24] Schroeder Industries. *Element Technology* [Online]. Disponible en: <http://www.schroederindustries.com/Products/ElementTechnology/default.aspx>, (tomado el 16/06/2014).
- [25] AUTOMOTRIZ. *Conocimientos basicos parte 4* [Online]. Disponible en: <http://www.automotriz.net/cms/tecnica/conocimientos-basicos-parte-4/>, (tomado el 16/06/2014).
- [26] Riunet.upv.es. *Caracterización del proceso de formación de hollín en un llama de difusión diesel de baja temperatura* [Online]. Disponible en: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/6161/tesisUPV3085.pdf?sequence=1>, (tomado el 25/04/2014).

- [27] Abrahamhnos. *Lubricación de motores diésel, áreas críticas* [Online]. Disponible en: http://www.abrahamhnos.com/pdf_capacitacion/2-Areas_Criticas_Motor.pdf, (tomado el 25/04/2014).
- [28] QuimiNet. *La espectrometría de absorción atómica* [Online]. Disponible en: <http://www.quiminet.com/articulos/la-espectrometria-de-absorcion-atmica-31648.htm>, (tomado el 15/04/2014).
- [29] Callegranvia. *Microscopio metalográfico olympus* [Online]. Disponible en: <http://www.callegranvia.com/maquinas/medicollaboratorio/microscopios/microscopio-metalografico-olympus-bx-41/>, (tomado el 06/05/2014).
- [30] transporteLATINO. *Filtros donaldson, mejoran la vida útil del motor* [Online]. Disponible en: <http://www.transportelatino.net/2012/02/03/filtros-donaldson-mejoran-la-vida-util-de-su-motor/>, (tomado el 02/07/2014).
- [31] IES Marítimo. *Hidráulica, viscosidad* [Online]. Disponible en: <http://www.iesmaritimopesquerolp.org/asignaturas/HIDRAULICA/ESCALAS%20DE%20VISCOSIDAD.pdf>, (tomado el 08/07/2014).
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). *Productos derivados del petróleo. Diésel, requisitos* [Online]. Disponible en: <http://www.normalizacion.gob.ec/>, (tomado el 07/03/2014).
- [33] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Análisis de la reducción del azufre en el combustible diésel* [Online]. Disponible en: http://www.cepal.org/mexico/noticias/documentosdetrabajo/5/48395/2012-037_An%C3%A1lisis_reduc_azufre-L.1083-web.pdf, (tomado el 15/07/2014).
- [34] DONALDSON, filtration solutions. *Principios básicos sobre filtración* [Online]. Disponible en: <http://www.positive4pl.com/descargas/donaldson/PRINCIPIOS%20BASICOS%20SOBRE%20FILTRACION.pdf>, (tomado el 11/07/2014).
- [35] WIDMAN, International SRL. *Eficiencia de filtros y su nomenclatura* [Online]. Disponible en: <http://www.widman.biz/Productos/eficiencia.html>, (tomado el 11/07/2014).
- [36] DIRECT INDUSTRY, el salón online de la industria. *Engine liquid filtration* [Online]. Disponible en: <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/donaldson/engine-liquid-filtration/6182-257863.html>, (tomado el 11/07/2014).
- [37] LYS, filtros. *ABC de la filtración* [Online]. Disponible en: <http://www.filtroslys.com.pe/content/pagina.php?PID=493>, (tomado el 14/07/2014).
- [38] KN, filtros. *Filtros de aceite performance gold* [Online]. Disponible en: <http://www.knfiltros.com.mx/oilfilter.htm>, (tomado el 14/07/2014).

- [39] FILTROS DEL LITORAL, calidad, servicio y garantía total. *Filtros para aceite sintético* [Online]. Disponible en: http://filtrosdelitoral.com/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=79, (tomado el 14/07/2014).
- [40] BOSCH. *Auto parts* [Online]. Disponible en: <http://www.boschautoparts.com/m/Pages/PremiumOilFilters.aspx>, (tomado el 14/07/2014).
- [41] WIX, filters. *Filtros de aceite* [Online]. Disponible en: http://www.wixfilters.com.ve/generales_filtros_aceite.html, (tomado el 15/07/2014).
- [42] LUBRI-K, baterías, lubricantes y filtros. *Diagnostico de filtros con centros colapsados* [Online]. Disponible en: <http://darkzone.ar.tripod.com/problemas.htm>, (tomado el 15/07/2014).
- [43] WIDMAN, Richard. *El secreto del filtro de aire* [Online]. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/w70.pdf>, (tomado el 15/07/2014).
- [44] WIDMAN Internacional, WIDMAN, Richard. *Cual es la vida útil del filtro de aceite* [Online]. Disponible en: <http://widman.biz/boletines/69.html>, (tomado el 15/07/2014).

Anexo A

Imágenes de los papeles filtrantes obtenidas con la ayuda del microscopio.

En este apartado esta dedicado a las imágenes que fueron obtenidas por los autores al analizar los elementos filtrantes de los filtros en el microscopio, estas imágenes nos muestran las diferencias existentes entre dichos filtros en cuanto a composición y a proporción, debido a que los elementos filtrantes son diferentes unos mas compactos que otros es necesario graduar el microscopio a las diferentes escalas que posee 5x, 10X, 20X, 50X y 100X respectivamente con el fin de tener una mejor apreciación de la estructuras de dichos elementos.

las imágenes aquí dispuestas fueron tomadas de 4 diferentes filtros de aceite, se los ha categorizado de acuerdo a su afinidad con respecto a las unidades (buses) tomadas para el muestreo donde; A representa al filtro de baja gama y B al filtro de alta gama que fueron usados en la unidad 29, mientras que C es para el filtro de baja gama y D para el de alta gama usados en la unidad 64; el papel del elemento filtrante es de un color amarillo entre claro y opaco que a la hora de analizarlo bajo el microscopio este color no permite visualizar adecuadamente las fibras y la forma en la cual están dispuestas por este motivo se recurrió a teñir el papel filtrante con colorantes industriales, de entre los cuales se usaron el azul de metileno y la fioxina de estos el que nos dio mejor resultado en el momento de analizar la imagen resultante de la muestra fue el primero ya que tiene una tonalidad mas fuerte que la fioxina y permite observar con mayor claridad los detalles de la estructura del filtro.

La vista de la sección transversal o espesor del elemento filtrante nos ayuda a tener una percepción mas clara de la disposición transversal de las fibras y de su proporción; en primera instancia realizaremos un análisis descriptivo de los filtros usados en la unidad 29 de los cuales el filtro A sin duda alguna posee un menor espesor lo cual le proporciona una capacidad de retención mas baja al tener un numero menor de fibras que el B esto es evidente en el detalle inferior izquierdo de la imagen a de la **figura A.1** donde se pueden ver los grandes espacios que hay entre las fibras esto debido a la rareza de las fibras en la estructura del elemento filtrante, mientras que en el detalle inferior izquierdo de B se observa

que las fibras son mas compactas con lo cual el espacio entre las fibras es menor brindándole la capacidad para retener un mayor numero de partículas y de un menor tamaño, esto acompañado de un mayor espesor que A le otorgan al filtro una mayor eficiencia de filtrado y una vida mas larga ya que su periodo de colmatación se extenderá. El filtro C usado en la unidad 64 es mas eficiente que el A al tener un mayor espesor y ser mas compacto y a la vez este es menos eficiente que el D usado en esta misma unidad ya que es mas compacto que C.

