

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES EN
MOTORES DIESEL PARA EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA EMPRESA
FL COLOMBIA

WILSON OSWALDO RAMIREZ
JUPITER DAIRO CABREJO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2013

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES EN
MOTORES DIESEL PARA EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA EMPRESA
FL COLOMBIA

WILSON OSWALDO RAMIREZ
JUPITER DAIRO CABREJO

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: EDWIN MOLINA SANTAMARIA
Ingeniero Mecánico
Especialista en Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2013

Queremos dedicar este trabajo a nuestro Señor Jesús, quien nos dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este proyecto en nuestras vidas, a nuestras familias, por acompañarnos en cada una de las etapas de nuestras vidas.

A nuestros padres, por todo lo que nos han brindado en esta vida, especialmente por sus sabios consejos y por estar presentes en los momentos difíciles. En general para todas aquellas personas que buscan utilizar la ingeniería en pos de ayudar a una sociedad más moderna y de servicio para la comunidad.

Son tantas personas a las cuales debemos parte de este triunfo, de lograr alcanzar la culminación académica, que es el anhelo de todos los que así lo deseamos. Definitivamente, Dios, nuestro Señor, nuestra Guía, Proveedor, nuestro Fin Ultimo; que sabe lo esencial que ha sido en la posición firme de alcanzar esta meta, esta alegría, que si pudiéramos hacerla material, la hiciéramos para entregársela, pero a través de esta meta, podremos siempre de tu mano alcanzar otras que esperamos sean para su Gloria.

Nuestros padres y hermanos, por darnos la estabilidad emocional, económica, sentimental; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese sido posible de ser realidad sin ustedes. Gracias a nuestras madres, serán siempre nuestra inspiración para alcanzar metas, por enseñarnos que todo se aprende y que todo esfuerzo es al final recompensa. Sus esfuerzos, se convirtieron en el triunfo de ustedes y de nosotros.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por su incondicional y continuo apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto.

La Universidad Industrial de Santander y a todos los docentes de la especialización por el conocimiento transmitido

Las Empresas FL COLOMBIA S.A.S., por el apoyo y el tiempo brindado para la ejecución de la Especialización.

Al Ingeniero Edwin Molina por el compromiso y dirección de esta monografía.

A todos los compañeros de la especialización.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. FEMSA	22
1.1 HISTORIA	22
1.2 FEMSA LOGISTICA	24
1.3 FLOTA	24
1.3.1 Modalidades del servicio	25
1.3.2 Mantenimiento	26
1.3.3 Características técnicas de la flota	27
1.3.4 Motor ISX	28
1.3.4.1 Especificaciones Generales	30
1.3.4.2 Sistema de combustible	30
1.3.4.3 Sistema de aceite lubricante	31
1.3.4.4 Sistema de enfriamiento	31
1.3.4.5 Sistema de admisión de aire	32
1.3.4.6 Sistema de escape	32
2 TRIBOLOGÍA	33
2.1 TRIBOLOGÍA A TRAVÉS DE LA HISTORIA	33
2.2 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA TRIBOLOGÍA	34
2.3 FRICCIÓN	35
2.3.1 Estados de Fricción	35
2.3.1.1 Fricción metal – metal	35
2.3.1.2 Fricción pura	35
2.3.1.3 Fricción solida	35
2.3.1.4 Fricción fluida	36
2.3.1.5 Fricción hidrodinámica	36
2.3.1.6 Fricción hidrostática	36
2.3.1.7 Fricción gaseosa	36
2.3.1.8 Fricción mixta	36
2.3.2 Coeficiente de fricción	37
2.3.2.1 Medida de la fricción	37
2.3.2.2 Velocidad de deslizamiento	37

2.3.2.3	Temperatura	37
2.3.2.4	Régimen de arranque o inicio	38
2.4	DESGASTE	38
2.4.1	Desgaste adhesivo	38
2.4.2	Desgaste por abrasión	39
2.4.3	Desgaste por ludimiento	39
2.4.4	Desgaste por fatiga superficial	39
2.3.5	Desgaste erosivo	40
2.3.6	Desgaste corrosivo	41
2.5	LUBRICACIÓN	41
2.5.1	Teoría de la lubricación	43
2.5.2	Aplicación de la lubricación	43
2.5.3	Tipos de lubricación	44
2.5.3.1	La Lubricación Limítrofe	44
2.5.3.2	Lubricación Hidrodinámica	45
2.5.3.3	La Lubricación Mezclada	46
2.5.3.4	Lubricación Elasto-Hidrodinámica (EHL)	47
3	FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES	48
3.1	Características Físicas	48
3.1.1	Viscosidad	49
3.1.1.1	Tipos de viscosidad	51
3.1.1.2	Unidades de medida de la viscosidad	53
3.1.1.3	Instrumentos para la medición de la viscosidad	54
3.1.1.4	Factores que afectan a la viscosidad	57
3.2	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	58
3.2.1	Acidez	58
3.2.2	Basicidad	59
3.2.3	El número de neutralización	59
3.2.3.1	Número de ácido total (TAN)	59
3.2.3.2	Número de ácido fuerte (SAN)	59
3.2.3.3	Número de base total (TBN)	59
3.2.3.4	Número de base fuerte (SBN)	59
3.2.4	Residuo carbonoso	60
3.2.5	Oxidación	60
3.2.5.1	El mecanismo de la oxidación	60
3.2.5.2	Factores que favorecen la oxidación	61
3.2.5.3	Consecuencias de la oxidación en el aceite	61

3.3	Propiedades de los Lubricantes	62
3.3.1	Bombeabilidad	62
3.3.2	Consistencia	62
3.3.3	Aceitosidad o lubricidad	62
3.3.4	Adhesión o adherencia	62
3.3.5	Rigidez dieléctrica	62
3.3.6	Emulsibilidad	63
3.3.7	Demulsibilidad	63
3.3.8	Aeroemulsión	63
3.3.9	Punto de goteo	64
3.3.10	Punto de inflamación	64
3.3.11	Punto de combustión	64
3.3.12	Punto de enturbiamiento	64
3.3.13	Punto de congelación	65
3.3.14	Punto de floculación	65
3.3.15	Índice de Viscosidad	65
3.4	ACEITES MONOGRADOS	65
3.4.1	Aplicaciones y propiedades	66
3.5	ACEITE MULTIGRADO	66
3.5.1	Propiedades	67
3.5.2	Aplicaciones	67
3.6	CLASIFICACIÓN SAE	68
3.7	COLOR DEL ACEITE	69
4	ACEITES LUBRICANTES	70
4.1	BASES LUBRICANTES	70
4.1.1	Parafínicas	71
4.1.2	Nafténicas	71
4.1.3	Aromáticas	71
4.2	MANUFACTURA DE LAS BASES	72
4.3	CLASIFICACIÓN DE LAS BASES	72
4.4	ADITIVOS	73
4.4.1	Bases de aceite	73
4.4.2	Aditivos para Lubricantes	73
4.4.2.1	Inhibidores destinados a retardar la degradación del aceite lubricante	74
4.4.2.2	Aditivos mejoradores de las cualidades físicas del aceite lubricante	74

4.4.3	Aditivos de Extrema presión	76
4.4.3.1	Lubricantes EP de 1ra generación	76
4.4.3.2	Lubricantes EP de 2da generación	77
4.4.3.3	Lubricantes EP de 3ra generación	77
5	ANALISIS DE ACEITE FLOTA FL COLOMBIA S.A.S.	78
5.1	ACEITE MOBIL ESP 15W40	79
5.1.1	Propiedades y Beneficios	79
5.1.2	Aplicaciones	81
5.1.3	Especificaciones y Aprobaciones	81
5.1.4	Características típicas	82
5.2	USOS Y BENEFICIOS DE LOS ANALISIS DE ACEITES	83
5.3	CUANDO Y COMO OBTENER LA MUESTRA DE ACEITE	84
5.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
5.4.1	Dilución por combustible	86
5.4.2	Dilución con agua	86
5.4.3	Aumento de la Viscosidad	87
5.4.4	Disminución de la Viscosidad	87
5.4.5	Humedad	87
5.4.6	Formación de espuma	88
5.4.7	Anticongelante	89
5.4.8	Hollín	89
5.5	RESULTADOS OBTENIDOS	89
5.6	TIPOS DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS EN FL COLOMBIA S.A.S.	98
5.6.1	Mantenimiento tipo A	98
5.6.2	Mantenimiento Tipo B	100
5.6.3	Mantenimiento Tipo C	100
5.6.4	Mantenimiento tipo D	101
5.6.5	Mantenimiento tipo E	101
6	CONCLUSIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA	105
	ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características técnicas Tracto camiones FL Colombia	27
Tabla 2. Propiedades Aceite Mobil ESP 15W40	80
Tabla 3. Ventajas y beneficios Aceite Mobil ESP 15W40	80
Tabla 4. Especificaciones y aprobaciones Aceite Mobil ESP 15W40	81
Tabla 5. Características Aceite Mobil ESP 15W40	82
Tabla 6. Parámetros máximos de contaminación en motores diesel	85
Tabla 7. Origen de partículas metálicas del aceite	86
Tabla 8. Formato Mantenimiento Tipo A	99
Tabla 9. Formato Mantenimiento Tipo B	100
Tabla 10. Formato Mantenimiento Tipo C	101
Tabla 11. Formato Mantenimiento Tipo D	101
Tabla 12. Formato Mantenimiento Tipo E	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tracto camión Kenworth T 800	25
Figura 2. Motor ISX	30
Figura 3. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento	38
Figura 4. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras	39
Figura 5. Desgaste por fatiga superficial	40
Figura 6. Desgaste erosivo debido a la acción de un fluido con partículas abrasivas en suspensión	40
Figura 7. Película de lubricante entre dos cuerpos en contacto	41
Figura 8. Un eje y su cojinete	42
Figura 9. Engranés a baja velocidad	45
Figura 10. Índice de viscosidad	51
Figura 11. Concepto de viscosidad dinámica	52
Figura 12. Viscosímetro capilar de rutina cannon fenske si analytics	55
Figura 13. Viscosímetro rotatorio	55
Figura 14. Extraer muestra de aceite	84

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Resultados unidad SWQ345 Nodo Bogotá	90
Grafica 2. Resultados unidad SWQ340 Nodo Bogotá	91
Grafica 3. Resultados unidad SWQ373 Nodo Barranquilla	92
Grafica 4. Resultados unidad SWQ375 Nodo Barranquilla	93
Grafica 5. Resultados unidad SWQ319 Nodo Bucaramanga	94
Grafica 6. Resultados unidad SWQ321 Nodo Bucaramanga	95
Grafica 7. Resultados unidad SZW595 Nodo Bucaramanga	96
Grafica 8. Resultados unidad SWQ331 Nodo Cali	97

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Resolución 1446 de 2005	106
ANEXO B Programa in service diesel engine lubricating oil monitoring	109
ANEXO C Norma europea en ISO/IEC 17025	111

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE ANALISIS DE ACEITES EN MOTORES DIESEL PARA EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA EMPRESA FL COLOMBIA¹

AUTORES: WILSON OSWALDO RAMIREZ, JUPITER DAIRO CABREJO*

PALABRAS CLAVES: TRIBOLOGÍA, ANALISIS DE ACEITES, MOTOR ISX ISM, MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y PREDICTIVOS.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: Esta monografía desarrolla un modelo de análisis de aceite usado para los motores ISX e ISM de la flota de transporte de FL Colombia S.A.S, en la cual se retomo esta labor que se había dejado de lado en el año 2010 y que es fundamental en las nuevas prácticas de mantenimiento para programar los mantenimientos predictivos y encontrar tendencias de desgaste en los motores de los vehículos que se encuentran en los diferentes nodos del país. FL Colombia cuenta con bases en Bogotá, Bucaramanga, Cali y Barranquilla.

Las muestras de aceite se toman en los cambios de aceite cada 25.000 para los motores ISX y 20.000 kilómetros para los ISM. El proyecto se retomo con un total de 80 muestras de aceite dando como resultado 20 en alerta y 60 en estado normal por esta razón se confirmo que en los motores ISX se puede aumentar el cambio de aceite a 28.000 kilómetros lo que daría un beneficio económico para la empresa ya que las muestras en estos equipos dieron en total normalidad. En cambio en los motores ISM se tiene que bajar a 18.000 kilómetros porque los 20 resultados de alerta son 18 de estos motores, de acuerdo a estos resultados se realizaron los mantenimiento predictivos o mantenimiento Tipo E de la compañía FL Colombia que quedaron subidos en el software de mantenimiento a los 700.000 kilómetros para todas las unidades de Colombia.

Por último en la empresa FL Colombia con la implementación de este proyecto se bajaran gastos porque no esperamos realizar reparaciones generales de motores sino realizar cambio de casquetes, revisar sistema de inyección y culatas para aumentar la vida útil de todas las unidades y de esta manera tener disponibilidad y confiabilidad de la Flota en todo el país.

¹ Monografía

* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Edwin Molina Santamaria, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: IMPLEMENTATION OF A PROGRAM FOR ANALYSIS OF OIL IN DIESEL ENGINES FOR AUTOMOTIVE ENTERPRISE PARK FL COLOMBIA*

AUTHORS: WILSON OSWALDO RAMIREZ, JUPITER DAIRO CABREJO²

KEYWORDS: TRIBOLOGY, OIL ANALYSIS, ENGINE ISX ISM, PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE.

SUBJECT OR DESCRIPTION: This paper develops a model used oil analysis for ISX and ISM engines of the transport fleet of FL Colombia SAS, in which I return to this work was shelved in 2010 and is fundamental new maintenance practices for predictive maintenance scheduling and wear trends found in car engines that are in different nodes of the country. FL Colombia has bases in Bogota, Bucaramanga, Cali and Barranquilla.

Oil samples are taken in oil changes every 25,000 to 20,000 miles and ISX engines for ISM. The project retake a total of 80 oil samples resulting in 20 alert and 60 in the normal state for this reason it was confirmed that ISX engines can increase the oil change at 28,000 miles which would give an economic benefit to the company since the samples in these teams were in normally. However in the ISM engines must come down to 18,000 miles because the alert 20 results are 18 of these engines, according to these results will be made predictive maintenance or maintenance of E Company Type FL Colombia that were uploaded into the software maintenance to 700,000 kilometers for all units of Colombia.

Finally in the company FL Colombia with the implementation of this project were lowered costs because they expect to make general repairs of engines but make ice change, be injection system and cylinder heads to increase the life of all units and thus have availability and reliability of the fleet in the country.

* Monograph

² School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Edwin Molina Santamaria, Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCION

La empresa FL Colombia consta de un parque automotor de 94 tracto camiones, con motores diesel Cummins ISX y Cummins ISM que utilizan en promedio 12 galones americanos de aceite para su optimo funcionamiento, el actual programa de lubricación está generando altos costos en tareas de lubricación, principalmente en el cambio de aceite del motor y paradas de las unidades.

Las tendencias actuales en procesos de lubricación en este tipo de motores indican que la mayoría de las empresas colombianas del sector, se acogen a un programa de análisis de aceites de sus equipos en especial en el sector automotriz. FL Colombia al comienzo de la flota en el 2010 empezó con este programa pero por motivos que no se explicaran en este proyecto de dejo de utilizar el programa de análisis de aceite, lo que se pretende realizar es retomar la toma de muestras de aceite en los equipos e implementar nuevamente este programa de análisis de aceite el cual nos lleva a determinar mantenimientos predictivos y nos brinda una grandiosa oportunidad de evaluar tendencias de desgaste ya que hay varias unidades que están pasando por los 500.000 Km, siendo esto el momento justo para programar reparaciones o inspecciones de casquetes de bancada y biela, culatas, pistones y anillos. Es de resaltar que hoy en dia las nuevas técnicas de mantenimiento ya no bastan con realizar mantenimientos preventivos y correctivos, sino llegar más allá con mantenimientos predictivos y logrando de esta manera una técnica altamente eficiente para el mantenimiento del parque automotor en una empresa de transporte.

Realizando un programa de lubricación en la empresa FL Colombia en base a los análisis de laboratorio del aceite motor se determinaran las tendencias de desgaste en los vehículos y de esta manera se puede programar un mantenimiento predictivo que nos lleve a disminuir costos y adecuar el plan de mantenimiento de la flota a la topografía Colombiana ya que actualmente estamos controlados por un plan de mantenimiento que utiliza la empresa en su sede principal en México.

Los costos generados por el mantenimiento de un motor en un tracto camión son considerablemente altos teniendo en cuenta los diferentes sistemas que se ven afectados por malas prácticas de lubricación y malas tendencias de operación. Con la implementación del programa de tribología en el aceite de los motores se pretende obtener los índices de desgaste de cada equipo, de esta manera programar reparaciones a futuro y realizar un plan de mantenimiento predictivo que contempla calibración de válvulas, inyectores y freno motor, revisar casquetes

de bancada y biela, culatas y reparaciones parciales antes de que ocurra un fallo en el motor que nos lleve a realizar una reparación total, los equipos a analizar son modelo 2010, 2012 y 2013.

Además se pretende aprovechar al máximo la vida útil del aceite entre cambio y cambio, para esto se tomaran muestras de aceite periódicamente para poder determinar el buen desempeño del aceite y el filtro sin que este proceso vaya afectar el motor, evitando fallas a futuro y de esta forma disminuir costos, mano de obra y contaminación.

La empresa FL Colombia a través de su sistema de gestión de calidad, está comprometida con la conservación del medio ambiente mediante programas reales como son los de control de emisiones de motores, adecuada disposición final de llantas usadas, baterías y aceites entre otros, mediante la implementación de este programa se reduce considerablemente la generación anual de aceite usado y filtros los cuales tienen un alto grado de contaminación, generando nuevas formas para contribuir con el cuidado del medio ambiente.

1. FEMSA

Fundada en Monterrey, México, en 1890, FEMSA es una empresa líder que participa en la industria de refrescos, a través de Coca-Cola FEMSA, el embotellador independiente más grande de productos Coca-Cola en el mundo; en comercio al detalle a través de FEMSA Comercio, operando OXXO, la cadena de tiendas más grande y de mayor crecimiento en América Latina; y en cerveza, siendo el segundo accionista más importante de Heineken, una de las cerveceras líderes en el mundo con presencia en más de 70 países.

También cuenta con un área de servicios compartidos denominada Insumos Estratégicos, Procesos de Negocios y Tecnologías de Información, especialmente diseñada para impulsar a las unidades de negocio, juntos, cumplen el compromiso de innovación de FEMSA, ofreciendo desde marcas diferenciadas, hasta envases especialmente diseñados acorde a las necesidades del consumidor, convenientes puntos de venta y eficientes sistemas de distribución.

FEMSA opera en diez países de América Latina y el Sudeste Asiático (Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Filipinas, Guatemala, México, Nicaragua, Panamá y Venezuela).

La empresa comercializa sus productos a través de marcas reconocidas de refrescos, jugos, agua embotellada y bebidas energizantes como: Coca-Cola, Sprite, Ciel, Powerade y andatti entre otras. También opera OXXO, cadena de tiendas de conveniencia de mayor crecimiento en América Latina.

La estrategia de la empresa busca satisfacer con excelencia a clientes y consumidores, generando valor a los accionistas y sirviendo responsablemente a la comunidad.

1.1 HISTORIA

La historia de FEMSA ha estado enmarcada en dos objetivos básicos, la generación de valor económico y social. Desde nuestro origen, en 1890, nos hemos mantenido a la vanguardia de la industria de bebidas, a través de la innovación constante, un eficiente desempeño, un sólido crecimiento, además de ser pioneros en el establecimiento de programas orientados al desarrollo del personal, de las comunidades en donde operamos y de respeto al medio ambiente.

Esta es la forma en que nuestra empresa ha logrado convertirse en líder de bebidas en México y Latinoamérica, así como trascender ante sus accionistas, colaboradores y la comunidad.

1890

- La historia de FEMSA inicia en el año de 1890 con la fundación de la Cervecería Cuauhtémoc en Monterrey, N.L., gracias a un grupo de entusiastas empresarios encabezados por Don Isaac Garza, José Calderón, José A. Muguera, Francisco G. Sada, y Joseph M. Schnaider.
- Bajo la razón social de Fábrica de Cerveza y Hielo Cuauhtémoc, la empresa inició con 70 obreros, 2 personas de administración y 100 mil pesos de capital. Las oficinas se ubicaban en un almacén de abarrotes conocido como Casa Calderón en Padre Mier y Galeana. La fábrica se construyó en el mismo lugar que ocupa hoy.
- La primera marca que salió al mercado fue Carta Blanca y después Salvator, una marca que duró poco tiempo y luego desapareció.
- Carta Blanca en botella transparente con tapón de corcho reforzado con alambre se convirtió en la marca de vanguardia de la empresa y una de las de mayor venta en México, lugar que hasta la fecha ocupa.

1979

- Se funda Coca-Cola FEMSA.

1988

- En 1988, después de concluir la reestructuración de la deuda de la empresa, se constituye FEMSA (Fomento Económico Mexicano, S.A. de C.V.), principal subsidiaria de VISA, que agrupa a las empresas cerveceras, de empaque, refrescos y comercio.

1993

- Asociación con The Coca Cola Co. Esta importante empresa global adquiere el 30% de las acciones de Coca-Cola FEMSA.
- Colocación del 19% del capital de Coca-Cola FEMSA en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) y en el New York Stock Exchange (NYSE).

1998

- Se cambia el nombre de VISA a FEMSA, después de un intercambio de acciones entre los tenedores de ambas empresas.
 - En mayo se listan las acciones de FEMSA en el New York Stock Exchange (NYSE).
 - Se inician las operaciones de FEMSA Logística como una empresa independiente.
-

2002

- En diciembre de este año FEMSA, Coca-Cola FEMSA y Panamco (Panamerican Beverages, Inc.) anunciaron un acuerdo definitivo por el cuál Coca-Cola FEMSA adquiere Panamco.
- Panamco era el embotellador más grande de América Latina y uno de los tres mayores embotelladores de productos Coca-Cola en el mundo. Panamco producía y distribuía el portafolio de productos Coca-Cola en sus franquicias territoriales en México, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela y Brasil, así como agua embotellada, cerveza y otras bebidas en algunos de estos territorios. Panamco era un embotellador ancla de The Coca-Cola Company.³

1.2 FEMSA LOGISTICA

Es una empresa subsidiaria de FEMSA que forma parte de la división de Insumos Estratégicos y está dedicada a proveer servicios logísticos integrales.

Se estableció en abril de 1998 para brindar ventajas competitivas en las operaciones logísticas de las unidades de negocio de FEMSA y participar en el mercado abierto en Latinoamérica.

Actualmente operamos en 6 países de Latinoamérica y somos el proveedor de servicios logísticos más grande de México en términos de ventas. En el 2011 reportamos ingresos por 500 millones de dólares, realizando más 8,300 entregas diarias.

Somos más de 8 mil colaboradores comprometidos a trabajar con pasión, calidad y seguridad en los servicios que requieren nuestros Clientes. Este equipo cuenta con experiencia y competencias para atender los requerimientos de nuestros Clientes de forma eficiente en oportunidad y costo.

Hemos sido ganadores por 7 años seguidos del Premio Nacional de Seguridad de la Asociación Nacional del Transporte Privado (ANTP) y por 8 años acreedores del reconocimiento Empresa Socialmente Responsable.⁴

1.3 FLOTA

³ [citado 27 de mayo de 2013] Disponible en <http://www.femsa.com/es/about/history/#top>

⁴ [citado 27 de mayo de 2013] Disponible <http://www.fl.com.mx/es/quienes-somos/>

Figura 1. Tracto camión Kenworth T 800



Fuente. <http://www.fl.com.mx>

FEMSA Logística es experta en la administración del transporte de mercancías, por lo que garantizamos su entrega oportuna, apegándonos a los requerimientos del Cliente y a las más estrictas normas de seguridad.

El servicio de Administración de Flotas incluye la administración de los operadores, el control de los viajes, el control de combustible y gastos asociados con los viajes, la administración de mantenimiento y la implementación de las tecnologías de información requeridas. Las responsabilidades de FEMSA Logística en este servicio abarcan la planeación de rutas y el armado de pedidos, el control de entregas y devoluciones, y el cierre de viajes. Así mismo, FEMSA Logística se encarga de la selección y la configuración o el diseño de los vehículos.

Este servicio es ideal para los Clientes que cuentan con una alta productividad o viaje cargado-cargado.

1.3.1 Modalidades del servicio La empresa FL ofrece las siguientes modalidades de servicio:

- Transporte de carga completa (T1): Transporte de mercancías, en modalidad de carga completa, de lugares de origen a destinos para su almacenamiento.

Contamos con el respaldo de tecnología especializada para visibilidad de la operación y rastreabilidad de los viajes.

- Distribución de última milla (T2): Reparto de mercancías secas, refrigeradas o congelados de Centros de Distribución a los puntos de venta a través de un esquema dedicado. Trabajamos con herramientas tecnológicas para planificación de la distribución, ruteo dinámico diario y seguimiento en línea de envíos.

En el 2013 administramos una flota de T1 de 94 unidades con las más estrictas normas de seguridad, soporte de prácticas operativas probadas y bajo un sistema de calidad que fomenta la mejora continua en servicio y costo.

Atributos del servicio

- Estructura dedicada a la administración eficiente de la flota y los recursos
- Trabajo en conjunto con los Clientes para promover la mejora continua
- Uso de tecnología especializada para planeación y visibilidad de la operación
- Alto enfoque a la seguridad y la prevención de accidentes

Principales beneficios para nuestros clientes

- Seguridad en el abasto y calidad en el servicio
- Costo de distribución óptimo
- Diseño y selección de la configuración de los vehículos adecuados para cada operación
- Control y monitoreo adecuado de los residuos derivados del transporte de productos ⁵

1.3.2 Mantenimiento Ofrecemos el mantenimiento bajo contrato de la flota comercial del Cliente y administramos todo el ciclo de vida de los activos de su empresa complementando el servicio a nuestros Clientes con selección y diseño de vehículos especializados, capacitación y tecnología de seguridad vial y prevención de accidentes, apoyo en la gestoría, compra y venta de los vehículos. Se tiene los siguientes atributos del servicio

- Mano de obra calificada y refacciones originales al mismo precio a nivel nacional

⁵ [citado 27 de mayo de 2013] Disponible

<http://www.fl.com.mx/es/soluciones/servicios/administracion-de-flotas-dedicadas.htm>

- Supervisión y equipo de soporte altamente capacitados en las mejores prácticas
- Mantenimientos Preventivos programados y diseñados por tipo de vehículo
- Mantenimientos Correctivos Realizados de forma ágil y eficiente
- Tecnología de punta para el diagnóstico y reparación de fallas
- Servicio de auxilio a toda hora, los 7 días de la semana
- Manejo de diferentes esquemas de servicio, ya sea en talleres propios o del Cliente
- Alto enfoque a la seguridad y la prevención de accidentes
-

Principales beneficios para nuestros clientes

- Alta disponibilidad de los vehículos debido a la rapidez y atención en el servicio
- Mejor costo integral de mantenimiento
- Información oportuna a través de un sistema de información de mantenimiento en línea
- Recuperación de garantías con los fabricantes
- Simplificación administrativa y de control de la flota para que el Cliente pueda enfocarse en sus actividades “Core”
- Control y manejo adecuado de los residuos derivados del mantenimiento
- Diseño y selección de la configuración de los vehículos adecuados para cada operación
- Esquema integral de seguridad vial para los operadores de los vehículos
- Control de los activos vehiculares y gestoría de trámites

1.3.3 Características técnicas de la flota Las especificaciones técnicas de los 94 tracto camiones de la empresa FL Colombia se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características técnicas Tracto camiones FL Colombia.

MOTOR: Cummins: ISX 400 / 400HP/1800 RPM / 1450 lbs
CAJA DE VELOCIDADES: Fuller: RTO 16915 15 velocidades
Embrague: Fuller 15 1/2”
Enfriador Aceite: Caja de velocidades
Cardan: Tipo pesado SPL 250 XL
EJE DELANTERO: Meritor FG941 14600 lbs
Campanas: Hierro
Cubos: Rodamiento grande
Raches: Haldex Autoajustables
Suspensión: NEWAY ADZ

Frenos: dana spicer 16,5" x 5 para 14600 lbs
EJE TRASERO: Meritor RT 46-164peh para 46.000 Lbs
CHASIS:
Medidas: 10 5/8" x 5/16"
Puente: (7) de alta resistencia
Bomper: 3 piezas en fibra de vidrio y aluminio
Quinta Rueda: FW35-7801 XL para 55.000 lbs
Parilla: Sobre el chasis en aluminio cromado
Refuerzo Total: 10 5/8 x 10 3/4
Guarda Polvos: Delanteros / Traseros Escualizables cromados tipo Bulldog
LLANTAS Y RINES:
Llanta Delantera: Bridgestone R250 en 12R 22.5
Llanta Trasera: Bridgestone M729 En 295/80R 22.5
Rines: acero acurridos 22.5 x 8.25
Fuente. Archivos de mantenimiento FL Colombia

1.3.4 Motor ISX El Cummins ISX es un -6 en línea (recta) del motor diesel producido por Cummins para camiones pesados y autocares, en sustitución de la N14 en 1998, cuando las leyes de emisiones aprobadas por la EPA hacen el motor obsoleto. Originalmente llamado el motor de la serie "Firma", el ISX utiliza la "Interacción del sistema" (de ahí el "ES", que es el apodo para la plena autoridad, en la carretera del sistema de combustible Cummins fue pionero) para mejorar aún más el motor. Este motor se utiliza ampliamente en en la carretera y los camiones vocacionales y está disponible en potencias desde 430 CV hasta llegar a 600 cv 2050 pies / libras. El QSX es la versión todo terreno del ISX con la posición Q de Quantum. El QSX se utiliza para aplicaciones industriales, marinas, petróleo y gas y otras aplicaciones fuera de carretera.

Hasta 2010, este motor era una sobrecarga diseño de leva dual con una leva de accionamiento de los inyectores y el otro tren de la válvula. Este sistema de inyección se conoce como HPI (inyección de alta presión) en la que los inyectores son accionados por leva para crear la presión de inyección. El sistema de combustible utiliza un módulo de sistema de combustible integrado (IFSM) con una bomba de elevación, bomba de engranajes, reguladores de presión, válvula de cierre, de medición y actuadores de temporización para suministrar combustible a los inyectores. Cuenta con un pedazo de presentación de una válvula que es ya sea de plástico o en los modelos más antiguos una cubierta de acero cromado otro sabio conocido como Firma 600 o CM570 ISX.

En 2002, el ISX CM870 trajo recirculación de gases de escape (EGR), que toma el gas de escape y re circula de nuevo en la admisión del motor la reducción de las temperaturas de la cámara de combustión que limitan la formación de NOx.

En 2007, dio a conocer el Cummins ISX CM871, este motor presentaba un Filtro de Partículas Diesel (DPF), que atrapa las partículas o "hollín", producido en el motor. Con la ayuda del catalizador de oxidación diesel (DOC) el hollín atrapado en el DPF se oxida y se volvió a cenizas durante un proceso llamado regeneración.

El 2010 versión actual EPA conocida como ISX15 CM2250 características mejorada de recirculación de gases de escape, filtro de partículas diesel y reducción catalítica selectiva (SCR), también conocido como inyección de urea. SCR consiste en un líquido de escape diesel (DEF - compuesto de urea y agua) sistema de inyección: tanque de retención, bomba, controlador, y el inyector y un catalizador de SCR de ladrillo. DEF se calienta, se bombea y se inyecta en un tubo de descomposición que después reacciona con los gases de escape en el catalizador SCR para reducir los NOx. El ISX15 utiliza sólo un árbol de levas en lugar de dos, como los modelos anteriores, debido a la llegada del sistema de combustible de raíl común en el que el combustible es presurizado desde una alta presión, bomba de pistón múltiple, a través de la tubería transferido a un carril donde el combustible se almacena bajo extremadamente altas presiones de hasta 35.000 psi.

Los motores Cummins son conocidos porque trabajan duro, son duraderos y rinden extremadamente bien en las arduas condiciones de operación de Latinoamérica – y el ISX no es una excepción. Cummins continúa a la delantera en la producción de motores diesel de trabajo pesado. Una característica del motor ISX es el árbol de levas doble con válvulas en la culata con un conjunto de levas que impulsan el sistema de inyección de combustible de alta presión y un segundo árbol de levas con levas especialmente diseñadas para optimizar la operación del freno de motor integral que ofrece hasta 447 kW [600 HP] de frenado.

La longevidad se logra utilizando un motor de seis cilindros de gran cilindrada (15 litros/915 pulg3), pistones más grandes y cojinetes más grandes – lo que aumenta la duración y el tiempo en servicio productivo.

La economía de combustible es una alta prioridad. Cummins ha desarrollado varias características que mejoran el consumo de combustible: Control de velocidad basado en carga, protección para bajar cambios, y administración de ralentí, entre otras.

El ECM (Módulo de Control Electrónico) utilizado en el ISX permite el uso de las últimas funciones de diagnóstico, monitorización de información de viaje y

protección de motor como parte integral del motor, sin que se requiera instalar equipos pos mercado.

Figura 2. Motor ISX



Fuente. Cummins Engine Company, Inc. Manual de Operación y Mantenimiento Motores Signature e ISX

1.3.4.1 Especificaciones Generales El motor ISX tiene las siguientes especificaciones generales:

ISX.....	400 – 450 hp
Velocidad del Motor:	
400 a 450 hp.....	1800 rpm
500 a 600 hp.....	2000 rpm
Desplazamiento.....	15 litros [912 C.I.D.]
Diámetro y Carrera.....	137 mm [5.40 pulg.] x 169 mm [6.65 pulg.]
Peso del Motor Seco.....	1202 kg [2650 lb]
Peso del Motor Húmedo.....	1266 kg [2790 lb]
Orden de Encendido.....	1-5-3-6-2-4
Rotación del Cigüeñal (vista desde el frente del motor). Sentido manecillas del reloj	
Ajuste Superior:	
Ajuste de la Válvula de Admisión.....	0.36 mm [0.014 pulg.]
Ajuste de la Válvula de Escape.....	0.69 mm [0.027 pulg.]
Torque de Ajuste del Juego del Inyector.....	8 N•m [70 lb-pulg.]
Ajustes del Freno del Motor.....	7.00 mm [0.276 pulg.]