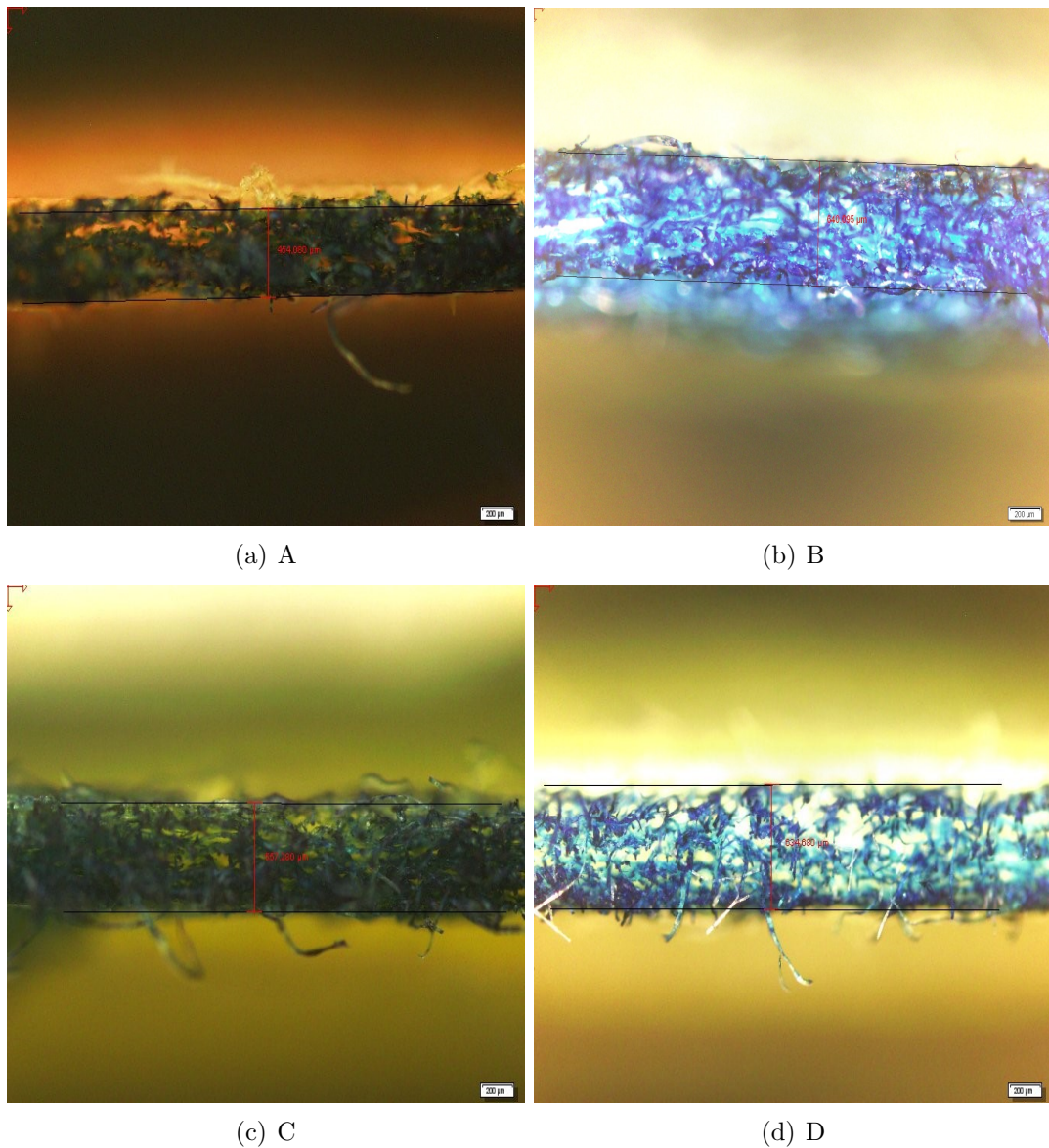


Figura A.1: Sección transversal de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.

En la **figura A.2** se pueden ver las imágenes de los cuatro filtros bajo el microscopio con un aumento de 5X, bajo esta graduación no son apreciables detalladamente el elemento filtrante salvo en los detalles inferiores izquierdos donde los espacios entre las fibras o poros mas grandes se los puede diferenciar gracias al color oscuro que los distingue, a lo largo de toda la superficie analizada. Vale recalcar que en la imagen D se distinguen unos grandes poros, esto se generaron como consecuencia de seccionar al elemento filtrante por la mita con el fin de

poder observar con mayor facilidad las fibras que lo constituyen ya que en la superficie exterior del mismo no se podía distinguir su estructura por ser muy compacto, ver **figura A.3**

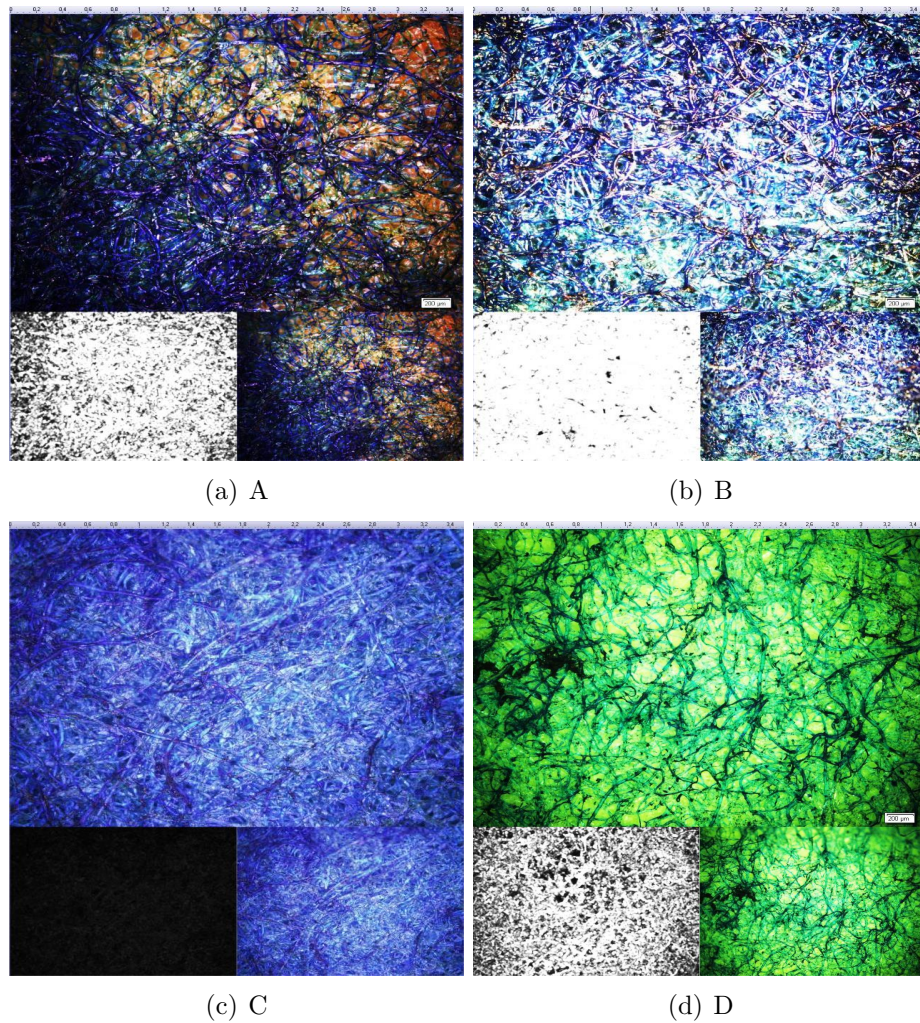


Figura A.2: Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 5X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.

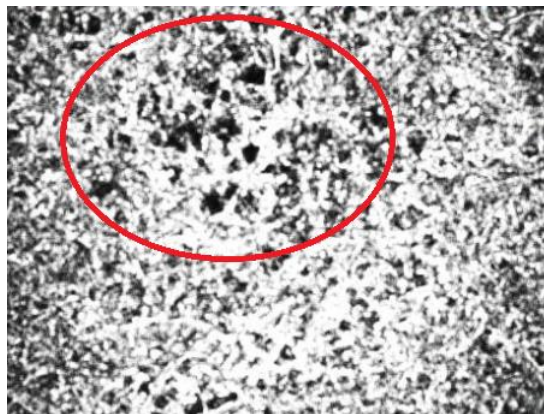


Figura A.3: Muestra del elemento filtrante seccionado.

En la **figura A.4** se ven las imágenes producto del análisis en el microscopio con un aumento de 10X respectivamente, al igual que en la figura anterior no se pueden apreciar con gran detalle las particularidades de los elementos filtrantes, lo que si se distingue a simples rasgos y con un poco más de detalle son las fibras formando un entretejido aleatorio.

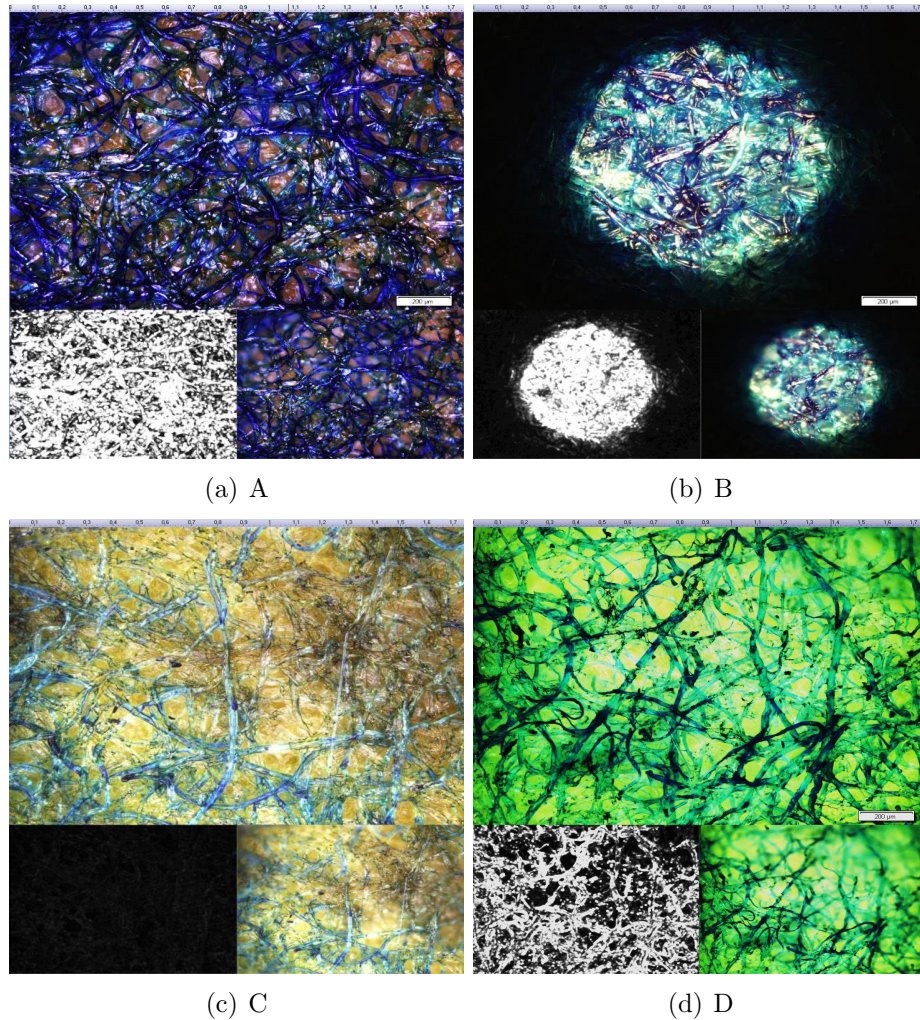


Figura A.4: Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 10X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.

Un aumento de 20X en el microscopio nos permite tener una visión más detallada de las fibras y la forma en la cual están dispuestas que como ya se mencionó antes es aleatorio no siguen un patrón determinado para ello ver **figura A.5**. Por medio de esta distribución aleatoria se consigue una red intrincada donde los espacios o agujeros existentes entre fibra y fibra son grandes permitiendo el paso de partículas relativamente grandes, es aquí donde el patrón desorganizado con el cual se aglomeran las fibras tiene su validez introduciendo otras fibras por debajo o entre las ya existentes (**figura A.6**) haciendo que el área total del agujero se reduzca drásticamente permitiendo la retención de partículas más pequeñas, en determinado caso de que las partículas de un determinado tamaño superan la superficie externa la gran mayoría de estas quedarán atrapadas en las fibras internas

del papel filtrante.

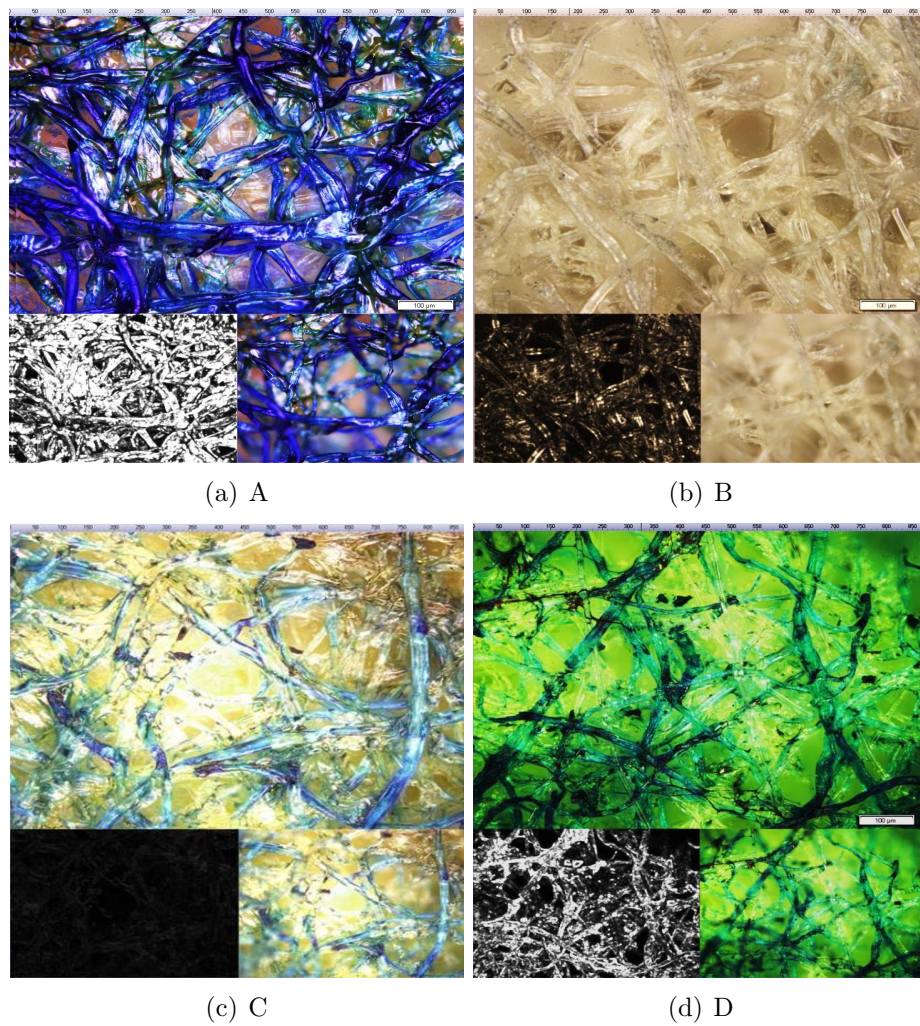


Figura A.5: Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 20X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.

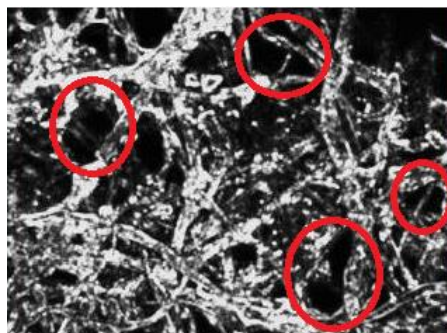


Figura A.6: Dimensión de los espacios entre fibras en función de la distribución de las mismas.

Para el estudio del papel filtrante se trabaja muy bien con el aumento de 20X, un aumento a 50X nos sirve para ver a determinadas fibras detalladamente tal

y como se puede ver en la **figura A.7**, sin embargo la resolución que brinda el microscopio a 50X no es la adecuada dificultando el análisis de la estructura del material, entonces para poder rescatar la imagen se le realizo a la muestra un proceso por capas (este proceso es una herramienta del microscopio que permite obtener una perspectiva de la muestras alejando y acercando la muestra con respecto al lente) dándonos una imagen a blanco y negro mas legible de las fibras y de los espacios entre estas.

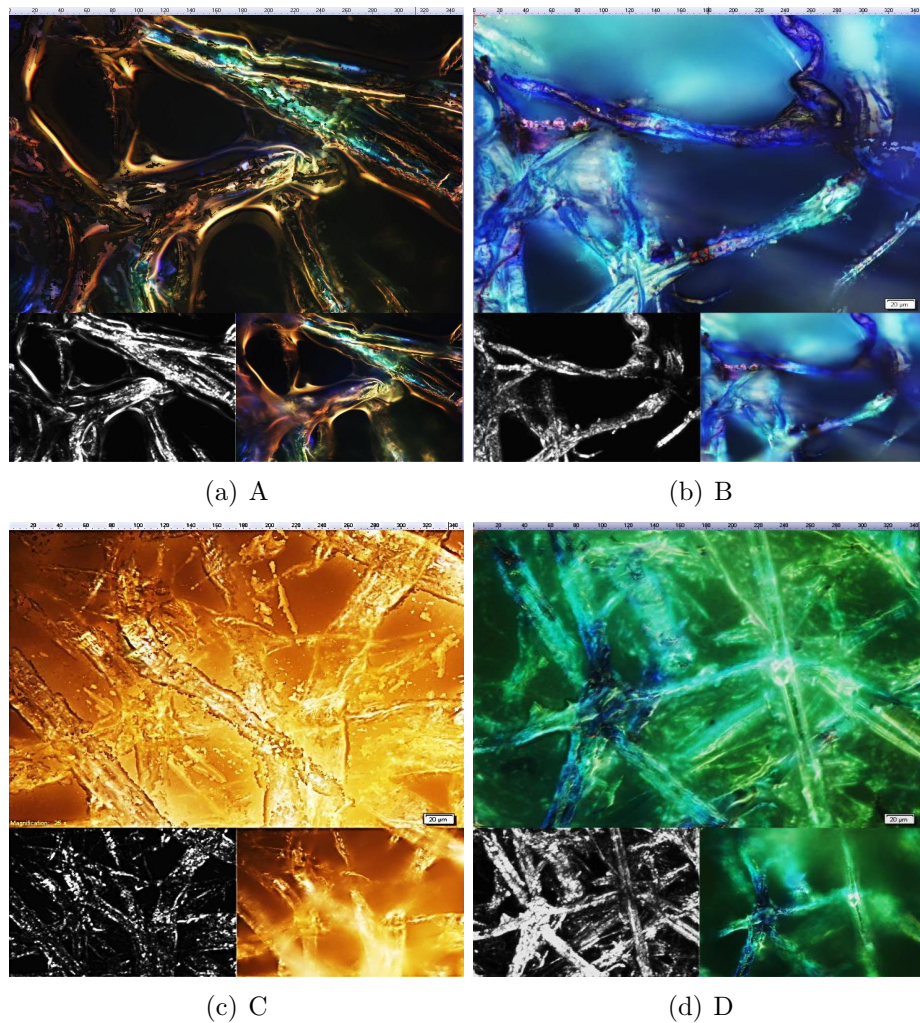


Figura A.7: Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 50X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.

Un aumento de 100X del microscopio no es viable para el análisis de elementos filtrantes ya que la imagen obtenida resulta muy distorsionada y no puede verse la forma real de la fibra dando paso a malas interpretaciones además de lo complicado que resulta enfocar el lente en un parte específica de la muestra para que esta salga medianamente buena, fuera de esto solo podemos ver una sección muy pequeña de una determinada fibra tal y como se ve en le **figura A.8**. Tal es el grado de dificultad que para el elemento filtrante C no se puede obtener una buena imagen.