1.3.4.2 Sistema de combustible Restricción Máxima Permisible a la Bomba con o sin Enfriador de Combustible:

Con Filtro Limpio.....	254 mm Hg [10 pulg. Hg]
Con Filtro Sucio.....	356 mm Hg [14 pulg. Hg]
Restricción Máxima Permisible en Conexión Opcional del OEM:	
Filtro de Combustible Montado en el Módulo del Sistema de Combustible Integrado....	76 mm Hg [3 pulg. Hg]
Filtro de Combustible Montado Remoto:	
Con Filtro Limpio.....	152 mm Hg [6 pulg. Hg]
Con Filtro Sucio.....	254 mm Hg [10 pulg. Hg]
Restricción Máxima Permisible de la Línea de Retorno de Combustible.....	229 mm Hg [9 pulg. Hg]
Capacidad Mínima Permisible de Ventilación del Tanque de Combustible.....	2.0 m3/hr [70 pies3/hr]
Máxima Temperatura Permisible de Entrada de Combustible.....	71°C [160°F]
Resistencia del Solenoide de Cierre de Combustible	
12 VCD:	
20 a 25°C [68 a 78°F].....	7 a 8 ohms
Otras Temperaturas.....	6 a 10 ohms

1.3.4.3 Sistema de aceite lubricante El sistema de lubricación se maneja bajo los siguientes parámetros:

Presión de Aceite en Ralentí (mínima permisible en temperatura de aceite de 93°C [200°F])	103 kPa [15 psi]
Presión de Aceite en Velocidad Gobernada Sin Carga (solamente automotriz e industrial)	41 a 276 kPa [35 a 40 psi]
Capacidad de Aceite de Motor Estándar:	
Capacidad del Filtro de Combinación de Flujo Pleno/Derivación...	3.78 litros [1 gal.]
Capacidad del Cáster de Aceite:	
Alta.....	41.6 litros [11 gal.]
Baja.....	34.1 litros [9 gal.]
Capacidad de Cambio de Aceite (cáster de aceite y filtro llenados a capacidad).....	45.4 litros [12 gal.]
Rango de Presión de Aceite:	
Motor Frío.....	Hasta 900 kPa [130 psi]
Motor Caliente.....	241 a 276 kPa [35 a 40 psi]

1.3.4.4 Sistema de enfriamiento En cuanto al sistema de enfriamiento del motor se dan los siguientes parámetros:

Capacidad de Refrigerante (solamente el motor).....	24 litros [25 cuartos]
Rango del Termostato de Modulación Estándar.....	82 a 93°C [180 a 200°F]
Presión Máxima de Refrigerante	
(Exclusivo del tapón de presión - termostato cerrado en la máxima velocidad gobernada sin carga).....	
	227 kPa [33 psi]

Temperatura de Activación de la Alarma del Refrigerante.....	107°C [225°F]
Temperatura Máxima Permisible del Tanque Superior.....	107°C [225°F]
Temperatura Mínima Recomendada del Tanque Superior.....	70°C [158°F]
Merma Mínima Permisible ó 10 Por Ciento de la Capacidad del Sistema (lo que sea mayor).....	2.4 litros [2.5 cuartos]
Tapón de Presión Mínima Recomendado.....	50 kPa [7 psi]
Régimen Mínimo de Llenado (sin alarma de nivel bajo).....	19 litros/min. [5 gpm]
Tiempo Máximo de Deaereación.....	25 minutos
Temperatura de Refrigerante para activación del Ventilador.....	99°C [210°F]
Temperatura del Aire de Admisión para activación del Ventilador.....	65.6°C [150°F]
Temperatura de Apertura de la Persiana:	
Refrigerante.....	85°C [185°F]
Aire de Admisión.....	65.6°C [150°F]
Cubiertas contra el Frío.....	Área de pasaje de aire 775 cm ² [120 pulg. ²]

1.3.4.5 Sistema de admisión de aire El sistema de admisión de aire tenemos los siguientes parámetros:

Elevación Máxima de Temperatura entre Aire Ambiente y Entrada de Aire del Motor (ambiente arriba de 0°C [32°F]).....	11°C [20°F]
Restricción Máxima de Entrada (filtro limpio) Elemento de Servicio Normal.....	250 mm H ₂ O [10 pulg. H ₂ O]
Restricción Máxima de Entrada (filtro sucio).....	635 mm H ₂ O [25 pulg. H ₂ O]
Máxima Caída Permisible de Presión a Través del Enfriador de Carga de Aire:	
Psi.....	13.5 kPa [2 psi]
Hg (mercurio).....	102 mm Hg [4 pulg. Hg]

1.3.4.6 Sistema de escape Contrapresión Máxima Permisible del Escape Creada por la Tubería y el Silenciador:

- Hg (mercurio).....	76 mm Hg [3 pulg. Hg]
- H ₂ O (agua).....	1016 mm H ₂ O [40 pulg. H ₂ O]
Tamaño del Tubo de Escape (diámetro interior normalmente aceptable)...	127 mm [5 pulg.] ⁶

⁶ Cummins Engine Company, Inc. Manual de Operación y Mantenimiento Motores Signature e ISX

2 TRIBOLOGÍA

La palabra tribología se deriva del término griego tribos, el cual se entiende como “frotamiento o rozamiento”, así que la interpretación de la palabra puede ser, “la ciencia del rozamiento”.

Los diccionarios definen a la tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas. La tribología es el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, llámese, confiabilidad, mantenimiento, y desgaste del equipo técnico, abarcando desde la tecnología aeroespacial hasta aplicaciones domésticas. El entendimiento de las interacciones superficiales en una interface requiere tener conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, reología, lubricación, diseño de máquinas, desempeño y confiabilidad.

En general, todo cuerpo en movimiento forma parte de un sistema Tribológico en el que pueden intervenir dos o más sólidos, sólidos y líquidos, así como también líquidos y gases. En muchos aspectos de nuestra vida diaria, nos encontramos con una manifestación tribológica.

2.1 TRIBOLOGÍA A TRAVÉS DE LA HISTORIA

La tribología podría parecer algo nuevo, pero solamente el término como tal lo es, ya que el interés en temas relacionados con la disciplina existe desde antes de que la historia se escribiera. Como un ejemplo, se sabe que las “brocas” realizadas durante el periodo Paleolítico para perforar agujeros o para producir fuego, eran “fijados” con rodamientos hechos de cornamentas o huesos.

Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 a.C., lo cual ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, esto se ve en el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de monumentos. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante.

El artista-científico renacentista Leonardo Da Vinci fue el primero que postuló un acercamiento a la fricción. Da Vinci dedujo la leyes que gobiernan el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el primero en introducir el concepto del coeficiente de fricción. Desafortunadamente sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons

redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas.

Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia referente al tema, científicos como Charles Agustín de Coulomb, Robert Hooke, Isaac Newton, entre otros, aportaron conocimientos importantes para el desarrollo de esta ciencia.

Al surgir la revolución industrial el desarrollo tecnológico de la maquinaria para producción avanzó rápidamente. El uso de la potencia del vapor permitió nuevas técnicas de manufactura. En los inicios del siglo veinte, desde el enorme crecimiento industrial hasta la demanda de una mejor tribología, el conocimiento de todas las áreas de la tribología se expandió rápidamente.⁷

2.2 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LA TRIBOLOGÍA

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste.

La tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son:

- Rodamientos
- Frenos y embragues
- Sellos
- Anillos de pistones
- Engranajes y Levas

Las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos, aunque en la práctica no se nombren como tales, son:

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento)
- Turbinas
- Extrusión
- Rolado
- Fundición
- Forja
- Procesos de corte (herramientas y fluidos)
- Elementos de almacenamiento magnético
- Prótesis articulares (cuerpo humano)

⁷ DIAZ, Felipe. Tribología: fricción, desgaste y lubricación. [citado 24 de marzo de 2013] Disponible en <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

La aplicación de los conocimientos de la Tribología en estas prácticas deriva en:

- Ahorro de materias primas
- Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria
- Ahorro de recursos naturales
- Ahorro de energía
- Protección al medio ambiente
- Ahorro económico

2.3 FRICCIÓN

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Las fuerzas de fricción son importantes en la vida cotidiana ya que nos permiten caminar y correr. Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo.

2.3.1 Estados de Fricción La fricción se encuentra de diferentes maneras en los diferentes componentes, a continuación se enumeran las principales y se explica cada una.

2.3.1.1 Fricción metal – metal es un estado de fricción que se presenta en diferentes fenómenos tribo técnicos. Tiene lugar en un elemento lubricado como consecuencia del rompimiento de la película límite o por agotamiento de los aditivos anti desgaste del lubricante.

2.3.1.2 Fricción pura es un estado de fricción en el cual el sistema tribológico está constituido por dos elementos que corresponden a los materiales base.

La fricción pura raras veces se encuentra en la práctica industrial y por lo general se obtiene a nivel de laboratorio, bajo un control muy riguroso de los expertos. Durante la fricción para las superficies están libres de cualquier película contaminante. La magnitud del coeficiente de fricción pura varía entre 0.80 a 10 o más.

2.3.1.3 Fricción solida estado de fricción en el cual el sistema tribológico estará constituido por tres elementos que presentan características de cuerpos sólidos. Durante la fricción solida el tercer elemento está presente en forma de capas de un compuesto adheridas al metal base. En la práctica industrial este estado de fricción base se haya ampliamente difundido. Se entienden como compuestos la

película límite de aditivo anti desgaste, las capas de óxido, humedad, los vapores, etc. La magnitud del coeficiente de fricción varía en el rango de 0.20 – 0.80.

2.3.1.4 Fricción fluida es un estado de fricción el cual el sistema tribológico está constituido por lo menos por tres elementos, presentando uno de ellos prioridades líquidas.

La obtención de la fricción fluida está condicionada a la existencia de un lubricante líquido que separa las superficies de los elementos sólidos, que constituyen el sistema tribológico.

2.3.1.5 Fricción hidrodinámica estado de fricción en el cual las condiciones hidrodinámicas se logran a través del movimiento relativo del par friccionante, cuando se encuentra sometido a determinadas condiciones de velocidad y de carga. En este estado de fricción juega un papel muy importante la viscosidad del lubricante empleado. Los valores del coeficiente de fricción varían en el rango de 0.001 a 2.002 en dependencia de la viscosidad del lubricante.

2.3.1.6 Fricción hidrostática es un estado de fricción que se presenta en aquellos mecanismos que giran a bajas velocidades y que soportan altas cargas y donde, para formar la película hidrodinámica es necesario inyectar aceite a presión antes y durante el movimiento del mecanismo.

2.3.1.7 Fricción gaseosa es un estado de fricción el cual el sistema tribológico está constituido por lo menos por tres elementos y uno de ellos presenta propiedades gaseosas.

Dentro de la fricción gaseosa, una de las formas más difundidas es la que utiliza el aire como elemento gaseoso y este separa las superficies de los elementos sólidos que constituyen el sistema tribológico. La fricción aerodinámica se logra a través del movimiento relativo de los elementos sólidos mientras que la aerostática se alcanza por medio de una presión exterior.

2.3.1.8 Fricción mixta es un estado de fricción integrado por lo menos por dos estados de fricción que se presentan simultáneamente en un sistema tribológico. La fricción mixta, formada por los estados de fricción sólida y fluida se encuentra ampliamente difundida en la práctica industrial, sobre todo en aquellas uniones tribo técnicas que se caracterizan por bajas velocidades y grandes cargas (lubricación elastohidrodinámica o EHL).

Durante la fricción mixta, las propiedades de los materiales (elasticidad), que constituyen la unión, juegan un papel de primer orden. La magnitud del coeficiente de fricción mixta varía entre 0.05 – 0.20.⁸

2.3.2 Coeficiente de fricción Es la relación existente entre la fuerza necesaria para mover un cuerpo sobre la superficie y la que dicho cuerpo ejerce sobre ella perpendicularmente. Si el cuerpo está en reposo, la fuerza necesaria para ponerlo en movimiento debe vencer la fricción estática, pero si se encuentra ya en movimiento, bastara que la fuerza impulsora sea igual a la fricción cinética. El coeficiente de fricción es igual a 1 si para mover un peso de 100 kg. Sobre una superficie, se requiere un esfuerzo de 100 kg. El coeficiente de fricción estático es mayor que el cinético.

La fricción produce desgaste y la severidad de este depende de la naturaleza de las superficies, por lo tanto, La función primordial de un lubricante es disminuir el coeficiente de fricción.

2.3.2.1 Medida de la fricción La medición de la fricción se hace por medio del coeficiente de fricción f , el cual envuelve dos factores: F , la fuerza requerida para iniciar o sostener el deslizamiento y N , la fuerza normal que mantiene juntas las dos superficies.

$$f = F/N$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción.

F = Fuerza de fricción que se opone al movimiento.

N = Carga perpendicular a la superficie.

2.3.2.2 Velocidad de deslizamiento En la práctica, algunos materiales deslizan a altas velocidades, produciendo un alto coeficiente de fricción, como el caso del caucho de las ruedas sobre el pavimento de la carretera.

2.3.2.3 Temperatura Generalmente tiene poco efecto sobre el coeficiente de fricción de metales, hasta que la temperatura comienza a ser suficientemente alta para aumentar la tasa de oxidación (la cual produce un decrecimiento del coeficiente de fricción).

⁸ ALBARRACIN, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz: Tomo I, 4 edición. Pag.27-28

2.3.2.4 Régimen de arranque o inicio Algunas veces se registra un arranque rápido a partir del reposo produciendo un bajo coeficiente inicial de fricción.

2.3.2.5 Presión de contacto En algunos casos, se analiza el coeficiente de fricción vs la proporción de carga aplicada. Lo primero que debe tenerse en cuenta es que el coeficiente de fricción normalmente decrece a medida que la carga aplicada aumenta.

2.4 DESGASTE

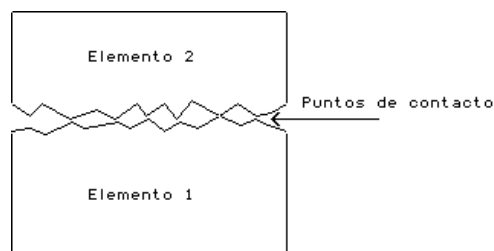
El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interface de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han identificado seis tipos principales de desgaste, como sigue:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo

A continuación se explica brevemente cada uno de ellos:

2.4.1 Desgaste adhesivo Esta forma de desgaste ocurre cuando dos superficies se deslizan una contra otra bajo presión. Los puntos de contacto (ver figura 3), proyecciones microscópicas o la aspereza de la unión en la interface donde ocurre el deslizamiento debido a los altos esfuerzos localizados, llevan a que las fuerzas de deslizamiento fracturen la unión, desgarrando al material de una superficie y transfiriéndolo a otra, lo que puede ocasionar posteriormente mayor daño.

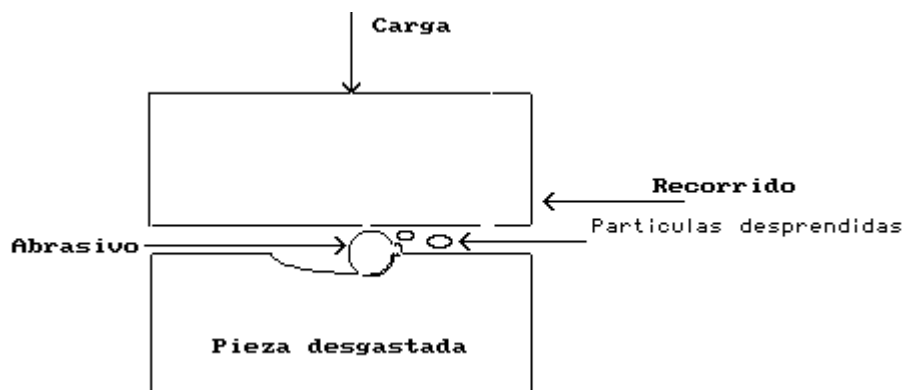
Figura 3. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento



Fuente. <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

2.4.2 Desgaste por abrasión Es la remoción de material de la superficie en contacto por superficies duras en superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan un movimiento relativo en la superficie desgastada. Cuando es el caso de partículas duras, ellas pueden encontrarse entre las dos superficies que se deslizan entre sí como se muestra en la figura 2 o se podrían incrustar en cualquiera de las superficies. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido.

Figura 4. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras



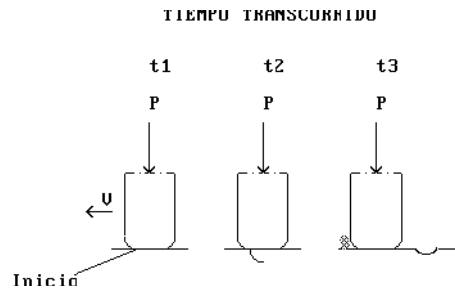
Fuente. <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

2.4.3 Desgaste por ludimiento Esta forma de desgaste aparece como resultado del movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración entre las partes.

2.3.4 Desgaste por fatiga superficial Es probable que el modo predominante de la mayoría de los tipos de desgaste sea por desprendimiento de material de la superficie por fatiga, ya sea que la naturaleza del movimiento sea unidireccional o de vaivén. Clasificar un tipo particular de falla como desgaste por fatiga puede ser confuso. Sin embargo, a fin de hacer una clasificación, el término desgaste por fatiga se reserva para identificar la falla de contactos lubricados en casos como los rodamientos de bolas o rodillo, engranes, levas y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento de superficiales y por picaduras, como en los engranes.

Se piensa que las grietas por fatiga aparecen debajo de la superficie en un punto en que el esfuerzo cortante es máximo, figura 5.

Figura 5. Desgaste por fatiga superficial

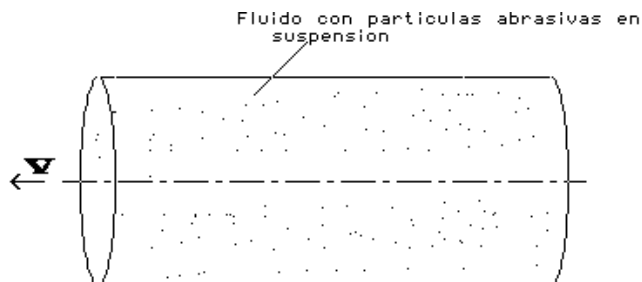


Fuente. <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

Obviamente, puede lograrse un mejoría en la vida de estos elementos, si trabaja a un carga de contacto baja y el método más preferido en la industria es producir componentes con la profundidad óptima de capa endurecida junto con un buen acabado superficial. El propósito de esta capa externa dura tal como se obtiene por carburación, nitruración o sulfurización es proporcionar una superficie con un alto límite de resistencia en una región vulnerable a la iniciación de grietas.

2.3.5 Desgaste erosivo Este tipo de desgaste ocasiona pérdidas de material en la superficie por el contacto con un líquido que contiene en suspensión cierta cantidad de partículas abrasivas como se muestra en la figura 6, siendo esencial el movimiento relativo entre el fluido y la superficie, ya que la fuerza de las partículas, que de hecho son responsables del daño, se aplica cinéticamente. En el desgaste erosivo es donde el movimiento relativo de las partículas sólidas es casi paralelo con las superficies erosionadas se denomina erosión abrasiva, por otro lado, la erosión en la que el movimiento relativo de las partículas es casi normal (perpendicular) a la superficie erosionada se conoce como erosión bajo impacto.