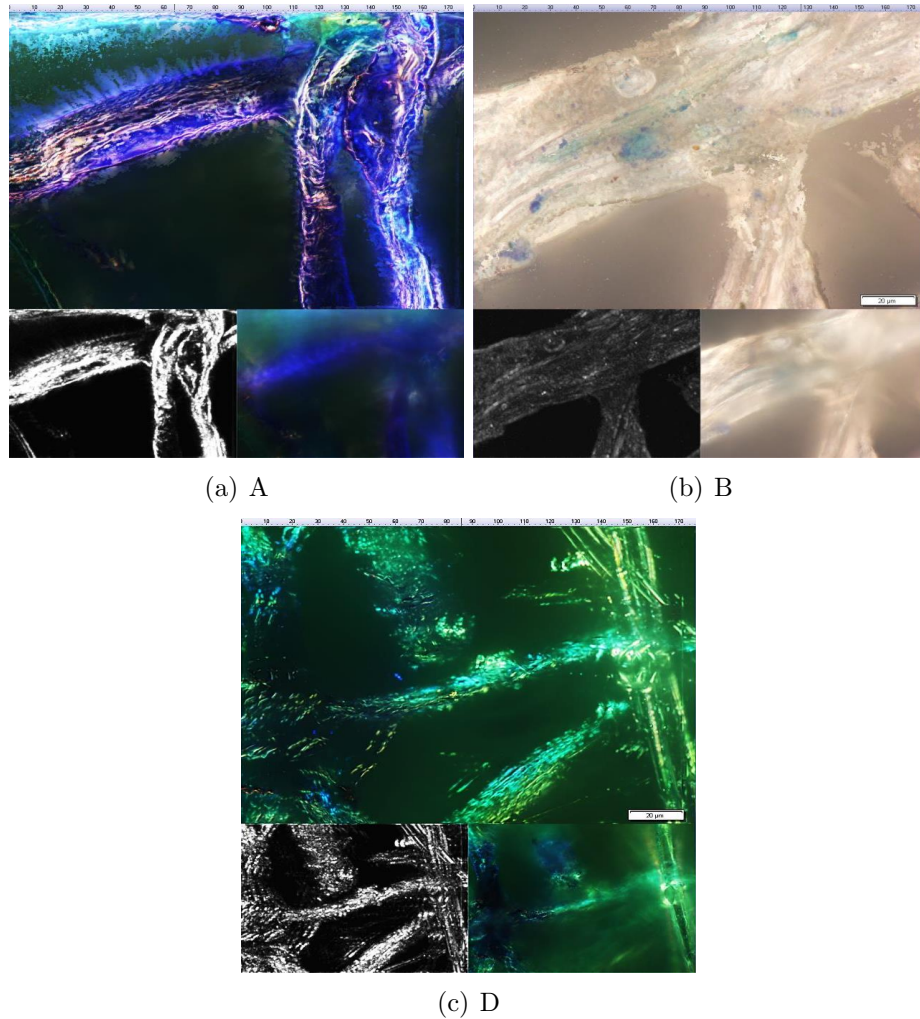


Figura A.8: Visión frontal del papel filtrante con un aumento de 100X en el microscopio de los cuatro filtros objeto de nuestro estudio.

En la **figura A.9** se muestran unas imágenes donde se evidencia los contaminantes retenidos por el elemento filtrante entre los cuales están partículas metálicas, no metálicas y lodos, estas imágenes se obtuvieron con un aumento de 10X en el microscopio, cabe recalcar que todas las imágenes desde A hasta D fueron adquiridas de un mismo filtro en diversas zonas de la superficie del papel filtrante.

Como pudo verse en la figura anterior existía una gran cantidad de partículas y depósitos retenidos en el papel filtrante y de tamaños considerables, este incremento inusual de depósitos se debe a una anomalía que surgió en el motor del vehículo estudiado, esto ocurrió por el uso del árbol de levas soldado tal como ya se menciona anteriormente en el capítulo 5, tal y como se puede ver este problema no solo repercutió en el funcionamiento del motor (potencia, torque) si no que generó una cadena de problemas abarcando al sistema de lubricación (filtro de aceite), y para tener una noción de la gravedad del desgaste generado por este problema se procedió a realizar las mediciones de las partículas encontradas, desde la **figura A.10** hasta la **A.13**, se muestran los depósitos encontrados en el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama.

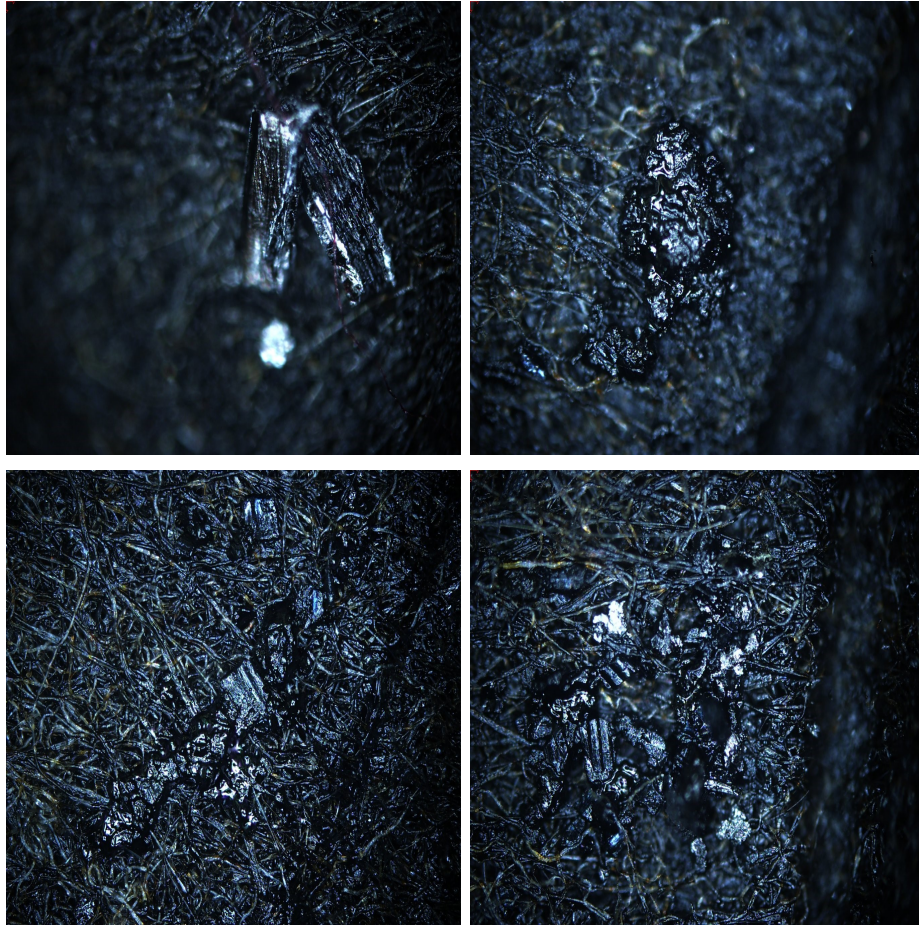


Figura A.9: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite usado.

Desde la **figura A.14** hasta la **A.17** se muestran los depósitos encontrados en el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama.

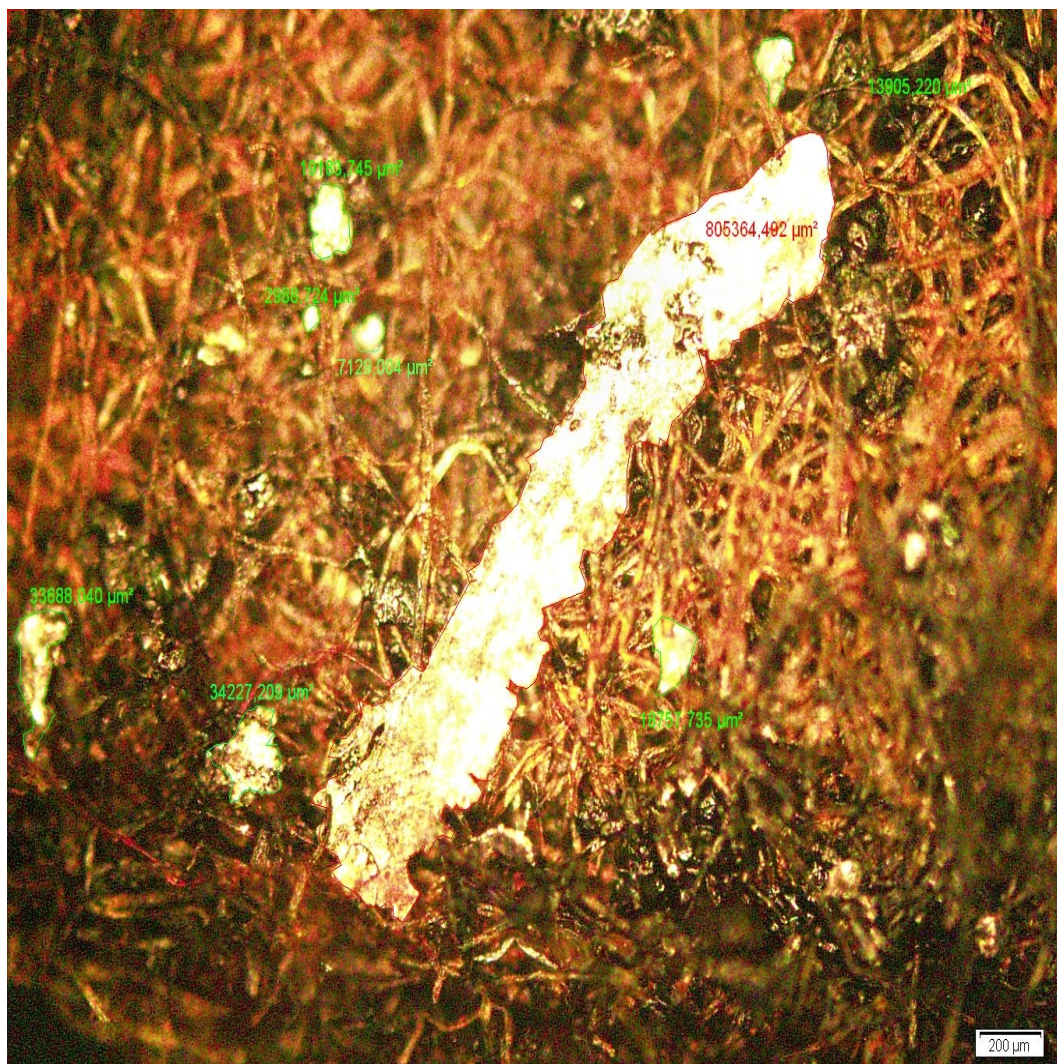


Figura A.10: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.



Figura A.11: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.