Figura 6. Desgaste erosivo debido a la acción de un fluido con partículas abrasivas en suspensión



Fuente. <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

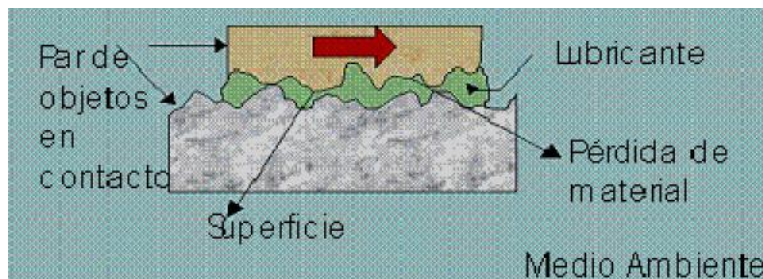
2.3.6 Desgaste corrosivo En esta forma de desgaste las reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente contribuyen significativamente en la velocidad del desgaste. En algunas ocasiones, las reacciones químicas ocurren primero y son seguidas por una remoción de los productos de la corrosión mediante una acción mecánica (abrasión), de otra manera, la acción mecánica podría preceder a la acción química dando como resultado la creación de pequeñas partículas de desperdicio.⁹

2.5 LUBRICACIÓN

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste como se muestra en la figura 7.

El lubricante en la mayoría de los casos es aceite mineral. En algunos casos se utiliza agua, aire o lubricantes sintéticos cuando hay condiciones especiales de temperatura, velocidad, etc.

Figura 7. Película de lubricante entre dos cuerpos en contacto



Fuente. <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

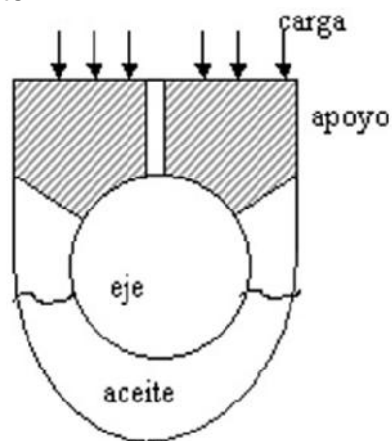
Históricamente, es interesante señalar que únicamente con la mejora de los procesos de fabricación de elementos metálicos (a partir de la revolución industrial) y el aumento de las velocidades de giro de ejes (por encima de las habituales de un carro o un molino) la lubricación hidrodinámica se convierte en el tipo normal de lubricación y empieza a ser estudiada.

⁹ DIAZ, Felipe. Tribología: fricción, desgaste y lubricación. [citado 24 de marzo de 2013] Disponible en <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

La lubricación con grasas (lubricación límite) recibió una atención especial desde hace ya muchos años. Un gran número de famosos investigadores realizó experimentos sobre lubricación: Leonardo da Vinci (1508), Amontons (1699), Euler (1748), Coulomb (1809). Amontons y Coulomb hallaron que la fuerza de fricción F que hay que vencer para mover un cuerpo respecto a otro es proporcional a la carga normal aplicada P : es decir existe una constancia del cociente P/F , llamado coeficiente de fricción. Los primeros trabajos sobre un eje con cojinetes trabajando en condiciones hidrodinámicas fueron realizados por Pauli (1849) y Hirn (1854). Estos trabajos fueron analizados por el científico ruso Petroff en 1883. Tower entre 1883 y 1885 demostró que se generaban en este tipo de cojinetes unas presiones elevadas: este hecho fue explicado en 1886 por Reynolds que demostró que era necesaria una forma convergente en la película para que se generara un aumento de presión.

Los experimentos de Tower resultaron claves en el desarrollo de esta teoría. Tower estaba encargado de estudiar la fricción en los soportes de los ejes de los carros de ferrocarril y de ver el mejor medio de lubricarlos. En el curso de una de sus investigaciones vio que uno de sus cojinetes parciales tenía un coeficiente de fricción muy bajo (4" de diámetro, 6" de longitud, arco de contacto 157°). Tower practicó un agujero en el apoyo tal como se ve en la figura 8 y vio que la presión que se generaba al girar el eje era elevada. Esto le llevó a hacer un estudio de la distribución de presiones a lo ancho del cojinete.¹⁰

Figura 8. Un eje y su cojinete



Fuente. <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

¹⁰ DIAZ, Felipe. Tribología: fricción, desgaste y lubricación. [citado 24 de marzo de 2013] Disponible en <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

2.5.1 Teoría de la lubricación La industria de lubricantes constantemente mejora y cambia sus productos a medida que los requerimientos de las maquinas nuevas cambian y nuevos procesos químicos y de destilación son descubiertos. Los lubricantes son materiales puestos en medio de partes en movimiento con el propósito de brindar enfriamiento (transferencia de calor), reducir la fricción, limpiar los componentes, sellar el espacio entre los componentes, aislar contaminantes y mejorar la eficiencia de operación.

Por ejemplo, los lubricantes desempeñan también la función de "selladores" ya que todas las superficies metálicas son irregulares (vistas bajo microscopio se ven llenas de poros y ralladuras) y el lubricante "llena" los espacios irregulares de la superficie del metal para hacerlo "liso", además sellando así la "potencia" transferida entre los componentes. Si el aceite es muy ligero (baja viscosidad), no va a tener suficiente resistencia y la potencia se va a "escapar"...si el aceite es muy pesado o grueso (alta viscosidad), la potencia se va a perder en fricción excesiva (y calor). Si el aceite se ensucia, actuará como abrasivo entre los componentes, gastándolos.

Otro ejemplo: los lubricantes también trabajan como limpiadores ya que ayudan a quitar y limpiar los depósitos producidos por derivados de la combustión (una especie de carbón que es una mezcla de combustible quemado, agua y productos de la descomposición del lubricante mismo). Si el aceite es muy ligero, no va a poder limpiar lo suficiente y no proveerá aislamiento de esta "basura"; si es muy pesado se va a mover muy despacio y no va a poder entrar en los lugares más ajustados. El aceite sucio, sea pesado o ligero, simplemente seguirá agregando "basura", sin ayudar a la limpieza. El aceite "justo" va a ayudar a remover la "basura" y mandarla al filtro. En general la función limpiadora del lubricante es ayudada con un filtro, para que el aceite pueda retornar (limpia, una vez que pasó por el filtro) a limpiar una vez más las superficies bajo presión y fricción.

Otro uso de lubricantes es para impartir o transferir potencia de una parte de la maquinaria a otra, por ejemplo en el caso de sistemas hidráulicos (bomba de dirección, etc.). No todos los lubricantes sirven para esto y no todos los lubricantes deben cumplir esta función. Los lubricantes también contribuyen al enfriamiento de la maquinaria ya que absorben calor de las zonas de alta fricción hacia otros lados (radiadores, etc.) enfriándola antes de la próxima pasada.

2.5.2 Aplicación de la lubricación La aplicación típica en ingeniería mecánica es el cojinete, constituido por muñón o eje, manguito o cojinete.

Los principales campos de aplicación son:

- Cojinetes del cigüeñal y bielas de un motor (vida de miles de km)
- Cojinetes de turbinas de centrales (fiabilidad de 100%)

Los factores a considerar en diseño son técnicos y económicos:

- Cargas aplicadas y condiciones de servicio.
- Condiciones de instalación y posibilidad de mantenimiento.
- Tolerancias de fabricación y funcionamiento; vida exigida.
- Costo de instalación y mantenimiento.

El estudio de la lubricación está basado en la:

- Mecánica de fluidos.
- Termodinámica y transmisión de calor.
- Mecánica de sólidos, materiales.

2.5.3 Tipos de lubricación El tipo de lubricación que cada sistema necesita se basa en la relación de los componentes en movimiento. Hay tres tipos básicos de lubricación: límite, hidrodinámica, y mezclada. Para saber qué tipo de lubricación ocurre en cada caso, necesitamos saber la presión entre los componentes a ser lubricados, la velocidad relativa entre los componentes, la viscosidad del lubricante y otros factores. Desde hace relativamente poco tiempo se ha empezado a hablar de un cuarto tipo de lubricación: Elasto-hidrodinámica.

2.5.3.1 La Lubricación Límite Ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante lubricación límite, hay contacto físico entre las superficies y hay desgaste. La cantidad de desgaste y fricción entre las superficies depende de un número de variables: la calidad de las superficies en contacto, la distancia entre las superficies, la viscosidad del lubricante, la cantidad de lubricante presente, la presión, el esfuerzo impartido a las superficies, y la velocidad de movimiento.

La mayor cantidad del desgaste ocurre al prender el motor. Esto sucede por la baja lubricación límite, ya que el aceite se ha "caído" de las piezas al fondo del cárter...produciendo contacto de metal-a-metal. Una vez que arrancó el motor, una nueva capa de lubricante es establecida con la ayuda de la bomba de aceite a medida que los componentes adquieren velocidad de operación.

Figura 9. Engranés a baja velocidad



Fuente. http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

2.5.3.2 Lubricación Hidrodinámica En algún momento de velocidad crítica la lubricación límite desaparece y da lugar a la Lubricación Hidrodinámica. Esto sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante.

Esta condición existe una vez que una película de lubricante se mantiene entre los componentes y la presión del lubricante crea una "ola" de lubricante delante de la película que impide el contacto entre superficies. Bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar ingredientes anti-desgaste y de alta presión en las fórmulas de lubricantes. Y el desgaste sería mínimo. La propiedad que más afecta lubricación hidrodinámica es la viscosidad. La viscosidad debe ser lo suficientemente alta para brindar lubricación (límite) durante el arranque del motor con el mínimo de desgaste, pero la viscosidad también debe ser lo suficientemente baja para reducir al mínimo la "fricción viscosa" del aceite a medida que es bombeada entre los metales (cojinetes) y las bancadas, una vez que llega a convertirse en lubricación hidrodinámica. Una de las reglas básicas de lubricación es que la menor cantidad de fricción innecesaria va a ocurrir con el lubricante de menor viscosidad posible para cada función específica. Esto es que cuanto más baja la viscosidad, menos energía se desperdicia bombeando el lubricante.

Por ejemplo, los que corren los "Dragsters" de NHRA y IHRA en el cuarto de milla en los Estados Unidos (USA) le ponen aceite del "SAE 0" ó "SAE 5", pues reduce la fricción interior del motor, dándoles máxima potencia (pero alto desgaste, ya

que la viscosidad es demasiado baja). Ellos quieren la mayor cantidad de HP, y no les importa si hay desgaste, ya que desarmen el motor después de cada carrera.

2.5.3.3 La Lubricación Mezclada Es exactamente eso una mezcla inestable de lubricación límite e hidrodinámica. Por ejemplo, cuando enciendes el motor (o cuando arranca un componente, si es otro equipo), la velocidad de los componentes aumenta velozmente y por una pequeña fracción de segundo se produce lubricación mezclada. En otras situaciones, cuando el esfuerzo y la velocidad de los componentes varía ampliamente durante el uso (durante manejo en montaña o en tráfico, por ejemplo) la temperatura puede hacer que el lubricante se "queme" más rápido y que así la lubricación hidrodinámica sea difícil de adquirir (ya que el lubricante ha perdido el beneficio de ciertos aditivos que se "quemaron"), dejando así el motor trabajando en una condición de lubricación mezclada, que producirá más desgaste.

Por ejemplo, mucha gente anda en un cambio (velocidad) más alto que el que deben usar, cosa que causa pocas vueltas de motor, y tal vez menor consumo, pero aumenta el desgaste tremendamente. ¿Cómo es eso? Supongamos que un motor viene en 3ra a 3.000 rpm, o en 4ta a 2.000 rpm y que el vehículo se acerca a una pendiente o cuesta, el conductor decide dejarlo en 4ta para subir, el motor empieza a trabajar más duro (mayor esfuerzo) para subir, la temperatura interior y el esfuerzo interno del motor aumenta, pero las revoluciones (que se reflejan en el tacómetro) del motor no, el aceite se calienta, la fricción aumenta ¿por qué?, porque el motor levanta presión, temperatura y fricción en la subida, y no en la bajada. Al aumentar el esfuerzo, sería lógico aumentar la cantidad de aceite que pasa por cada superficie bajo fricción, pero al dejar el motor en 4ta, las revoluciones siguen siendo 2.000, como en la recta antes de la subida, por más que el esfuerzo del motor es mucho mayor en la subida y para mantener buena lubricación se necesitarían más revoluciones en el motor. ¿Qué se debería de hacer?, bajarle un cambio o velocidad! Se debe aumentar las revoluciones para que la bomba de aceite pueda mandar más lubricante sobre los componentes bajo mayor fricción.

Es más o menos así: Si se deja la lubricación constante (al dejarlo en ralentí) pero aumentamos el esfuerzo del motor, aumentará el desgaste.

Si aumenta el esfuerzo, entonces aumentan las revoluciones del motor (bajándole un cambio de la caja de velocidades) para aumentar la lubricación, ya que al levantar vueltas, se acelera la bomba de aceite.

Esto es un ejemplo de lubricación hidrodinámica perdiendo efecto y convirtiéndose en lubricación mezclada (de alto desgaste de componentes). Lo bueno es que las

subidas no son eternas, así que ningún motor trabaja en condiciones de lubricación mezclada 100% del tiempo, si no, no duraría mucho.

2.5.3.4 Lubricación Elasto-Hidrodinámica (EHL) La lubricación EHL se presenta en mecanismos en los cuales las rugosidades de las superficies en movimiento relativo trabajan siempre entrelazadas y las crestas permanentemente se están deformando elásticamente. Bajo estas condiciones de operación, el control del desgaste adhesivo y el consumo de energía por fricción dependen de la película límite adherida a las rugosidades y de las capas de aceite de la película hidrodinámica que se forma cuando el lubricante es sometido a elevadas presiones, en el momento de la deformación elástica de las crestas.

- a) **Las Películas delgadas:** No son lo suficientemente gruesas como para mantener una separación total entre las superficies en todo momento. También llamadas lubricación a películas mixtas o límite. Cuando no es práctico o posible el suministro de suficiente cantidad de lubricante, las superficies se mueven bajo condiciones de película lubricante muy finas. Sin embargo, aun, en estos casos, existe suficiente aceite de forma que parte de la carga alcanza a ser soportada por la película lubricante y parte por el contacto metal-metal entre las superficies.
- b) **Las Películas sólidas:** Permanecen adheridas a las superficies en movimiento casi permanentemente. La forma más simple de película lubricante ocurre cuando se aplica un lubricante sólido de baja fricción a un agente, grasa o aceite y se aplica en forma más o menos parecida a un lubricante fluido normal. El lubricante sólido actúa cuando su agente ha sido desplazado o evaporado como en el caso de solventes, permaneciendo en la zona de contacto y realizando su trabajo de lubricación. También se aplican lubricantes sólidos en forma directa, mezclados con resinas o se combinan con algunos elementos de los equipos, conocidos como elementos sectorizados.¹¹

¹¹ Tribología y Lubricantes. [citado 31 de marzo de 2013] Disponible en http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

3 FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES

Los lubricantes no solamente disminuyen el rozamiento entre los materiales, sino que también desempeñan otras importantes misiones para asegurar un correcto funcionamiento de la maquinaria, manteniéndola en estas condiciones durante mucho tiempo. Entre estas otras funciones, cabe destacar las siguientes:

- **Lubricar:** Minimiza el desgaste de los componentes, se reduce el ruido, se aprovecha mejor la transmisión de fuerza ahorrando energía y combustible.
- **Evitar el desgaste por frotamiento**
- **Ahorrar energía:** Evitando que se pierda en rozamientos inútiles que se oponen al movimiento, y generan calor.
- **Refrigeración:** El aceite contribuye a mantener el equilibrio térmico de la máquina, disipando el calor que se produce en la misma como consecuencia de frotamientos, combustión, etc. Esta función es especialmente importante (la segunda más importante después de lubricar), en aquellos casos en que no exista un sistema de refrigeración, ó éste no tenga acceso a determinados componentes de la máquina, que únicamente puede eliminar calor a través del aceite (cojinetes de biela y de bancada, parte interna de los pistones en los motores de combustión interna). En general, se puede decir que el aceite elimina entre un 10% y un 25% del calor total generado en la máquina.
- **Eliminación de impurezas:** En las máquinas y equipos lubricados se producen impurezas de todo tipo; algunas por el propio proceso de funcionamiento (como la combustión en los motores de explosión), partículas procedentes de desgaste o corrosión y contaminaciones exteriores (polvo, agua, etc.). El lubricante debe eliminar por circulación estas impurezas, siendo capaz de mantenerlas en suspensión en su seno y llevarlas hasta los elementos filtrantes apropiados.
Esta acción es fundamental para conseguir que las partículas existentes no se depositen en los componentes del equipo y no aceleren un desgaste en cadena, puedan atascar conductos de lubricación o producir consecuencias nefastas para las partes mecánicas lubricadas. Podemos decir que el lubricante se ensucia para mantener limpia la máquina.
- **Anticorrosivo y anti desgaste:** Los lubricantes tienen propiedades anticorrosivas y reductoras de la fricción y el desgaste naturales, que pueden incrementarse con aditivos específicos para preservar de la corrosión diversos tipos de metales y aleaciones que conforman las piezas y estructuras de equipos ó elementos mecánicos.
- **Sellante:** El lubricante tiene la misión de hacer estancas aquellas zonas en donde puedan existir fugas de otros líquidos ó gases que contaminan el aceite y reducen el rendimiento del motor. La cámara de combustión en los

- motores de combustión interna y los émbolos en los amortiguadores hidráulicos son dos ejemplos donde un lubricante debe cumplir esta función.
- Transmisor de energía: Es una función típica de los fluidos hidráulicos en los que el lubricante además de las funciones anteriores, transmite energía de un punto a otro del sistema.

3.1 Características Físicas

Estas características son de gran valor para permitir uniformidad de los diferentes productos durante su elaboración. También son útiles para determinar los aceites adecuados para cada aplicación de acuerdo con las especificaciones de los OEMs. Así mismo se emplean en los aceites usados para identificar variaciones en sus características y sus posibles causas.

- **Densidad y gravedad:** La densidad es la razón entre el peso de un volumen dado de aceite y un volumen igual de agua. La densidad está relacionada con la naturaleza del crudo de origen y el grado de refinado. En ocasiones, se usan otras características para definir el aceite en lugar de su densidad, aunque están directamente relacionadas con ella. La gravedad específica se define como la relación entre un cierto volumen de producto y el mismo volumen de agua destilada a 4°C. En Estados Unidos suele usarse la gravedad API, esta es una escala que expresa la gravedad o densidad del aceite, medida en grados API. La densidad es la razón entre el peso de un volumen de aceite y el peso de un volumen igual de agua.
- **Punto de inflamación:** Es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende suficientes vapores que se encienden instantáneamente al aplicárseles una llama abierta.
- **Punto de fluidez:** Es la mínima temperatura a la cual un líquido fluye cuando se es enfriado bajo condiciones de prueba.
- **Viscosidad:** La viscosidad es una de las propiedades más importantes de un lubricante. De hecho, buena parte de los sistemas de clasificación de los aceites están basados en esta propiedad. La temperatura estándar para el agua y el aceite es de 60°F. En otros países la temperatura es de 15°C (59°F) para el aceite y 4°C para el agua, si bien en algunos casos se utilizan 15°C para el agua y el aceite.

3.1.1 Viscosidad La viscosidad es la principal característica de la mayoría de los productos lubricantes. Es la medida de la fluidez a determinadas temperaturas. Si la viscosidad es demasiado baja la película lubricante no soporta las cargas entre

las piezas y desaparece del medio sin cumplir su objetivo de evitar el contacto metal-metal. Si la viscosidad es demasiado alta el lubricante no es capaz de llegar a todos los lugares en donde es requerido. Al ser alta la viscosidad es necesaria mayor fuerza para mover el lubricante originando de esta manera mayor desgaste en la bomba de aceite, además de no llegar a lubricar rápidamente en el arranque en frío. La medida de la viscosidad se expresa comúnmente con dos sistemas de unidades SAYBOLT (SUS) o en el sistema métrico CENTISTOKES (CST). Como medida de la fricción interna actúa como resistencia contra la modificación de la posición de las moléculas al actuar sobre ellas una tensión de cizallamiento. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm. por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm. de espesor.

La viscosidad es una propiedad que depende de la presión y temperatura y se define como el cociente resultante de la división de la tensión de cizallamiento (t) por el gradiente de velocidad D .

$$M = t/D$$

La viscosidad varía inversamente proporcional con la temperatura, por eso su valor no tiene utilidad si no se relaciona con la temperatura a la que el resultado es reportado. Un aceite delgado es menos resistente a fluir, por eso su viscosidad es baja. Un aceite grueso es más resistente a fluir y por eso tiene una viscosidad más alta. Las viscosidades de los aceites normalmente son medidas y especificadas en centistokes (cSt) a 40 °C ó 100 °C.

Con flujo lineal y siendo constante la presión, la velocidad y la temperatura, afecta la generación de calor entre superficies giratorias (cojinetes, cilindros, engranajes). Tiene que ver con el efecto sellante del aceite, determina la facilidad con que la maquinaria arranca bajo condiciones de baja temperatura ambiente.

La fricción entre moléculas genera calor; la cantidad de calor generado está en función de la viscosidad, esto también afecta a la capacidad sellante del aceite y a su consumo. La viscosidad también tiene que ver con la facilidad para ponerse en marcha de las máquinas, particularmente cuando operan en temperaturas bajas. El funcionamiento óptimo de una máquina depende en buena medida del uso del aceite con la viscosidad adecuada para la temperatura ambiente.

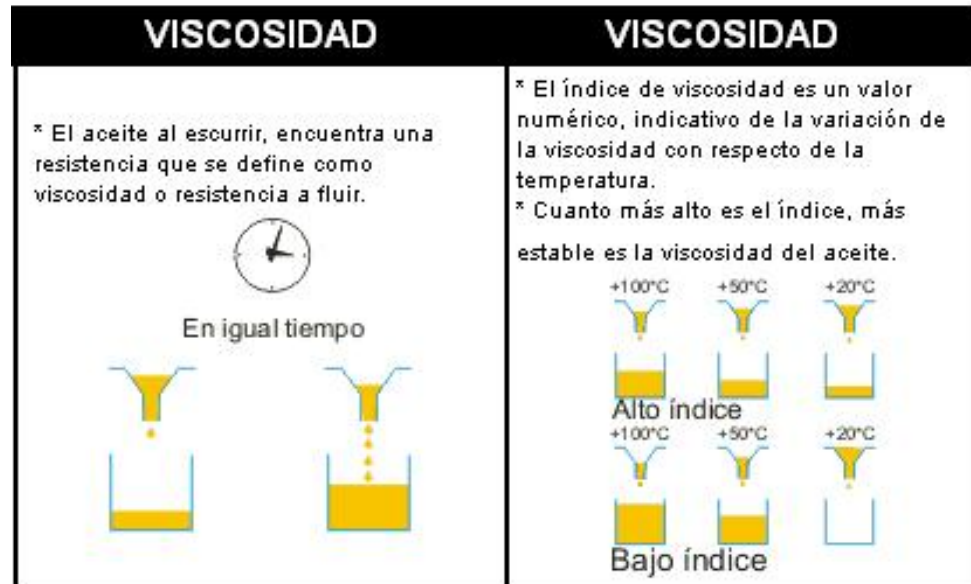
Además es uno de los factores que afecta a la formación de la capa de lubricación. La viscosidad en un fluido que depende de la presión y de la temperatura:

- Al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad.

- Al aumentar la presión aumenta la viscosidad.

La medida de la variación de la viscosidad con la temperatura es el índice de viscosidad. A mayor índice de viscosidad, mayor resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura. El índice de viscosidad se mejora con los aditivos que mejoran el índice de viscosidad.

Figura 10. Índice de viscosidad



Fuente. http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

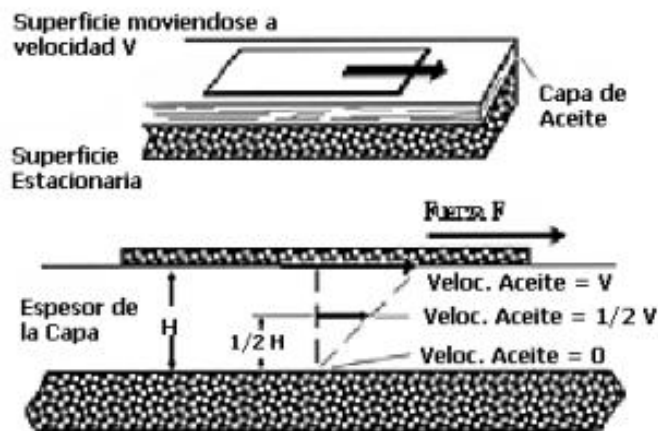
3.1.1.1 Tipos de viscosidad La viscosidad puede ser cinemática o dinámica, a continuación se describe cada una:

- **Viscosidad cinemática:** Es su viscosidad dinámica dividida por su densidad, ambos medidos a la misma temperatura, y expresada en unidades consistentes. Las unidades más comunes que se utilizan para expresar la viscosidad cinemática son: stokes (St) o centistokes (cSt, donde $1 \text{ cSt} = 0,01 \text{ St}$), o en unidades del SI como milímetros cuadrados por segundo (mm^2/s , donde $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$).
- **Viscosidad dinámica:** Normalmente se expresa en poise (P) o centipoise (cP, donde $1 \text{ cP} = 0,01 \text{ P}$), o en unidades del Sistema Internacional como pascales-segundo ($\text{Pa}\cdot\text{s}$, donde $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P}$). La viscosidad dinámica, la cual es función sólo de la fricción interna del fluido, es la cantidad usada más frecuentemente en el diseño de cojinetes y el cálculo de flujo de

aceites. Debido a que es más conveniente medir la viscosidad de manera tal que tenga en cuenta la densidad del aceite, para caracterizar a los lubricantes normalmente se utiliza la viscosidad cinemática.

El concepto básico de la viscosidad se muestra en la figura 11, donde una placa se mueve a una velocidad constante V sobre una capa de aceite. El aceite se adhiere a ambas caras de las placas, la móvil y la estacionaria. El aceite en contacto con la cara de la placa móvil viaja a la misma velocidad que ésta, mientras que el aceite en contacto con la placa estacionaria tiene velocidad nula. Entre ambas placas, se puede visualizar al aceite como si estuviera compuesto por muchas capas, cada una de ellas siendo arrastrada por la superior a una fracción de la velocidad V , proporcional a su distancia de la placa estacionaria. Una fuerza F debe ser aplicada a la placa móvil para vencer a la fricción entre las capas fluidas.

Figura 11. Concepto de viscosidad dinámica



Fuente. http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

Dado que esta fricción está relacionada con la viscosidad, la fuerza necesaria para mover la placa es proporcional a la viscosidad. La viscosidad se puede determinar midiendo la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la fricción del fluido en una capa de dimensiones conocidas. La viscosidad determinada de esta manera se llama dinámica o absoluta.

La viscosidad dinámica en centipoise se puede convertir en viscosidad cinemática en centistokes dividiéndola por la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) a la misma temperatura. La viscosidad cinemática en milímetros cuadrados por segundo se puede convertir en viscosidad dinámica en pascal-segundos multiplicando por la densidad en

gramos por centímetro cúbico y dividiendo el resultado por 1000. Resumiendo:

$$\text{Esfuerzo de corte} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}} = \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Velocidad de corte} = \frac{\text{Velocidad / del / Fluido}}{\text{Dis tan cia / entre / superficies}} = \frac{\text{cm/s}}{\text{cm}} = \text{S}^{-1}$$

$$\text{Viscosidad Absoluta} = \frac{\text{Esfuerzo / de / corte}}{\text{Velocidad / de / corte}} = \frac{\text{dinas/cm}^2}{\text{s}^{-1}} = 1P$$

$$\text{Viscosidad cinemática} = \frac{\text{Vis cosidad / Absoluta}}{\text{Densidad}} = 1\text{Stoke}$$

3.1.1.2 Unidades de medida de la viscosidad Existen unos buenos números de unidades empleadas en la medición de la viscosidad. Algunas se basan en la relación entre la fuerza aplicada y el grado de desplazamiento conseguido; otras se basan en el tiempo que tarda en fluir una determinada cantidad de líquido a través de un orificio calibrado, a una determinada temperatura, que suele ser 100°F y 210°F (37.8°C y 98.9°C). Veámoslas:

- Poise (Po): En honor de Poiseville, quien en 1844 desarrollo la ecuación de viscosidad de los gases. Es la unidad de viscosidad absoluta del sistema CGS. Se define como la fuerza en dinas necesaria para mover una placa lisa de 1 cm² de superficie separada de otra fija por una capa de líquido de 1 cm d espesor, a una velocidad de 1 cm/seg (dima x cm-2/seg). También se denomina g x cm/seg. En la práctica suele usarse su submúltiplo, el centipoise. 1 cPo=0.01 Po
- Poiseville (PI): Unidad de viscosidad absoluta del Sistema Internacional. Su definición es similar a la del Poise, pero sustituyendo las unidades CGS por las del S.I. (N x seg/m²). 1 PI= 10 Po = 1 Pa x seg
- Reynolds: Llamado así por Sir Osborne Reynolds. En la práctica se usa el micro Reynolds, su millonésima parte, dada la magnitud de la unidad fundamental.
- Stoke (St): Unidad de viscosidad cinemática del sistema CGS. Se basa en la relación entre la viscosidad dinámica de un fluido y su densidad (ver

viscosidad cinemática). También puede denominarse cm^2/seg . Suele emplearse su submúltiplo el centistokes (cSt). $1 \text{ cSt} = 0,01 \text{ St}$. La viscosidad dinámica en centipoise puede convertirse en viscosidad cinemática en centistokes dividiéndola por la densidad en g/cm^3 , a la misma temperatura.

- Metro cuadrado por segundo (m^2/seg): Unidad de viscosidad cinemática del S.I. $1 \text{ m}^2/\text{seg} = 104 \text{ St}$
- Segundos Saybolt (SUS): Indica el tiempo que tarda el fluir 60 ml de aceite a través de un tubo capilar a una temperatura dada entre 70°F y 210°F . Si el fluido es de viscosidad muy alta viscosidad se usa un tubo de mayor diámetro, expresando entonces el resultado en Segundos Saybolt Furol (SSF). Se usa sobre todo en Estados Unidos.
- Segundos Redwood: Indica el tiempo que tarda en fluir 50 ml de aceite a través un orificio calibrado. Se usa en Gran Bretaña.
- Grados Engler: Es el cociente entre el tiempo que tarda en fluir 200 ml de aceite a través de un orificio calibrado y el tiempo que tarda en fluir 200 ml de agua a través de un orificio del mismo calibre, a la misma temperatura. El resultado se da en grados Engler. Se usa sobre todo en la Europa continental.

En la actualidad, la viscosidad suele determinarse en centistokes, para luego convertirlo a otras unidades.

3.1.1.3 Instrumentos para la medición de la viscosidad Se tienen diferentes instrumentos para medir la viscosidad:

- a) Viscosímetros capilares:** Miden la velocidad de flujo de un volumen fijo de fluido a través de un orificio de diámetro pequeño, a una temperatura constante y controlada. La velocidad de corte puede variar entre casi 0 a 10^6 s^{-1} cambiando el diámetro del capilar y la presión aplicada. Los tipos de viscosímetros capilares y sus modos de operación son:
- Viscosímetros de capilar de vidrio: El fluido pasa a través de un orificio de diámetro fijo bajo la influencia de la gravedad. La velocidad de corte es menos de 10 s^{-1} . Todas las viscosidades cinemáticas de lubricantes para automóviles se miden con viscosímetros capilares.
 - Viscosímetros capilares de alta presión: Aplicando un gas a presión, se fuerza a un volumen determinado del fluido a pasar a través de un capilar de vidrio de pequeño diámetro. La velocidad de corte se puede variar hasta 10^6 s^{-1} . Esta técnica se utiliza comúnmente para simular la viscosidad de los aceites para motor en las condiciones de operación.

Esta viscosidad se llama alta temperatura-alto corte (HTHS por su sigla en inglés) y se mide a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ y 10^6 s^{-1}

Figura 12. Viscosímetro capilar de rutina cannon fenske si analytics



Fuente. http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/productos_mo.php?it=5589

- b) Viscosímetros rotatorios:** Usan el torque de un eje rotatorio para medir la resistencia al flujo del fluido. El simulador de cigüeñal Frío (CCS), el mini-viscosímetro rotatorio (MRV), el viscosímetro Brookfield y el simulador de cojinete Cónico (TBS) son viscosímetros rotatorios. La velocidad de corte se puede cambiar modificando las dimensiones del rotor, el espacio entre el rotor y la pared del estator, y la velocidad de rotación.

Figura 13. Viscosímetro rotatorio



Fuente. <http://www.directindustry.es/prod/koehler-instrument/viscosimetros-rotativos-28315-635190.html>

- Simulador de cigüeñal frío: El CCS mide la viscosidad aparente en el rango de 500 a 200.000 cP. Los rangos de velocidades de corte van entre 104 y 105 s⁻¹. El rango normal de temperaturas de operación está entre 0 a -40 °C. El CCS ha demostrado una excelente correlación con los datos de cigüeñales de máquinas a bajas temperaturas. La clasificación de viscosidades SAE J300 especifica el comportamiento viscoso de aceites para motor a bajas temperaturas mediante límites del CCS y requisitos del MRV.
- Mini-viscosímetro Rotatorio (ASTM D 4684): La prueba con el MRV, que está relacionado con el mecanismo de bombeo, es una medición a baja velocidad de corte. La baja velocidad de enfriamiento es la característica clave del método. Se trata una muestra para que tenga una historia térmica que incluya ciclos de calentamiento, enfriamiento lento y remojado. El MRV mide una aparente tensión admisible, la cual, si es más grande que el valor umbral, indica un posible problema de bombeo por mezcla con aire. Por sobre una cierta viscosidad (normalmente definida como 60.000 cP por la SAE J300), el aceite podría estar sujeto a una falla de bombeo por un mecanismo llamado comportamiento de "flujo límite". Un aceite SAE 10W, por ejemplo, se requiere para tener una viscosidad máxima de 60.000 cP a -30 °C sin tensión admisible. Este método también mide una viscosidad aparente bajo velocidades de corte de 1 a 50 s⁻¹
- Viscosímetro Brookfield: Determina un amplio rango de viscosidades (1 a 105 P) bajo una baja velocidad de corte (hasta 102 s⁻¹). Se usa principalmente para determinar la viscosidad a baja temperatura de aceites para engranajes, transmisiones automáticas, convertidores de torque y aceites hidráulicos para tractores, automóviles e industriales. La temperatura del ensayo se mantiene constante en el rango de -5 a -40 °C. La técnica de ensayo Brookfield mide la viscosidad Brookfield de una muestra a medida que es enfriada a velocidad constante de 1 °C por hora. Como el MRV, este método intenta correlacionar las características de bombeo de un aceite a baja temperatura. El ensayo informa el punto de gelificación, definido como la temperatura a la cual la muestra llega a 30.000 cP. El índice de gelificación se define como la relación entre la mayor velocidad de cambio en el incremento de la viscosidad desde -5 °C y la temperatura más baja del ensayo. Este método encuentra aplicación en aceites de motores, y es requerido por la ILSAC GF-2.
- Simulador de Cojinete Cónico: Esta técnica también mide viscosidades a altas temperaturas y velocidades de corte (ver Viscosímetro capilar de alta presión). Se obtienen altas velocidades de corte usando distancias extremadamente pequeñas entre las paredes del rotor y estator.