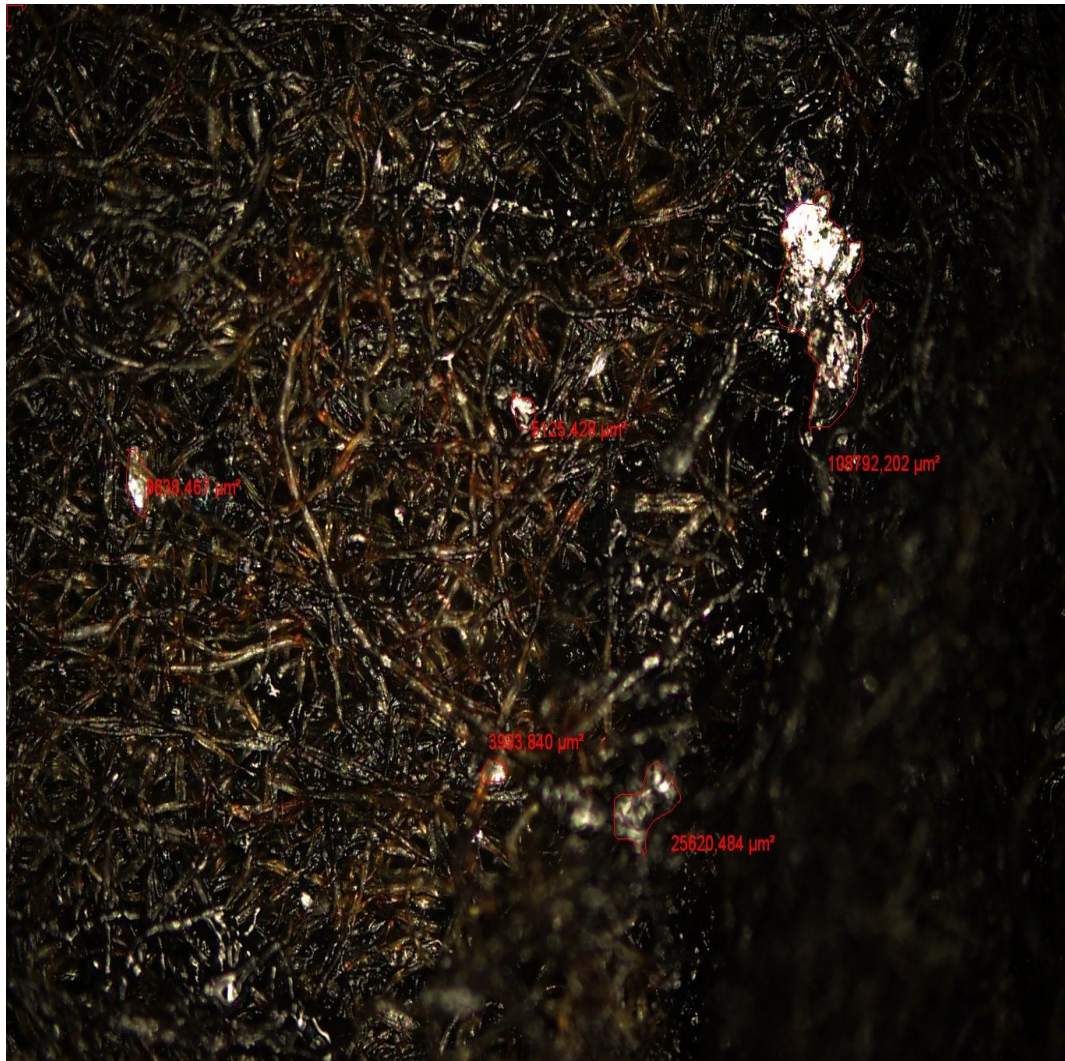


Figura A.12: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.

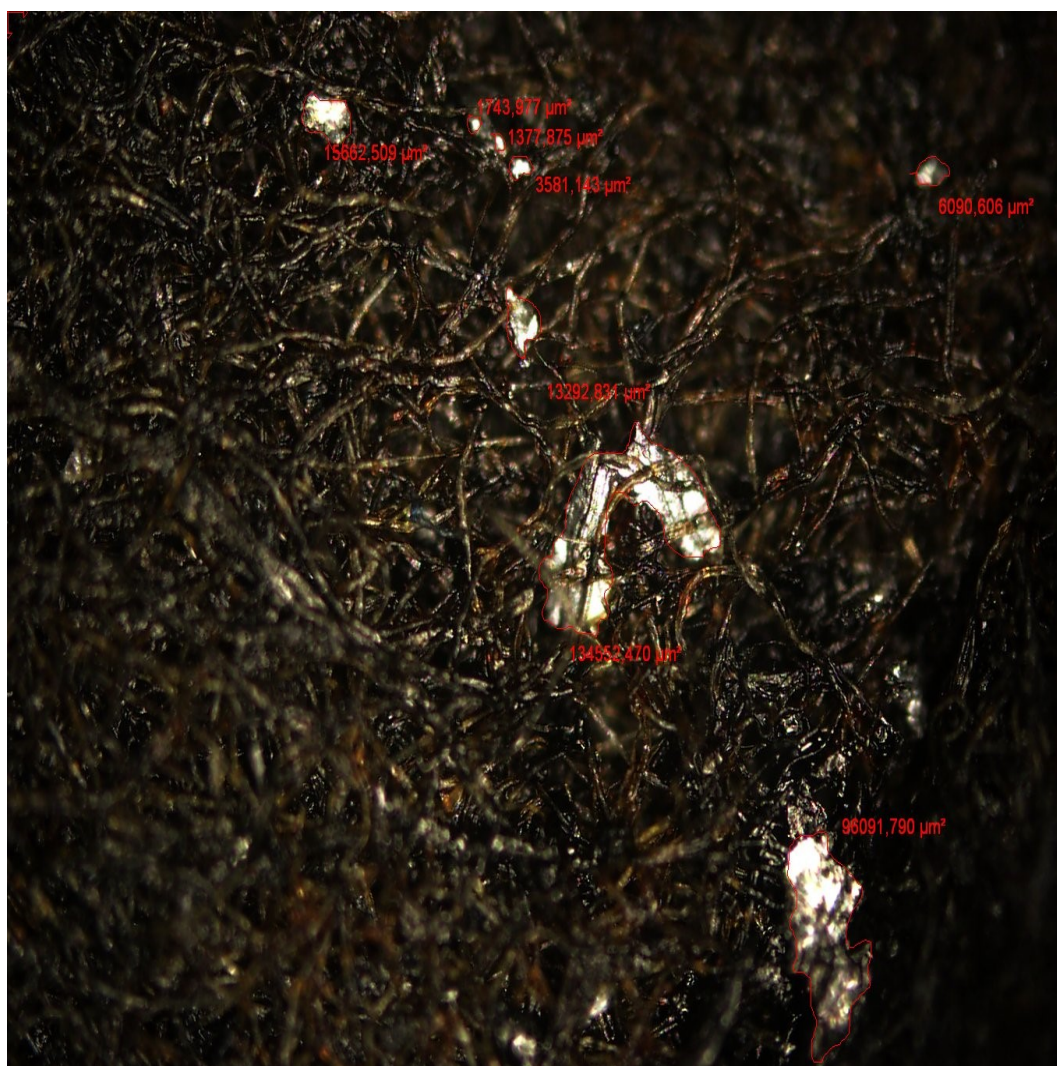


Figura A.13: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de baja gama usado.

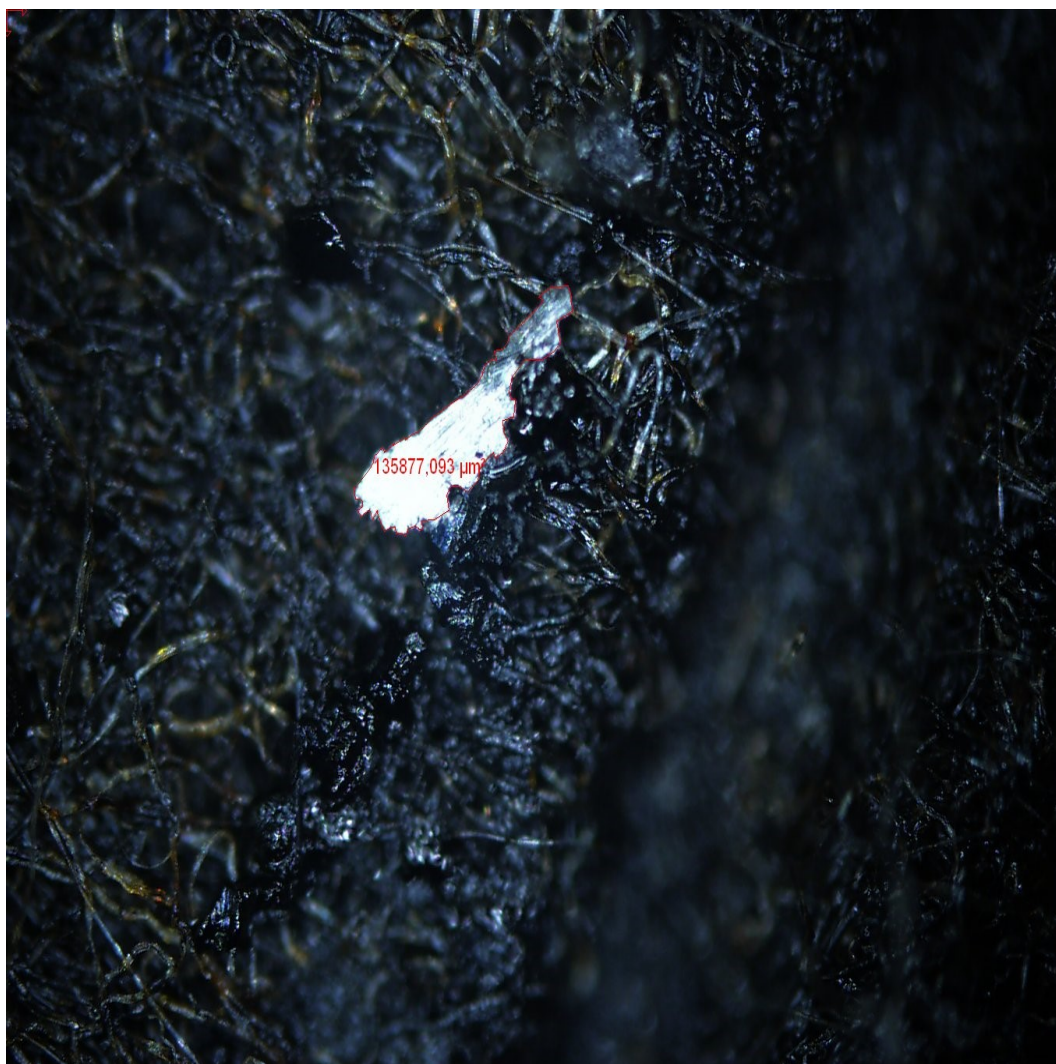


Figura A.14: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.