Diferentes escalas de medida de viscosidad: Existen varias escalas para medir la viscosidad de un fluido; Las más usadas son la SAE y la ISO. Estas escalas son:

- Escalas en grado SAE para aceites motor.
- Escalas en grado SAE para aceites de engranajes
- Escalas en grados ISO para aceites hidráulicos.

Como podemos comprobar existe una correlación de equivalencia entre las distintas escalas.

La primera de ellas es aplicable para aceites de motor, y la segunda para engranajes. Esta diferenciación fue realizada para evitar posibles equivocaciones en la aplicación de un producto u otro lo que podría motivar la destrucción de la maquinaria. Una tercera escala, la ISO se aplica a los aceites industriales. Viscosidad medida a 100 °C en Escala SAE y 40 °C en escala ISO, para aceites de IV = 100. Las lecturas deberán realizarse horizontalmente.

3.1.1.4 Factores que afectan a la viscosidad Aunque en la mayor parte de los casos sería deseable que la viscosidad de un lubricante permaneciese constante, ésta se ve afectada por las condiciones ambientales, como ya hemos dicho. Para evitarlo se usan aditivos, llamados mejoradores del índice de viscosidad.

La viscosidad de un lubricante puede disminuir a causa de:

- Base de baja calidad.
- Disolución por otra sustancia

Puede aumentar debido a:

- Base de baja calidad.
- Pocos aditivos
- Acumulación de contaminantes
- Oxidación

Los factores anteriores pueden combinar su acción, de manera que incluso lleguen a anularse. Es decir, un lubricante puede perder viscosidad debido a una base de baja calidad, y recuperarla por acumulación de suciedad. De cualquier forma, esto implica una degradación del lubricante, si bien es más preocupante una pérdida de viscosidad que un incremento.

- a) Efecto de la temperatura:** En termodinámica la temperatura y la cantidad de movimiento de las moléculas se consideran equivalentes. Cuando aumenta la temperatura de cualquier sustancia (especialmente en líquidos y gases) sus moléculas adquieren mayor movilidad y su cohesión disminuye, al igual que disminuye la acción de las fuerzas intermoleculares. Por ello, la viscosidad varía con la temperatura, aumentando cuando baja la temperatura y disminuyendo cuando se incrementa.

- b) **Efecto de la velocidad de corte:** No todos los fluidos responden igual a variación de la velocidad de corte. Debido a su naturaleza, la mayoría de los fluidos no varían su viscosidad al variar la velocidad de corte. Son los llamados fluidos Newtonianos. En estos, el grado de desplazamiento de las capas de líquido es proporcional a la fuerza que se aplica ejemplo de ello son los aceites mono grado.
- c) **Efecto de las sustancias extrañas:** Durante su utilización, el lubricante ve expuesto a sustancias extrañas, que, antes o después, acaban afectándole, modificando sus características. Al contrario que la temperatura o la velocidad de corte, esta modificación será permanente y progresiva.

3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

La acidez o alcalinidad de un lubricante es una de las propiedades más definitorias del mismo y su graduación puede venir expresado por su número de neutralización. Los aceites nuevos nos brindan información sobre el grado de refinado y la aditivación del aceite. En los aceites usados nos aporta datos sobre su nivel de degradación (oxidación, contaminación, estado de sus aditivos, etc.) y puede alertarnos sobre posibles problemas en el sistema de lubricación.

En un aceite podemos tener simultáneamente datos de acidez y alcalinidad. Esto es debido al carácter ácido y básico de sus componentes, tales como productos de la oxidación (ácidos) o aditivos detergentes (básicos). Estas sustancias están en proporción lo bastante baja como para no neutralizarse mutuamente

3.2.1 Acidez En química se llama ácido a cualquier sustancia (orgánica o inorgánica) que contiene hidrógeno junto con un no-metal o un radical no metálico y que produce iones hidrogenión al diluirse en agua. El carácter ácido de un lubricante viene determinado por la presencia de sustancias ácidas en el aceite. Podemos distinguir dos tipos de acidez en el aceite:

- Acidez mineral, originada por ácidos residuales del refinado.
- Acidez orgánica, originada por productos de la oxidación y los aditivos.

Durante su uso, el aceite es sometido a temperaturas elevadas y a esfuerzos mecánicos. Esto tiene como resultado la degradación progresiva del aceite, produciéndose cambios en la composición del aceite. Se originan sustancias como resultado de la oxidación y se reduce la capacidad protectora de los aditivos. Este proceso se acelera al acercarse el final de la vida operativa del aceite, lo que puede dar lugar a la formación de lodos, barnices y depósitos carbonosos en el sistema, disminución de la viscosidad del aceite y hasta corrosión en piezas metálicas. Por ello, la variación de la acidez del aceite es un buen indicador de su nivel de degradación.

El grado de acidez tolerable depende del tipo de aceite y de sus condiciones de utilización, si bien no deben sobrepasarse los límites establecidos para el aceite para evitar daños en los equipos o problemas de funcionamiento. Un incremento brusco en la acidez es un indicativo de problemas tales como contaminación, pérdidas en sellos, incremento de la fatiga térmica o mecánica o pérdida de la capacidad de los aditivos.

3.2.2 Basicidad En química se llama base a aquella sustancia que al reaccionar con un ácido da sal más agua. La alcalinidad de los aceites es debida a los aditivos que se incluyen en la formulación del mismo. Su función es la de neutralizar los ácidos producidos por la oxidación (y en el caso de los motores de combustión interna, los producidos por la combustión de combustible con alto contenido de azufre), evitando los efectos nocivos que tiene la presencia de ácidos en el aceite y prolongando la vida del mismo. Al igual que ocurre con la acidez, la basicidad es un indicativo del nivel de degradación del aceite, aunque en sentido opuesto: la alcalinidad del aceite nuevo es alta, y va bajando según el aceite se degrada al ser neutralizados los ácidos que se forman por los aditivos alcalinos. Un bajo nivel de alcalinidad indica que el aceite está llegando al final de su vida útil. Un rápido descenso de la alcalinidad es indicativo de un exceso de formación de ácido debido a la oxidación, sobrecalentamiento, o uso de combustible con alto contenido de azufre.

3.2.3 El número de neutralización Se llama número de neutralización a la cantidad de ácido o base necesario para neutralizar una muestra de lubricante. Puede expresarse de 4 posibles formas:

3.2.3.1 Número de ácido total (TAN) es la cantidad de hidróxido potásico (KOH) en mg necesaria para neutralizar todos los ácidos de una muestra de 1 gramo de aceite)

3.2.3.2 Número de ácido fuerte (SAN) es la cantidad de hidróxido potásico (KOH) en mg necesaria para neutralizar los ácidos fuertes (inorgánicos) presentes en una muestra de aceite de 1 gr. Este valor corresponde al valor de la acidez mineral. La diferencia entre el TAN y el SAN corresponde al valor de la acidez orgánica (ácidos débiles). Estos dos valores nos indican el nivel de acidez de un aceite.

3.2.3.3 Número de base total (TBN) es la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) en mg necesaria para neutralizar los componentes alcalinos de una muestra de 1 gr. de aceite. Se utiliza en aceites de motor.

3.2.3.4 Número de base fuerte (SBN) es la cantidad de KOH en mg necesaria para llevar una muestra de 1 gr. de aceite a pH 11. Estos valores nos indican el nivel de alcalinidad de un aceite.

3.2.4 Residuo carbonoso El residuo carbonoso es la cantidad de material, en % de peso, que queda tras someter una muestra de aceite a evaporación y pirolisis (altas temperaturas). Nos orienta sobre la tendencia a la formación de depósitos carbonosos del aceite, si bien los resultados obtenidos en el laboratorio han de ser tomados con cautela, ya que debe existir similitud entre las condiciones de ensayo y las de servicio del aceite. Está en función de la viscosidad y de la naturaleza química del aceite. Así, los aceites naftalénicos dejan menos residuos que los parafínicos, por ejemplo. De igual modo, la composición química del aceite determina el aspecto del residuo: los aceites parafínicos dejan un residuo de grano grueso y adherente, mientras que los naftalénicos dejan un residuo de grano fino y poco adherente.

Siempre es deseable que el aceite deje la menor cantidad posible de residuos. Esta característica es de especial significación en los aceites para rodamientos, herramientas neumáticas, compresores de aire, motores de combustión interna, aceites para laminación y para refrigeración.

3.2.5 Oxidación La oxidación es un proceso de degradación química que afecta a la mayor parte de los materiales orgánicos. Básicamente consiste en la asimilación de átomos de oxígeno por parte de las sustancias constituyentes del lubricante, lo que conlleva la degradación de las mismas y la pérdida paulatina de características y prestaciones del aceite. Este proceso se ve favorecido por el calor, la luz, el agua y la presencia de contaminantes.

3.2.5.1 El mecanismo de la oxidación Normalmente, el proceso de oxidación se inicia tan pronto como es puesto en servicio el aceite. Los primeros productos de la oxidación son peróxidos orgánicos, que en principio no son dañinos, pero que en poco tiempo comenzaran a actuar como catalizadores, acelerando exponencialmente el proceso de oxidación. A continuación se formaran resinas, alcoholes, aldehídos, cetonas y ácidos orgánicos. Algunas de estas sustancias son solubles en un principio, pero al entrar en contacto con superficies muy calientes se vuelven insolubles, o tienen afinidad entre ellas y se depositan formando lodos; otros, como los alcoholes y las cetonas, son disolventes y pueden atacar a elementos del sistema hechos de material orgánico, los ácidos orgánicos pueden atacar a elementos metálicos, corroyéndolos. Del mismo modo, las sales metálicas formadas por la corrosión de los metales también son catalizadores, al igual que el agua, cuya presencia se ve favorecida por los ácidos y otras sustancias polares que tienen afinidad por ella. Al mismo tiempo, la aparición de estas sustancias hace que el agua se mezcle más fácilmente con el aceite.

Algunos metales, como el cobre, también actúan como catalizadores; estos metales proceden de partículas metálicas, disueltas en el aceite y originadas por el desgaste de elementos metálicos del sistema (bombas, pistones, etc.). Estas

partículas, además, pueden atacar a los aditivos, inutilizándolos, y erosionar mecánicamente algunas partes del sistema.

Bajo ciertas condiciones, es el nitrógeno el que reacciona con las moléculas del aceite: esto provoca la nitración del aceite y la formación de barniz.

3.2.5.2 Factores que favorecen la oxidación El calor es un factor determinante en el proceso de oxidación. La tasa de oxidación es relativamente baja por debajo de 85°C, duplicándose por cada incremento de 10° en la temperatura. Por encima de los 315°C el aceite se descompone térmicamente: comienzan a formarse sustancias insolubles y se degradan los aditivos. La radiación ultravioleta que contiene la luz natural facilita la rotura de ciertos enlaces atómicos débiles en algunas moléculas. Estos enlaces rotos se ven rápidamente completados con átomos de oxígeno.

El agua y algunos contaminantes pueden actuar como catalizadores de la reacción de oxidación. En concreto el agua puede disolver a los aditivos anti desgaste (como el bisulfuro de molibdeno), disolviéndolos y produciendo ácidos sulfúrico y sulfhídrico. En los motores de combustión interna el agua puede reaccionar con los gases de escape y producir ácidos.

3.2.5.3 Consecuencias de la oxidación en el aceite La oxidación es un fenómeno que reduce la vida el aceite. Por desgracia, dada la naturaleza química de los productos de la oxidación, la mayor parte de estos no pueden ser eliminados mediante el filtrado simple del aceite. Sólo con métodos avanzados pueden eliminarse estas sustancias: los ácidos y otras sustancias polares insolubles (como el barniz) pueden eliminarse mediante separadores electrostáticos, resinas de intercambio de iones y alúmina activada; los absorbentes de alta densidad, tales como la celulosa comprimida, son efectivos para eliminar lodos y otras sustancias insolubles. Al ser algunas de estas sustancias catalizadores, su eliminación contribuye a prologar la vida del aceite. Las consecuencias por la oxidación en el aceite son:

- Aumento de la viscosidad, pudiendo llegar a ser doble incluso triple que le del aceite nuevo.
- Oscurecimiento del aceite, pasando del tono traslucido original a ser totalmente opaco.
- Formación de depósitos carbonosos, aunque esto ocurre en fases avanzadas de la oxidación.
- Aumento de la acidez del aceite, debido a los productos ácidos que se forman.

Desde el punto de vista comercial, la resistencia a la oxidación del aceite es una de sus características más importantes. La resistencia a la oxidación puede mejorarse por varios medios:

- Selección del aceite base: los aceites sintéticos son más resistentes a la oxidación que los minerales, y dentro de estos, los parafínicos son más resistentes que los aromáticos o naftalénicos. Un índice de viscosidad alto también hace al aceite más resistente a la oxidación.
- Refinado cuidadoso que elimine todas las sustancias favorecedoras de la oxidación y que facilite la acción de los inhibidores de la oxidación.
- Uso de aditivos inhibidores de la oxidación
- Adecuado mantenimiento de los equipos para prevenir la contaminación.

3.3 Propiedades de los Lubricantes

Las propiedades de los lubricantes nos ayudan a reducir la fricción entre los componentes mecánicos. Las principales propiedades son las siguientes:

3.3.1 Bombeabilidad Es la capacidad de un lubricante para fluir de manera satisfactoria impulsado por una bomba, en condiciones de baja temperatura. Esta propiedad está relacionada directamente con la viscosidad.

3.3.2 Consistencia Se llama así a la resistencia a la deformación que presenta una sustancia semisólida, como por ejemplo una grasa. Este parámetro se usa a veces como medida de la viscosidad de las grasas. Al grado de consistencia de una grasa se le llama penetración y se mide en décimas de milímetro. La consistencia, al igual que la viscosidad, varía con la temperatura.

3.3.3 Aceitosidad o lubricidad Se conoce con estos nombres a la capacidad de un lubricante de formar una película de un cierto espesor sobre una superficie. Esta propiedad está relacionada con la viscosidad; a mayor viscosidad, mayor lubricidad. En la actualidad suelen usarse aditivos para aumentar la lubricidad sin necesidad de aumentar la viscosidad.

3.3.4 Adhesión o adherencia Capacidad de un lubricante adherirse a una superficie sólida. Está relacionada con la lubricidad.

3.3.5 Rigidez dieléctrica La rigidez dieléctrica o tensión de perforación es la tensión que produce un arco eléctrico permanente entre dos electrodos bien definidos separados 2'5mm, sumergidos en aceite a 20°C. Se expresa en Kv/cm. La rigidez dieléctrica orienta sobre la capacidad aislante del aceite, así como de la presencia en el mismo de impurezas tales como agua, lodos, polvo, gases, etc. La presencia de impurezas disminuye la rigidez dieléctrica de un aceite. Las impurezas facilitan el paso de la corriente a través del aceite, especialmente que

lleven agua en disolución, tales como fibras de papel, gotas de polvo, etc. No ocurre lo mismo con la disuelta en el aceite, que no afecta a esta propiedad. La temperatura incrementa el valor de la rigidez dieléctrica, hasta alcanza un valor máximo a 100°C. Esta propiedad es de especial significación en los aceites de transformador y en los aceites para compresores frigorífico.

3.3.6 Emulsibilidad Es la capacidad de un líquido no soluble en agua para formar una emulsión. Se llama emulsión a una mezcla íntima de agua y aceite. Puede ser de agua en aceite (siendo el agua la fase discontinua) o de aceite en agua (donde el agua es la fase continua).

Se considera que una emulsión es estable si persiste al cesar la acción que la originó y al cabo de un tiempo de reposo. Los factores que favorecen la estabilidad de las emulsiones son:

- Viscosidad del aceite muy alta
- Tensión superficial del aceite baja
- Pequeña diferencia de densidad entre los dos líquidos
- Presencia de contaminantes

La presencia de agua en el aceite es siempre perjudicial para la lubricación, ya que, entre otras cosas, puede disolver ciertos aditivos, restando eficacia al aceite. Por lo tanto, siempre es deseable que los aceites formen emulsiones inestables, o separen el agua por decantación.

Esto es especialmente deseable en el caso de la maquinaria expuesta a la intemperie. Sin embargo, en algunos casos, como los aceites de corte o los marinos para maquinaria de cubierta, lo deseable es que la emulsiones sean estables.

3.3.7 Demulsibilidad Se llama así a la capacidad de un líquido no soluble en agua para separarse de la misma cuando está formando una emulsión. La oxidación del aceite y la presencia de contaminantes afectan negativamente a la demulsibilidad del aceite. La adecuada eliminación del agua facilita en muchos casos la lubricación, reduciendo el desgaste de piezas y la posibilidad de corrosión.

Esta propiedad es muy importante en los aceites hidráulicos, para lubricación de maquinaria industrial, de turbina y para engranajes que transmiten grandes esfuerzos. En los aceites de automoción no lo es tanto, debido a la capacidad dispersante y detergente del mismo.

3.3.8 Aeroemulsión Es una emulsión de aire en aceite, formada por burbujas muy pequeñas (0'0001 a 0'1 cm), dispersas por todo el líquido. Las

aeroemulsiones son muy difíciles de eliminar y provocan problemas semejantes a los de la espuma superficial.

Esta es una propiedad muy importante en los aceites de turbina y en los hidráulicos de alta presión. Es una característica intrínseca del aceite base y no puede ser modificada con aditivos.

3.3.9 Punto de goteo Se llama punto de goteo a la temperatura a la cual una grasa pasa de estado semisólido a líquido. Este cambio de estado puede ser brusco o paulatino, considerándose el punto de goteo como el final del proceso. En las grasas tipo jabón el cambio de estado es debido a la separación del aceite y el jabón al alcanzarse el punto de goteo. La grasa tipo no jabón pueden cambiar de estado sin separarse el aceite del espesante.

Se considera que el rango de temperatura útil de una grasa está entre 100 y 150° F por debajo del punto de goteo. La operación en temperaturas próximas al punto de goteo obviamente afectará a la eficacia lubricante de la grasa. El punto de goteo no está relacionado con la calidad de la grasa.

3.3.10 Punto de inflamación Se llama punto de inflamación a la temperatura mínima en la cual un aceite empieza a emitir vapores inflamables. Está relacionada con la volatilidad del aceite. Cuanto más bajo sea este punto, más volátil será el aceite y tendrá más tendencia a la inflamación. Un punto de inflamación alto es signo de calidad en el aceite.

En los aceites industriales el punto de inflamación suele estar entre 80 y 232 °C, y en los de automoción entre 260 y 354°C. El punto de inflamación también orienta sobre la presencia de contaminantes, especialmente gases (los cuales pueden reducir la temperatura de inflamación hasta 50°C en algunos aceites), riesgo de incendios a causa de los vapores y procesos no adecuados en la elaboración del aceite.

3.3.11 Punto de combustión Se llama así a la temperatura a la cual los vapores emitidos por un aceite se inflaman, y permanecen ardiendo al menos 5 segundos al acercársele una llama. El punto de combustión suele estar entre 30 y 60 ° por encima del punto de inflamación.

3.3.12 Punto de enturbiamiento Se llama punto de enturbiamiento a la temperatura a la cual las parafinas y otras sustancias disueltas en el aceite se separan del mismo y forman cristales, al ser enfriado el mismo, adquiriendo así un aspecto turbio. La solubilidad del aceite y el peso molecular de las sustancias disueltas influyen en el punto de enturbiamiento. Como es sabido, la solubilidad esta directamente relaciona con la temperatura de la misma. Al bajar esta, la solubilidad disminuye, haciendo que alguna sustancias disueltas se separen de la sustancias disolvente. El peso molecular de las sustancias disueltas también

influye en la capacidad del disolvente (este caso el aceite) para disolverlas. Cuanto menor sea el peso molecular en cuestión más fácil será disolver dichas sustancias. La presencia de sustancias extrañas y el almacenamiento prolongado también influyen en el punto de enturbiamiento. Los contaminantes se combinan o aglomeran parafinas y otras sustancias susceptibles de separarse del aceite, elevando el punto de enturbiamiento. Igualmente, el almacenamiento prolongado favorece la aglomeración de parafinas. El proceso de enturbiamiento es reversible en la inmensa mayoría de los casos. No todos los aceites presenta punto de enturbiamiento: alguno se solidifican directamente al alcanzar la temperatura de congelación. Esta característica es de especial significación en los aceites que operan en temperaturas ambiente muy bajas, ya que afecta a la facilidad para bombear el aceite y su tendencia a obstruir filtros y pequeños orificios.

3.3.13 Punto de congelación El punto de congelación (también llamado punto de fluidez) es la menor temperatura a que se observa fluidez en el aceite al ser enfriado. Se expresa en múltiplos de 3°C o 5°F. En los aceites naftalénicos este punto se alcanza por la disminución de la densidad causa por el descenso de la temperatura; en lo parafínicos se debe principalmente a la cristalización de sustancias parafínicas. El punto de congelación se alcanza siempre a temperatura inferior a la del punto de enturbiamiento. Al igual que este, es una característica importante en aquellos aceites que operan a muy bajas temperaturas ambientales.

3.3.14 Punto de floculación Se llama punto de floculación a la temperatura a la cual las parafinas y otras sustancias disueltas en el aceite se precipitan formando flóculos (agregados de sustancias sólidas) al entrar en contacto con un fluido refrigerante (normalmente R-12), en una mezcla con un 10% de aceite y un 90% de refrigerante, al ser enfriado el aceite.

Esta característica es de especial significación en los aceites que trabajan en elementos de sistemas de refrigeración, en los cuales el refrigerante es miscible con el aceite.

3.3.15 Índice de Viscosidad Los cambios de temperatura afectan a la viscosidad del lubricante generando así mismo cambios en ésta, lo que implica que a altas temperaturas la viscosidad decrece y a bajas temperaturas aumenta. Arbitrariamente se tomaron diferentes tipos de aceite y se midió su viscosidad a 40°C y 100°C, al aceite que sufrió menos cambios en la misma se le asignó el valor 100 de índice de viscosidad y al que varió en mayor proporción se le asignó valor 0 (cero) de índice de viscosidad. Luego con el avance en el diseño de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad se logró formular lubricantes con índices mayores a 100.

3.4 ACEITES MONOGRADOS

El aceite mono grado es un lubricante que cumple un solo grado SAE, puede ser un grado de VERANO, o bien de INVIERNO, en el cual el número de SAE va acompañado de la letra "W" por Winter.

3.4.1 Aplicaciones y propiedades Motores diesel de aspiración natural y turbo cargados, tractores agrícolas, flotas de tracto camiones, motores estacionarios, de construcción y en general, donde se requiera de un aceite para motor ciclo Diesel o ciclo Otto, un ejemplo de este aceite SAE 30 y SAE 40. Las siguientes son las propiedades que tienen los aceites monogrados.

- Alta protección contra el desgaste
- Alto nivel de limpieza y control de hollín
- Óptima protección contra la corrosión
- Mayor vida útil del motor
- Efectivo control de depósitos en el motor

3.5 ACEITE MULTIGRADO

Los aceites multigrados llegaron a los motores desde los años 1950. Un aceite multigrado es un lubricante diseñado originalmente para trabajar en aplicaciones donde los cambios de temperatura son considerables. Por ejemplo en algunas regiones del hemisferio norte las temperaturas son de -40°C en el invierno y de 40°C en el verano. Sin embargo, esto no significa que los lubricantes multigrados no puedan ser utilizados en lugares en donde los cambios de temperatura no son tan dramáticos. En la actualidad, los aceites monogrados (un solo grado: SAE 40 por ejemplo) son cada vez menos comunes y han sido desplazados por los multigrados paulatinamente en todo el mundo. Los aceites monogrados se utilizan aún en aplicaciones como motores de competencia, equipo industrial que opera 100% en aplicaciones de alta temperatura y condiciones especiales de diseño de ciertos motores que no permiten el uso de un multigrado.

Para el caso de un aceite 15W 40, mucha gente asume que el 15W es el grado del aceite para bajas temperaturas y el 40 el grado para altas temperaturas, aunque hay cierta lógica en ello, también hay grandes diferencias. Si esto fuera cierto, un aceite 15W 40 sería grado 15 en baja temperatura y 40 en alta temperatura. Eso significa que este aceite "engrosaría" con el cambio de la temperatura, lo cual no es cierto. La realidad es que el aceite 15W 40 es más grueso en bajas temperaturas que en altas temperaturas (como ocurre también con los aceites mono grados).

El número 15W realmente se refiere a la facilidad con la que el aceite puede ser "bombeado" en bajas temperaturas, mientras más bajo sea el número "W", mejores serán sus propiedades de baja viscosidad y el motor podrá ser arrancado a muy bajas temperaturas. La "W" significa "Winter". Un aceite 5W 40 es mejor

que un 15W 40 en arranque a bajas temperaturas. Ese es el real significado del primer número "Facilidad de arranque en bajas temperaturas" - equivalente al término "Startability".

El segundo término es el grado de viscosidad real del aceite a la temperatura de operación del motor y es determinado por la viscosidad cinemática del aceite a 100°C. Una vez que el motor arrancó y se ha calentado, el aceite trabaja como un grado SAE 40, esto es; la viscosidad con la que se protege al motor la mayor parte del tiempo. La gran ventaja de los aceites multigrados es su gran flexibilidad para proteger al motor en el arranque, con una viscosidad baja y que permite que el aceite llegue muy rápido a las partes del motor, para protegerlo contra el desgaste y posteriormente que sostenga una viscosidad correcta para el tiempo que opera en condiciones "normales" de temperatura que son reguladas por el sistema de refrigeración (enfriamiento) del motor.

3.5.1 Propiedades

- Efectivo control contra el desgaste
- Estabilidad de viscosidad en condiciones de extremas de temperaturas
- Alto control de depósitos en el motor
- Ahorro de combustible
- Disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera
- Alarga la vida útil del motor
- Intervalo entre cada cambio de 250 hrs.

3.5.2 Aplicaciones Motores ciclo Otto de todo tipo de vehículos o diesel de maquinaria agrícola, flotillas de tracto camiones, líneas de transporte, motores estacionarios, equipos de construcción y cualquier motor que opere bajo condiciones de carga de trabajo severas. Los aceites multigrados pueden ofrecer ventajas significativas sobre los monogrados:

- Arranque más rápido del motor en frío: Se obtiene así menor desgaste del motor en sí, y también una mayor vida útil de la batería y del motor de arranque.
- Esto se comprueba no solamente en climas fríos rigurosos, sino también a temperaturas ambiente moderadas como 20 °C. La diferencia entre un multigrado y un mono grado en estos casos es notoria. Establece la lubricación adecuada en la mitad del tiempo que un mono grado.
- Los multigrados eliminan la necesidad de cambios estacionales del aceite (por ejemplo: SAE 30 en invierno y SAE 40 en verano).
- Mejores prestaciones para el trabajo a bajas temperaturas, ya que debido a que los huelgos en los motores modernos son cada vez menores, el aceite debe fluir más rápidamente para llegar a las piezas vitales del motor, especialmente la lubricación del turbocompresor.

- También se comportan muy bien a altas temperaturas, con una película más resistente a altas cargas que la de los aceites mono grado, y esto se refleja en una disminución del desgaste general del motor.
- Existe un ahorro importante de lubricante, ya que se logra un excelente sellado en la zona entre anillos y pistón, allí donde se produce el mayor pasaje de aceite hacia la cámara de combustión, donde se quema tras lubricar al anillo superior (también llamado anillo de fuego).
- Otro beneficio es el ahorro de combustible por: su mayor fluidez a temperaturas bajas, lo cual reduce las pérdidas de energía en el arranque, y su mayor capacidad para reducir la fricción en las zonas calientes y críticas del motor (anillos de pistón, camisas y balancines de válvulas), gracias a sus aditivos mejoradores de índice de viscosidad.
- Mayor vida útil del lubricante y del equipo.
- Periodos de cambio más prolongados según condición de operación del equipo.

3.6 CLASIFICACIÓN SAE

Los grados SAE únicamente representan un nivel de viscosidad o resistencia a fluir, medidas a determinadas temperaturas. En general, cuanto más alto sea la viscosidad, más alto es el grado SAE.

Hay once grados SAE. Seis de ellos incluyen la designación W, que indica que la viscosidad fue también medida a baja temperatura. Para los grados que no tienen esta denominación, la viscosidad se especifica a 100°C.

Ellos son: 0W, 5W, 10W, 15W, 20W y 25W (GRADOS DE INVIERNO) 20, 30, 40, 50 y 60 (GRADOS DE VERANO)

La norma SAE J 300 va incorporando los requerimientos de los fabricantes de motores, acompañando así el progreso tecnológico. Por ejemplo a partir de junio del 2001, se cambiaron las mediciones de Viscosidad a baja temperatura, y se agregaron tests en las condiciones del cojinete de cigüeñal (ensayo CCS "Cold Craking Simulator") haciendo a sus requerimientos más severos.

Clasificación SAE para Transmisiones Manuales y Diferenciales al igual que para el caso de los motores la SAE ha definido una clasificación arbitraria para las viscosidades de los aceites lubricantes para este uso, la temperatura de referencia es 100°C.

Clasificación ISO: Para aceite lubricante de uso industrial: Se ha adoptado la clasificación inicialmente desarrollada por la Sociedad Americana de Pruebas y Medidas (ASTM) y la Sociedad Americana de Ingenieros de Lubricación (ASLE), la temperatura de referencia es 40°C.

3.7 COLOR DEL ACEITE

El color del aceite no es una propiedad fundamental, ni ofrece información sobre la calidad de un lubricante. El color se mide de acuerdo con una escala descrita en la norma ASTM-D-1500, que asigna números bajos a los aceites de color claro y número más altos a aceites de color oscuro. Sin embargo, los colores de los aceite base varían si les añadimos aditivos.

Las variaciones de color en los aceite lubricantes resultan de la diferencia en crudos, viscosidad, método o grado de refinación y de la cantidad y naturaleza de los aditivos utilizados.¹²

¹² Tribología y Lubricantes. [citado 31 de marzo de 2013] Disponible en http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

4 ACEITES LUBRICANTES

Es toda sustancia líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintética que permite separar dos superficies en movimiento relativo, reduciendo el desgaste, refrigerándolas evacuando contaminantes y protegiéndolas del medio circundante. Los aceites pueden clasificarse en orgánicos y en minerales.

- a) Aceites orgánicos** Son de tipo animal y vegetal. Cuando aun no se conocía el petróleo, eran los únicos utilizados. Se descomponen con facilidad con el calor y a bajas temperaturas se oxidan, formando gomas, como el aceite de semilla de linio, cuya oxidación es tan rápida que es inútil utilizarlo en lubricación. La mayoría de estos aceites se emplean como aditivos de los aceites minerales, para darles propiedades de autuosidad, como es el caso de los ácidos grasos, especialmente el esteárico y el palmítico. El aceite de ricino posee moléculas largas de carácter ácido de un extremo y oleoso en el otro; el extremo ácido se adhiere a la superficie metálica, formando un filamento ácido hidrocarbonado, el cual, en caso de que la película fluida desaparezca, protege las superficies del contacto metálico, al deslizar unas sobre otras. El extremo oleoso presenta igualmente estas características, lo cual permite formular los llamados aceites compuestos, que presentan buenas propiedades de Extrema Presión (EP) a temperaturas por debajo de 50 °C y a una lubricación adicional o de emergencia en caso de un suministro inadecuado de lubricante.
- b) Aceites minerales** Son derivados del petróleo, constituidos por una estructura de moléculas complejas que contienen entre 20 y 70 átomos de carbono por moléculas.¹³

Los aceites lubricantes, cualquiera sea su origen inicial, tienen dos grandes componentes; las bases lubricantes que determinan las propiedades del lubricante, tales como viscosidad, color, etc. y los aditivos, los cuales adecuadamente combinados brindan las características propias de cada aceite lubricante pudiendo componer entre un 30% y un 2% del aceite lubricante. Los aditivos mejoran las propiedades físicas y químicas de los lubricantes.

4.1 BASES LUBRICANTES

Es el componente más importante del aceite, define su viscosidad y le da propiedades fisicoquímicas importantes al aceite, como las de demulsibilidad, anti desgaste, antiespumante, antioxidante, índice de viscosidad, biodegradabilidad y

¹³ ALBARRACIN, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz: Tomo I, 4 edición. Pag.85

toxicidad entre otras. Mientras los aditivos realicen su función, la base lubricante no se deteriora si no se contamina, pero una vez que estos se agotan, la base lubricante se empieza a degradar, iniciándose el proceso que se conoce como oxidación del aceite en el cual se forman lacas, barnices y gomas ácidas, que conllevan a que finalmente el aceite se torne ácido y sea necesario cambiarlo.

La base lubricante puede ser derivada del petróleo, sintética ó vegetal. La utilización de uno u otro tipo de base lubricante depende de las condiciones de operación del equipo o maquina. Aunque las bases vegetales y animales se usan en algunos productos, son las bases lubricantes minerales y sintéticas las que más se encuentran en el mercado por su mayor disponibilidad y características inherentes.

Dentro de las bases lubricantes minerales se encuentra gran cantidad de diferencias y clases.

Estas se agrupan en tres tipos que son:

4.1.1 Parafínicas son bases saturadas con cadenas de hidrocarburos en línea recta o ramificada. Los crudos con este tipo de formación producen gasolinas de bajo octanaje, pero, excelentes kerosenos, aceites combustibles y bases lubricantes. Algunas de sus características son:

- Resistencia a la oxidación
- Alto punto de inflamación
- Baja densidad
- Alto punto de fluidez
- Bajo poder disolvente

4.1.2 Nafténicas En general estas bases son de menor calidad que las parafínicas, pudiendo mejorarse por procesos especiales de refinación. Algunas de sus características son:

- Bajo punto de fluidez
- Inestabilidad química
- Bajo índice de viscosidad
- Tendencia a la oxidación

4.1.3 Aromáticas Las bases aromáticas son cadenas no saturadas. Esta configuración las hace químicamente activas y tienen tendencia a la oxidación generando ácidos orgánicos. Algunas de sus características son:

- Elevada densidad
- Inestabilidad química
- Tendencia a la oxidación
- Bajo punto de infamación

4.2 MANUFACTURA DE LAS BASES

La manufactura de las bases lubricantes implica una serie de pasos y procesos a través de los cuales se separan y sustraen diversos compuestos indeseados de los residuos atmosféricos. Los principales procesos son los siguientes:

- **Destilación al vacío** En la destilación al vacío el material inicial del proceso (Feedstock), es separado en productos de similar punto de ebullición. Las propiedades que son controladas por este proceso son viscosidad, punto de llama y residuos de carbón.
- **Desasfaltado con propano:** Mediante este proceso se logra retirar gran cantidad de resinas y asfaltos empleando en dicho proceso el propano en una proporción de 7 partes de propano por 1 de líquido a tratar.
- **Extracción furfural** Esta se encarga de separar los compuestos aromáticos de los no aromáticos mezclando en el proceso furfural con el aceite desasfaltado.
- **Desparafinado** Este proceso se usa para remover la cera, reduciendo así el punto de fluidez.
- **Hidrogenación catalítica** Consiste en un juego de catalizadores a través de las cuales se hace pasar aceite caliente e hidrógeno logrando producir aceites con menor coloración y con mejores características de funcionamiento.

También existen otros procesos alternativos que son:

- Desasfaltado
- Extracción con solvente
- Desparafinado
- Terminado con arcilla
- Hidrotratamiento
- Hidrocraqueado

4.3 CLASIFICACIÓN DE LAS BASES

De acuerdo con la API (Instituto americano del petróleo), las bases lubricantes se dividen en cinco grupos que son:

- Bases lubricantes clasificadas API
- Grupo I Solventes
- Grupo II Hidroprocesados
- Grupo III Aceites bases no convencionales
- Grupo IV Sintéticos
- Grupo V Otros

4.4 ADITIVOS

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden en pequeñas cantidades a los aceites lubricantes para proporcionarles o incrementarles propiedades, o para suprimir o reducir otras que le son perjudiciales.