Figura A.15: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.

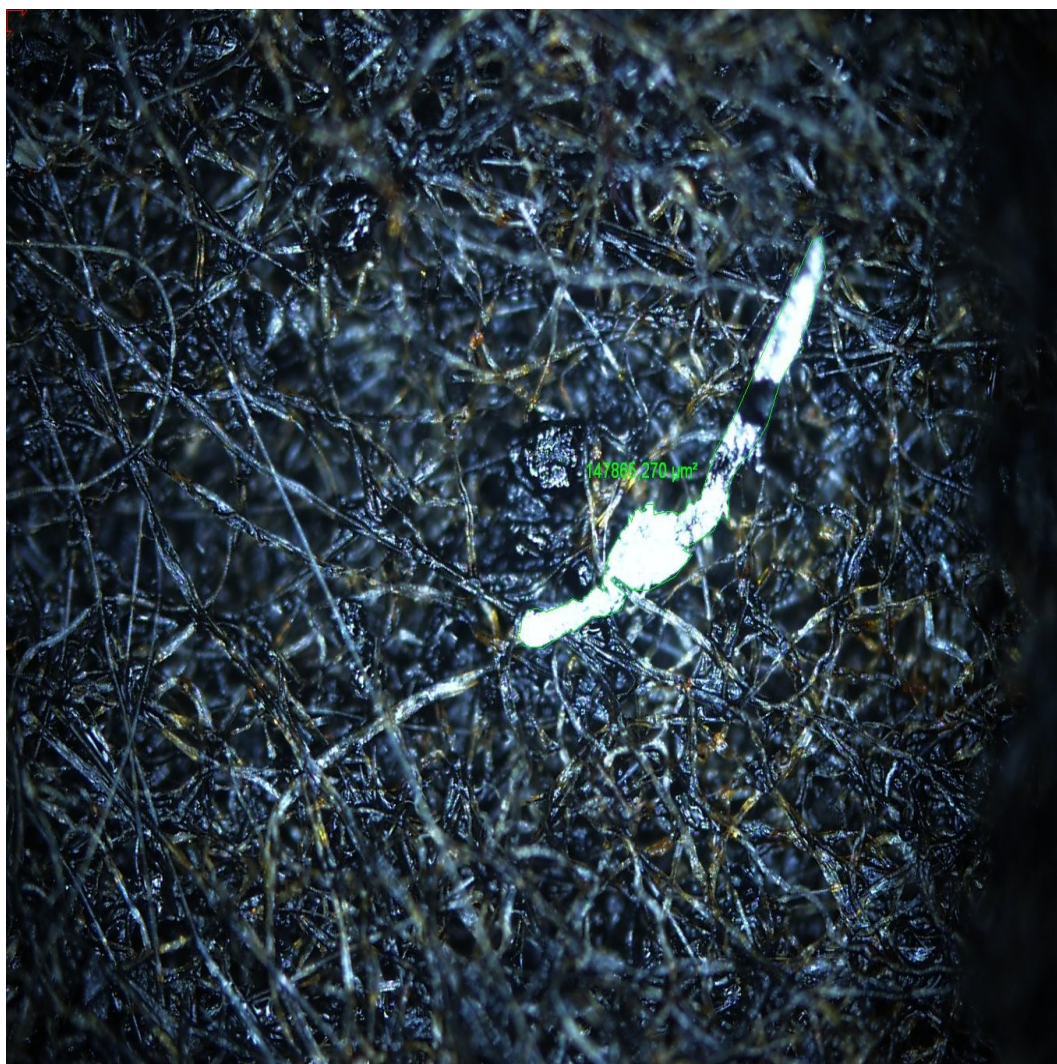


Figura A.16: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.

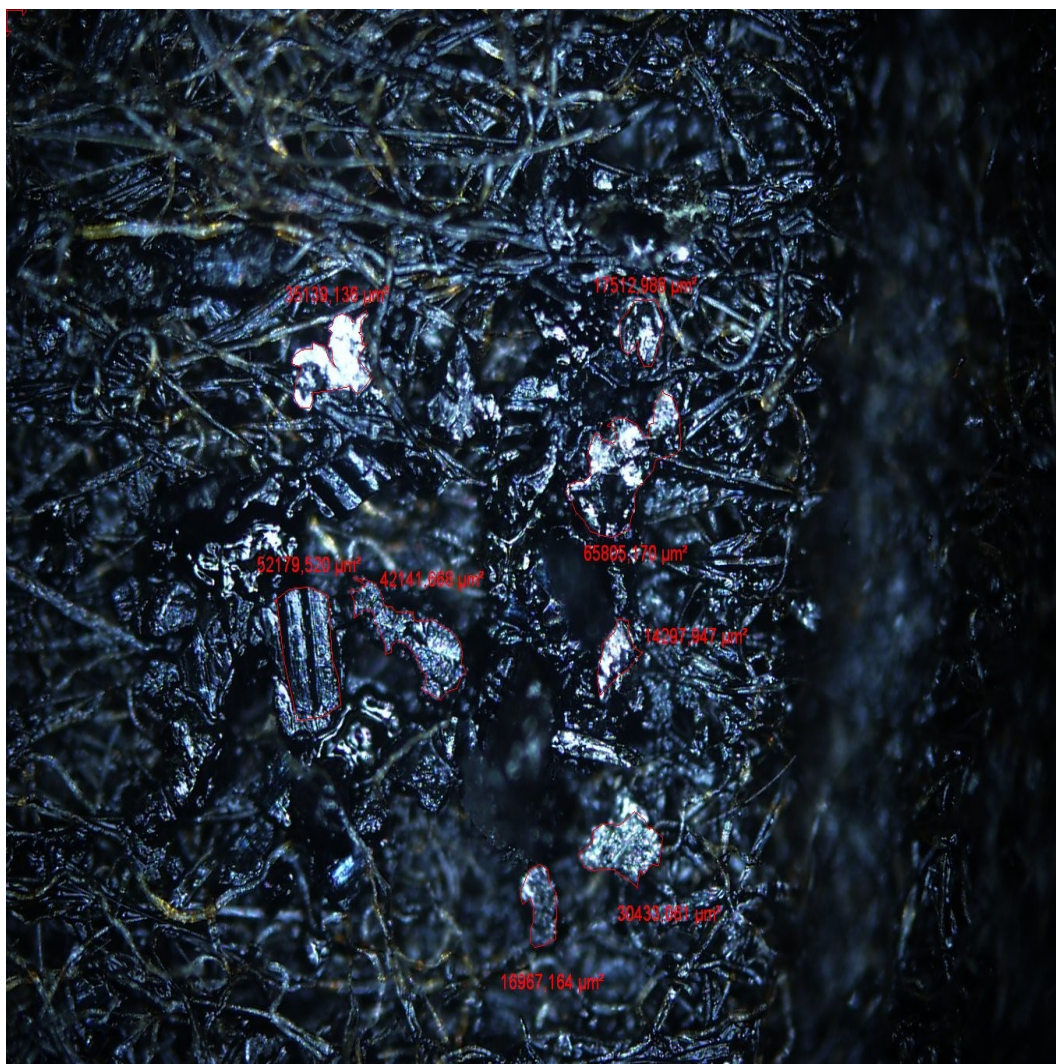
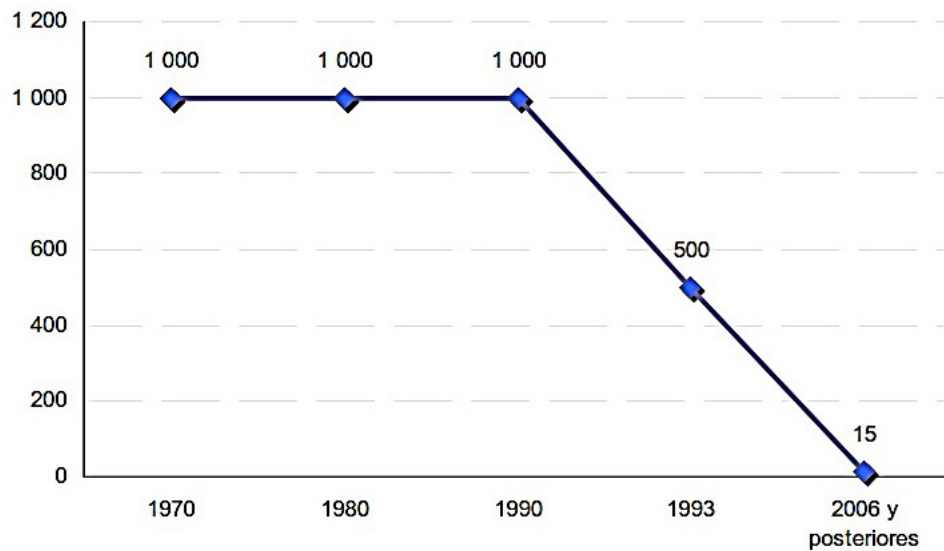


Figura A.17: Presencia de depositos metalicos y no metalicos sobre el papel filtrante de un filtro de aceite de alta gama usado.

Anexo B

Evolución del contenido de azufre del combustible diésel para uso automotriz.



Fuente: US Environmental Protection Agency, Emission Standard for Heavy Duty Engine.

Figura B.1: Evolución del contenido de azufre del combustible diésel para uso automotriz, 1970 - 2006.

Fuente: [33]

Anexo C

Tabla de valores limite condenatorio de un aceite lubricante en función de los parámetros de desgaste del motor y sus propiedades (físico-químicas).

Elemento	Media Aritmética	Desviación Estándar	V. Limite Autores (ppm)	V. Limite Fabricante (ppm)
Cobre (Cu)				
Hierro (Fe)	35	6	47	50
Cromo (Cr)	3	2	7	5
Aluminio (Al)	5	1	7	10
Plomo (Pb)				
Estaño (Sn)				
Silicio (Si)	7	2	10	10
Sodio (Na)	4	1	6	8
Potasio (K)				
Molibdeno (Mo)				
Niquel (Ni)				
Vanadio (V)				
Calcio (Ca)	3590	226	4042	4309
Manganeso (Mg)				54,4
Zinc (Zn)	1384	67	1519	1253
Fosforo (P)	1224	93	1411	1097

Tabla C.1: Materiales presentes en una muestra de aceite de acuerdo a su origen.
Fuente: Autores

Elemento	Media Aritmética	Desviación Estándar	V. Limite Autores	V. Limite Fabricante
TBN	9	2	7	6
Viscosidad 100	14	1	13	11,47
Oxidación				25
Nitración				25
Hollín	82	7	96	

Tabla C.2: Propiedades del aceite en una muestra de aceite de acuerdo a su origen.
Fuente: Autores

La tabla de los valores límites condenatorios tanto de las partículas metálicas (Fe, Cr, Al, etc.), no metálicas (Si, Na, Ca, P, etc.) y las condiciones físico químicas (TBN, V100, ST) del aceite fueron calculados a través de la media aritmética de los resultados y sumar a dicha cifra 2 desviaciones estándares cuando se trata de partículas metálicas y no metálicas, en el caso del TBN y la viscosidad se restaron a la media aritmética 2 desviaciones estándar estos valores son aproximados al real.

Fue posible sacar la media aritmética y la desviación estándar de cada uno de los componentes porque se tuvo cuantificado los resultados que se derivaron del análisis de las muestra de aceite en el laboratorio tomadas en los diferentes periodos de cambio del mismo; dichos resultados se encuentran expuestos en el Capítulo 5. Paralelamente a los valores límites calculados por los autores de la tesis se tiene los valores límites especificados por los principales fabricantes de motores a nivel internacional, que si se comparan entre los dos no difieren en un rango significativo más bien en la gran mayoría coinciden y los demás valores se aproximan a los del fabricante.

Anexo D

Ahorro de combustible por la utilización de filtros de alta gama.

Promedio recorrido mensual (km)	Galones diésel	Ahorro de Combustible Unidad 29.						
		Hierro (Fe)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
6600	520	25	538,98					
6600	446			462,92				
6600	510	23			529,29			
6600	543	61				563,46		
6600	605	65					627,60	
6600	522	36						541,08

Ahorro Monetario Neto mensual Uso FAG (\$)	64,13
--------------------------------------------	-------

Tabla D.1: Ahorro de combustible (diésel) en la unidad 29 con la utilización de filtros de alta gama.

Fuente: Autores

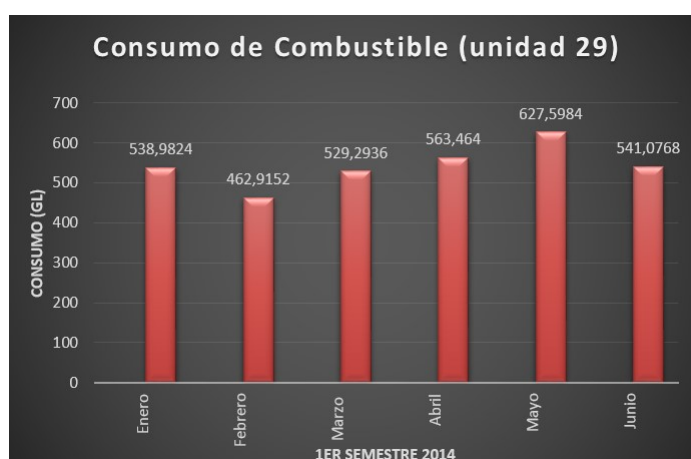


Figura D.1: Gráfica del consumo de combustible de la unidad 29 en el último semestre (Enero-Junio del 2014).

Fuente: Autores

Promedio recorrido mensual (km)	Cantidad galones diésel	Ahorro de Combustible Unidad 64 - Mercedes 12000cc.						
		Hierro (Fe)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
6600	507,14		525,91					
6600	534,28			554,05				
6600	457,32				474,24			
6600	674,09	58				699,03		
6600	610,09	40					632,67	
6600	576,83	36						598,17

Ahorro Monetario Neto mensual Uso FAG (\$)	34,50	5,8%
---------------------------------------------------	-------	------

Tabla D.2: Ahorro de combustible (diésel) en la unidad 64 con la utilización de filtros de alta gama.

Fuente: Autores

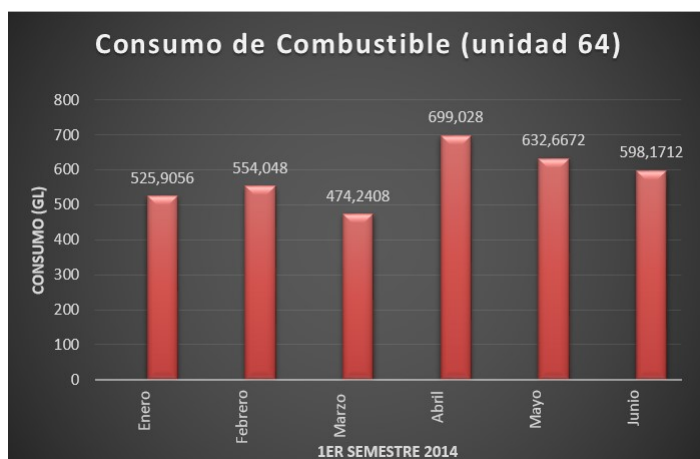


Figura D.2: Gráfica del consumo de combustible de la unidad 64 en el último semestre (Enero-Junio del 2014).

Fuente: Autores

Anexo E

Aceites lubricantes y filtros utilizados en nuestro medio.

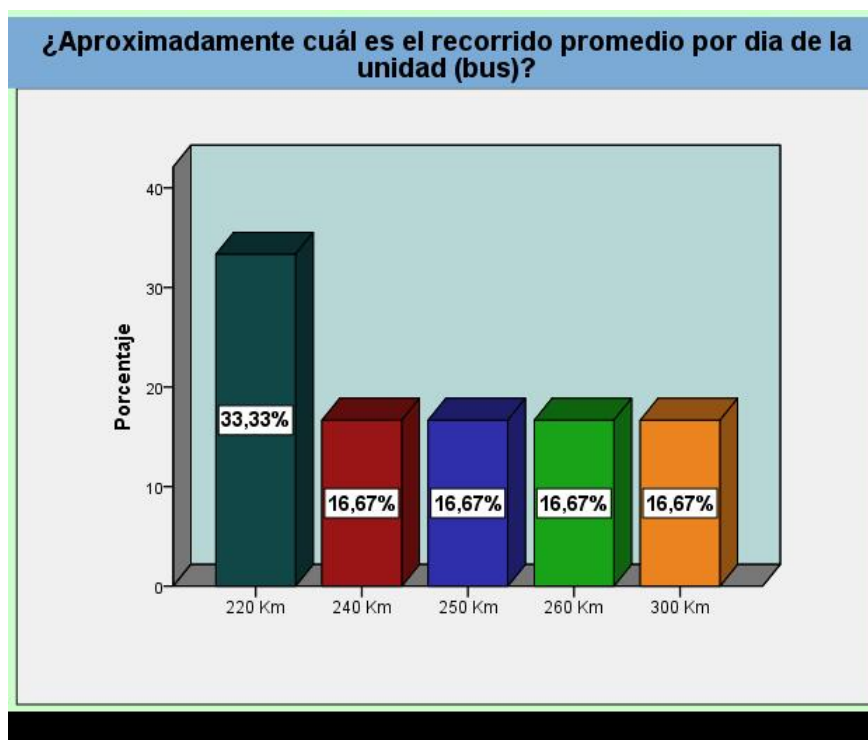


Figura E.1: Recorrido diario de los buses de las empresas de servicio urbano.
Fuente: Autores

De acuerdo a la gráfica una gran mayoría (33.33 %) de unidades pertenecientes a las 7 empresas tienen un recorrido diario que está alrededor de los 220 km, este dato es de suma relevancia para proceder a realizar el cambio de aceite ya que las empresas se valen del recorrido en días del vehículo para ello, figura E.1.

La mayoría (66.66 %) de las empresas está realizando el cambio de aceite de sus unidades alrededor de los 4500 km, se manejan estos periodos de cambio por la experiencia adquirida por los maestros mecánicos y debido a que nunca ha presentado inconvenientes para el motor se han mantenido de forma permanente

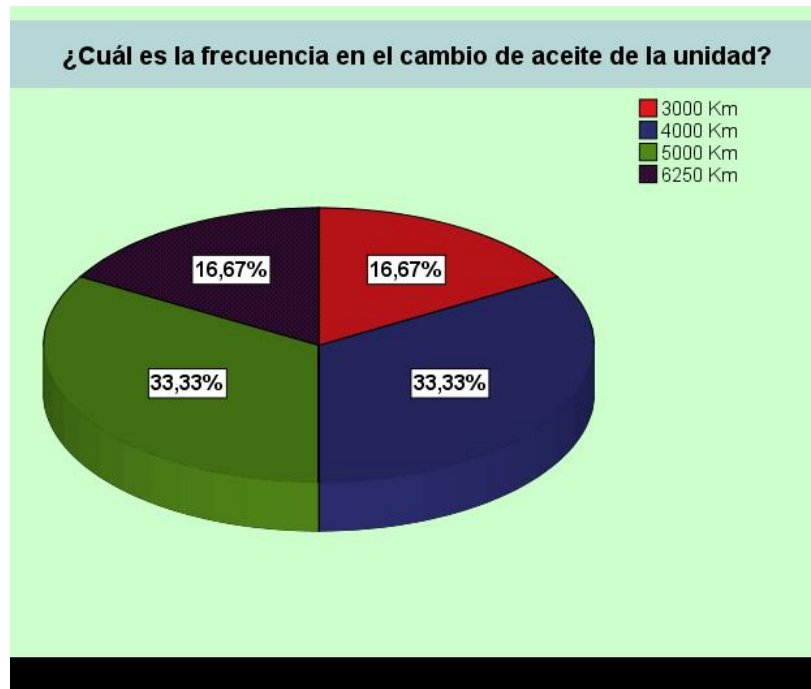


Figura E.2: Periodo de cambio de aceite manejado por las empresas.
Fuente: Autores

con este periodo de cambio, a mas de que no se ha realizado ningún estudio con respecto a la vida útil real del aceite dentro de las empresas, figura E.2.



Figura E.3: Grado de viscosidad del aceite lubricante para los motores diésel.
Fuente: Autores

Todas las empresas coinciden en usar el aceite SAE 15W40 para lubricar sus motores debido a que es el idóneo para los motores diésel dentro del entorno en el que se desenvuelve (condiciones climáticas), figura E.3.



Figura E.4: Aceite lubricante para motores diésel elegido por las empresas.
Fuente: Autores

En el mercado nacional existe una gran variedad de aceites lubricantes destinados a la lubricación de los motores diésel, de entre los cuales las empresas de buses urbanos de la ciudad de Cuenca han elegido a Gulf por que ha cubierto con sus expectativas, a demás el costo de adquisición es mas accesible, figura E.4.

Todas las empresas usan filtros de baja gama por cuestiones de precio con el fin de poder generar ahorro monetario en lugar de filtros de alta gama cuyo costo es elevado, sin embargo al usar estos filtros la vida útil del motor se ve comprometida y a largo plazo los costos por concepto de mantenimiento se incrementan, figura E.5.

En cuanto se refiere al cambio del filtro de aire, el criterio por parte de los mecánicos de las empresas es muy variado tanto así que no se tiene un periodo fijo de cambio, todo esto se debe a las concentraciones de polvo que existen en las diferentes rutas por las que circulan los buses, otro factor decisivo a tomar en cuenta son las estaciones (verano mayor cantidad de polvo que en el invierno), por todo esto resulta más conveniente para los mecánicos cambiar el filtro de aire cuando éste saturado por el polvo, figura E.6.



Figura E.5: Filtro de aceite para motores diésel usados por las empresas.
Fuente: Autores

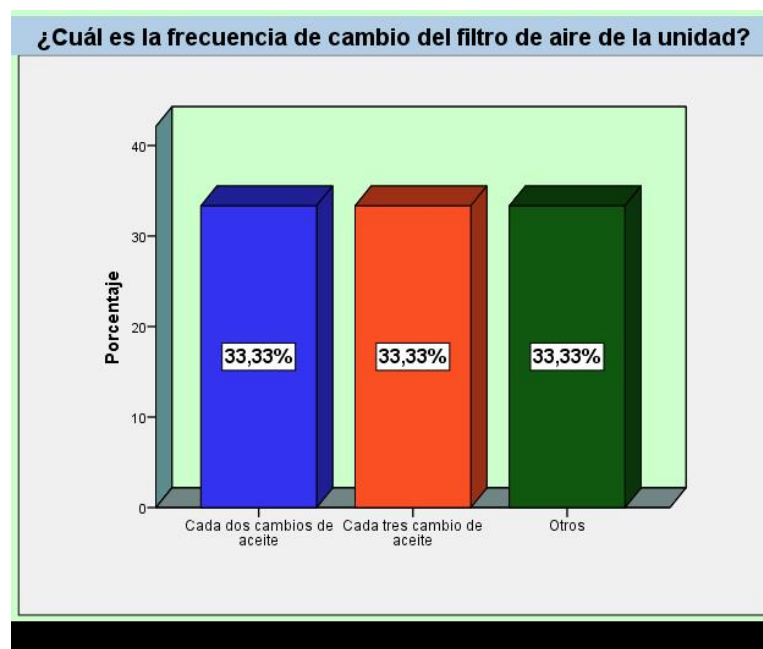


Figura E.6: Condiciones bajo las cuales se realiza el cambio del filtro de aire del motor.

Fuente: Autores

El cambio de aceite es un proceso relativamente sencillo y conocido por todo el personal mecánico de los talleres de las empresas, al llevarse a cabo con tanta frecuencia el personal adquirido una gran destreza tanto así que el 50 % de los cambios se los realiza en 20 minutos aproximadamente, incluyendo el chequeo de los filtros de aire. Un tiempos de 10 minutos que representa el (33.33 % de las

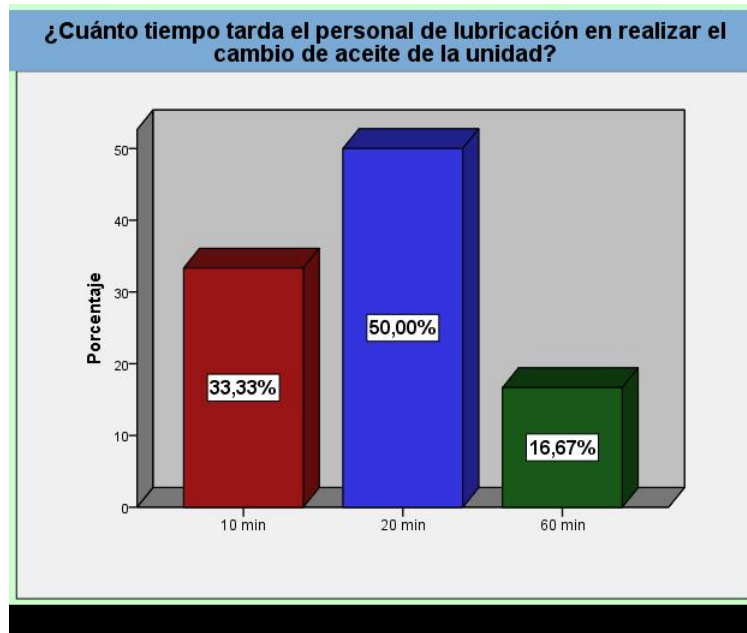


Figura E.7: Duración del proceso de cambio del aceite del motor.
Fuente: Autores

veces hace mención únicamente al cambio de aceite, un 16.67% de los cambios tienen un tiempos estimado de 60 minutos en el cual se incluye el cambio del filtro de aire, filtro de combustible, purgado del circuito de combustible y revisión de los niveles de aceite, figura E.7.

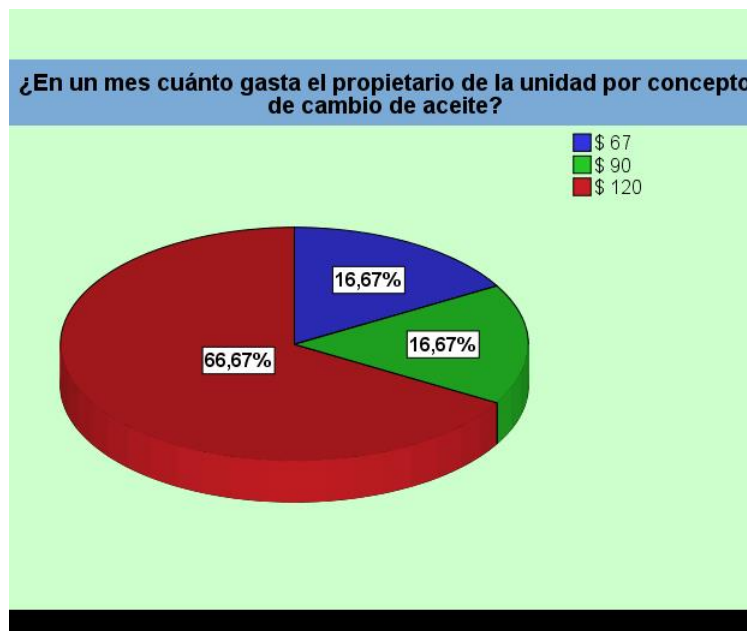


Figura E.8: Costo aproximado del proceso de mantenimiento.
Fuente: Autores

El 66.67% de los buses de servicio urbano que representan una mayoría están invirtiendo alrededor de 120 dólares por concepto del cambio de aceite, el valor es alto ya que en el cambio se incluyen a más del aceite y filtro de aceite los filtros de aire y el de combustible. Un costo de 90 dólares que representa el 16.67% de los cambios se da en el momento que se realiza consecutivamente el cambio de aceite y el filtro de combustible. El otro 16.67% de los cambios se da cuando se realiza únicamente el cambio de aceite con un costo aproximado de 67 dólares, figura E.8.