Podemos mencionar que la misión de un aditivo es misión de apostolado, pues no es preciso ni suficiente el que al ser mezclado con las masas o volumen total del aceite continúe preservando sus buenas cualidades, por el contrario la debe transferir a toda ella ennobleciéndola.

Se definirán problemas que se desean evitar, y especificaciones de los combustibles las cuales se deben cumplir, para obtener los valores que se requieren para la operación normal de los motores de encendido por chispa y los de encendido por compresión. En este trabajo se presenta la definición y los aditivos más utilizados en los lubricantes y en los combustibles.

4.4.1 Bases de aceite Existen las bases minerales y las bases sintéticas, también existen las bases vegetales. Las bases minerales son obtenidas mediante la destilación del crudo, más que nada del crudo parafínico. Las bases sintéticas se hacen mediante procesos sintéticos preparando las moléculas de sustancias simples para tener propiedades de precisión requerida.

Las principales clases de material sintético usado para mezclar el lubricante son:

- **Polialfoleinas** Son las bases sintéticas más usadas, tienen buena estabilidad térmica, pero requieren antioxidantes, y tienen capacidad limitada para disolver algunos aditivos.
- **Esterol dibásico** Tienen buena estabilidad térmica y excelente solvencia. Fluyen limpiamente y tienden a disolver barniz y sedimentos, no dejan depósitos. Deben proveerse de aditivos selectos para evitar la hidrólisis y proveer una estabilidad de oxidación.
- **Polioles de esteroles** Tienen estabilidad térmica excelente y resisten la hidrólisis.
- **Alquilatos** Tienen buenas propiedades a baja temperaturas y son muy solubles con los aditivos.
- **Glicoles polialquilenos** Tienen buena estabilidad a altas temperaturas y altos índices de viscosidad, pueden usarse en rangos amplios de temperaturas.
- **Fosfato-esteroles** Tienen estabilidad térmica, con índice de viscosidad bajas que limita sus capacidades a altas temperaturas.

4.4.2 Aditivos para Lubricantes Los aditivos pueden dividirse en dos grandes grupos, según los efectos que producen:

- Inhibidores destinados a retardar la degradación del aceite actuando como detergentesdispersantes, antioxidantes, anticorrosivos, agentes anti desgasté, agentes alcalinos y agentes anti emulsificadores.
- Aditivos que mejoran las cualidades físicas básicas con acción sobre el índice de viscosidad, el poder antiespumante, el sellado, la oleosidad, la extrema presión y la rigidez dieléctrica.

La clasificación anterior no quiere decir que para conseguir cada cualidad sea precisa la mezcla de un aditivo diferente, ya que en el mercado existen productos que proporcionan varias ventajas simultáneamente. Como regla general, se sugiere que un aceite no sea aditivado con varias de estas sustancias, a no ser que la misma casa suministradora lo aconseje; de ser así esta última será de una solvencia técnica plenamente reconocida.

4.4.2.1 Inhibidores destinados a retardar la degradación del aceite lubricante

- a) Aditivos Detergentes-Dispersantes** Los aditivos detergentes-dispersantes tienen la misión de evitar que el mecanismo lubricado se contamine aun cuando el lubricante lo está. La acción de estos dispersantes es la evitar acumulaciones de los residuos, los cuales se forman durante el funcionamiento de la máquina o motor y mantenerlos en estado coloidal de suspensión por toda la masa del aceite. Se ha tratado de combinar los efectos proporcionados por los antioxidantes y anticorrosivos en los aceites destinados a lubricar órganos metálicos, sometidos a altas cargas. Así, para los aceites de los motores automotrices de alta velocidad se ha previsto la adición de combinaciones organometálicas del zinc, calcio y bario con azufre, cloro y fósforo.
- b) Aditivos Anticorrosivos y antioxidantes** Para proteger contra la corrosión a los materiales sensibles por una parte, y por otra para impedir las alteraciones internas que pueda sufrir el aceite por envejecimiento y oxidación, se ha acudido a la utilización de aditivos anticorrosivos y antioxidantes. Estas dos funciones de protección al metal y al lubricante casi siempre son ejercidas por un mismo producto, algunos de estos son: el ditiófosfato de zinc, los esteres del ácido estilfosfórico y como regla general los compuestos de fósforo, o de base arsénica o bismútica. nseje; de ser así esta ultima será de una solvencia técnica plenamente reconocida.

4.4.2.2 Aditivos mejoradores de las cualidades fósicas del aceite lubricante

- a) Aditivos Mejoradores del Índice de Viscosidad** Recientemente se ha propuesto que para este fin los esteres del ácido polimetacrílico y soluciones de materiales plásticos que elevan poco la viscosidad y en

cambio, tienen una influencia favorable en la curva de viscosidad temperatura.

El proceso de trabajo de estos aditivos puede explicarse como sigue: en presencia de bajas temperaturas las moléculas de estas sustancias se contraen ocupando muy poco volumen y se dispersan en el aceite en forma de minúsculas bolitas dotadas de una gran movilidad. Cuando se eleva la temperatura, las moléculas de la masa de aceite aumentan de velocidad y las mencionadas bolitas se agrupan formando estructuras bastantes compactas que se oponen al movimiento molecular del aceite base, lo cual se traduce en un aumento de la viscosidad de la mezcla.

- b) Mejoradores del Punto de Fluidez y congelación** Los mismos aditivos mejoradores o elevadores del índice de viscosidad se emplean para favorecer el punto de congelación y en consecuencia, el de fluidez. Se aplican principalmente a los aceites parafínicos, ya que la parafina por su elevado punto de congelación es la principal productora de la falta de fluidez de los aceites, formando aglomeraciones y solidificaciones al descender la temperatura. En este caso, la misión de los aditivos es la de absorber los cristales de la parafina sólida formadas, pues su eliminación total por refinación es costosa, sin garantías de éxito y exponiéndose a la pérdida de otras cualidades básicas del lubricante, así como una considerable cantidad del mismo.
- c) Aditivos Antiespumantes** La presencia de cuerpos extraños en el aceite tales como gases, con temperaturas inferiores de los 100 C, producen lo que los aceites minerales puros de por sí no pueden cortar la formación de espumas debido al gran espesor que les da la película lubricante. Estas burbujas o espumas permanentes producen el paso del aceite por los conductos, tal como ocurre en los mecanismos con mandos hidráulicos. Los aditivos antiespumantes tienen la misión de evitar estas burbujas y en la mayor parte de los casos actúan adelgazando la envoltura de la burbuja del aire, hasta su rotura modificando tensiones superficiales e interfaciales de la masa de aceite.
- d) Aditivos Mejoradores de la Oleosidad** Se entiende por oleosidad la adherencia del aceite a las superficies metálicas de lubricar, debido en gran medida a la polaridad molecular contenida, que por razón de su estructura se fijan fuertemente a dichas superficies. Los componentes de composición química y configuración molecular adecuada, para dar gran oleosidad a un lubricante, en la inmensa mayoría de los casos son a la vez de bajísima resistencia a la oxidación, por esto se eliminan durante el proceso de la refinación industrial de los aceites lubricantes. Esta propiedad debe recuperarse una vez terminado el proceso de refinación o en muchos casos aún después de ser obtenida la formulación de un producto lubricante. Para

ello se recurre a los aditivos mejoradores de la oleosidad. Son muy corrientes los elaboradores a base de componentes básicos del aceite de palma, en proporciones que varían desde un cinco a un quince por ciento.

- e) **Aditivos para Aumentar la Rigidez dieléctrica** Casi siempre estos productos cumplen simultáneamente la doble misión de dieléctricos y la de proporcionar longevidad a los lubricantes usados para fines de lubricación y funcionamiento de los transformadores e.

4.4.3 Aditivos de Extrema presión Para los aceites de equipos mecánicos sometidos a muy altas presiones, se emplean los aditivos EP: (Extrema presión), que disminuyen el desgaste de las superficies metálicas de deslizamiento, favoreciendo la adherencia del lubricante. Estos aditivos, reaccionan químicamente y forman capas mono y polo moleculares que se reconstruyen constantemente en los sitios de altas presiones por efectos de la fricción. De esta manera impiden el contacto metal-metal, evitando los rompimientos o soldaduras de los mismos. Estos aditivos no siempre están exentos de producir ligeras corrosiones, debido a la acción química que ejercen. Se consiguen muy buenos efectos por la combinación de compuestos orgánicos y antimonio, molibdeno, azufre, fósforo y arsénico o bien por combinaciones de los primeros entre sí. De este tipo de productos, el más utilizado es la esperma de la ballena con cloruro de azufre.

Los aditivos EP se clasifican en las siguientes tres generaciones dependiendo del tipo de sustancia química utilizada en su formulación:

4.4.3.1 Lubricantes EP de 1ra generación El desempeño de estos lubricantes es bueno, pero su coeficiente de fricción combinado f_c (fricción sólida y fluida) es alto y dan lugar a un área de soporte de carga equivalente a un 25% del área aparente del mecanismo. De este tipo de lubricantes se tienen dos grupos generales:

Compuestos ó “Compound” que son una mezcla de un 95-97% de aceite mineral ó sintético y un 3-5% de ácidos grasos; reaccionan con las superficies metálicas a temperaturas menores ó iguales a los 80°C en el punto de contacto, y por encima de este valor se desprenden dando lugar al contacto metal-metal y por lo tanto al desgaste del mecanismo.

Compuestos de tipo químico como los esteres clorados, la manteca de cerdo sulfurada y el tricresilfosfato. Estos aditivos reaccionan químicamente con las superficies metálicas por encima de los 80°C en el punto de contacto; por debajo de esta temperatura su velocidad de reacción es muy baja ó no reaccionan.

Cuando la temperatura de las rugosidades de un mecanismo que funciona bajo condiciones de lubricación EHL es fluctuante y puede variar entre menos y más

80°C se deben utilizar lubricantes que tengan aditivos a base de ácidos grasos y de tipo químico.

Como en la práctica es difícil cuantificar en forma precisa la temperatura de 80°C en el punto de contacto, se toma como referencia para utilizar uno u otro tipo de aditivos EP una temperatura de 50°C en la superficie de la carcasa en la cual se encuentra alojado el mecanismo.

4.4.3.2 Lubricantes EP de 2da generación Estos lubricantes se caracterizan porque son una mezcla de un 95-97% de aceite mineral ó sintético y un 3-5% de un lubricante de película sólida como el bisulfuro de molibdeno, grafito, tungsteno, Teflón ó boratos. El más utilizado en la actualidad es el bisulfuro de molibdeno. Este lubricante se caracteriza porque además de recubrir totalmente el perfil de las rugosidades de las dos superficies, rellena parte de los valles de las mismas, incrementando el área de soporte de carga a un 40% del área total del mecanismo. El coeficiente de fricción combinado de estos lubricantes es menor que el de los de 1ra generación.

4.4.3.3 Lubricantes EP de 3ra generación Estos lubricantes poseen aditivos de base órgano-metálica, a base de cloro y de fósforo, los cuales cuando las superficies de fricción están sometidas a elevadas presiones liberan átomos metálicos que eutecticamente bajan el punto de fusión de las crestas más sobresalientes, haciendo que se deformen plásticamente llenando los valles de las irregularidades de las superficies. El área de soporte de carga llega a ser hasta un 75% del área total del mecanismo. Estos lubricantes presentan los coeficientes de fricción combinados más bajos dentro del grupo de lubricantes EP.

Las ventajas más importantes de los lubricantes de 3ra generación son el menor consumo de energía, menor fatiga de las piezas lubricadas al aumentar el área de soporte de carga, corrección de fallas como pitting incipiente ó descostrado en dientes de engranajes, reducción de la temperatura de operación, del nivel del ruido y las vibraciones.¹⁴

¹⁴ Tribología y Lubricantes. [citado 31 de marzo de 2013] Disponible en http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

5 ANALISIS DE ACEITE FLOTA FL COLOMBIA S.A.S.

El termino aceite usado se aplica tanto a los lubricantes en uso, cualquiera sea su estado, también conocidos como aceites de desperdicio. En el primer caso el trabajo esencial que se realiza con los aceites usados es el monitoreo de sus características en tanto que en el segundo caso se maneja el producto en si para su recuperación o disposición.

El aceite usado de cárter es el líquido aceitoso, pardo a negro, que se remueve del motor de un automóvil cuando se cambia el aceite. Es similar al aceite que no ha sido usado excepto que contiene productos químicos adicionales a causa de su uso como lubricante del motor.

Los productos químicos en el aceite consisten de hidrocarburos, que son destilados del petróleo crudo y de varios aditivos que mejoran el rendimiento del aceite. El aceite usado también contiene productos químicos formados cuando el aceite es expuesto a altas temperaturas y presión dentro del motor. También contiene ciertos metales de partes del motor y pequeñas cantidades de gasolina o diesel, anticongelante, y sustancias químicas.

Los productos químicos encontrados en el aceite usado de cárter varían dependiendo de la marca o del tipo de aceite, de si se usó gasolina o aceite diesel, de la condición del motor de dónde provino el aceite, y de la cantidad de uso entre cambios de aceite. El aceite usado no ocurre naturalmente en el ambiente.

El análisis de aceite usado ha experimentado un cambio en su filosofía, centrando su atención en los equipos, transformándose así en una nueva y eficaz herramienta de mantenimiento predictivo - proactivo. El objetivo del mantenimiento proactivo es el "ahorro de dinero". Este objetivo se logra mediante "acciones correctivas", antes que se produzca la falla y van dirigidas a la Causa Raíz, informada oportunamente por el laboratorio.

A medida que los aceites circulan a través de los equipos actúan como "mensajeros" capturando trazas de metal (producto del desgaste) y otros contaminantes (internos o externos). Esta característica de los aceites de "informar", se suma a las funciones típicas del lubricante.

La información contenida en los aceites usados es leída en los laboratorios mediante modernos y sofisticados equipos y personal técnicamente preparado. Los resultados obtenidos, junto con la información almacenada en las bases de datos y las tendencias observadas, permiten al diagnosticador establecer las condiciones actuales del equipo y predecir las condiciones de comportamiento futuro.

Los servicios de análisis, la administración electrónica de datos y los servicios administrativos están combinados para entregar al usuario información rápida, precisa y de bajo costo en relación a los beneficios que proporciona.

En la flota de transporte FL Colombia S.A.S. se utiliza aceite mobil 15W40 ESP esta dato es necesario ingresarlo en la página de EXXON MOBIL al momento de realizar la creación de los equipos en la base de datos del laboratorio que es donde nos van a suministrar los análisis de laboratorio.

5.1 ACEITE MOBIL ESP 15W40

Mobil Delvac MX ESP 15W-40 es un aceite de extra alto desempeño para motores diesel que ayuda a prolongar la vida útil de los motores en las aplicaciones más severas dentro y fuera de la carretera, a la vez que proporciona un extraordinario desempeño en los modernos motores de alta potencia y bajas emisiones, incluso aquellos con recirculación de gases de escape (EGR, por su sigla en inglés), con sistemas de post tratamiento con Filtros de Partículas Diesel (DPFs) y con Catalizadores de Oxidación de Diesel (DOCs). Mobil Delvac MX ESP 15W-40 es totalmente compatible con motores anteriores y también brindará un desempeño excepcional. Como resultado de ello, el mismo cumple o excede los requisitos de las categorías de servicio API CJ-4, CI-4 PLUS y CH-4 al igual que los requisitos de importantes fabricantes de equipos originales (OEMs).

El aceite Mobil Delvac MX ESP 15W-40 es el resultado de un extenso trabajo de desarrollo cooperativo con importantes OEMs y es recomendado por ExxonMobil para utilizarse en una amplia gama de aplicaciones de servicio pesado y ambientes operativos que se pueden encontrar en las industrias del transporte, minería, construcción, explotación de canteras y agricultura. Este producto proporciona una extraordinaria protección en los motores diesel más exigentes de Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel, Deutz, Mack, Mercedes Benz, Renault, Navistar, Volvo y otros. Mobil Delvac MX ESP 15W-40 también cumple o excede los requisitos de la especificación API SM / SL para motores de gasolina y flotas mixtas.

5.1.1 Propiedades y Beneficios El aceite Mobil Delvac MX ESP 15W-40 está formulado con la tecnología de aditivos Trimer y un sistema mixto de detergentes para proporcionar un desempeño de avanzada tanto en motores nuevos como viejos. Además de asegurar un excelente control del espesamiento del aceite debido a la acumulación de hollín y una extraordinaria retención del TBN para proporcionar largos intervalos entre cambios de aceite, la avanzada tecnología del aceite Mobil Delvac MX ESP 15W-40 también proporciona una extraordinaria resistencia al consumo de aceite, a la oxidación, al desgaste abrasivo y corrosivo y a los depósitos a altas temperaturas.

Tabla 2. Propiedades Aceite Mobil ESP 15W40

Propiedades
Superior control de la viscosidad a causa del hollín.
Excepcional estabilidad térmica y contra la oxidación.
Excelente control sobre el consumo de aceite
Excelente reserva de TBN
Su estabilidad ante el cizallamiento mantiene al aceite dentro del nivel de viscosidad de su grado
Excelente facilidad de bombeo a bajas temperaturas
Excelente resistencia a la corrosión y al desgaste abrasivo
Compatibilidad con los componentes
Cumple con las exigentes especificaciones de los principales OEMs y la más reciente categoría de servicio API para motores a gasolina y diesel.
Fuente. http://www.mobil.com/Colombia-Spanish/Lubes/PDS/GLXXS2CVL MOMobil_Delvac_MX_ESP_15W-40.aspx

Tabla 3. Ventajas y beneficios Aceite Mobil ESP 15W40

Ventajas y beneficios potenciales
Ayuda a mantener la eficiencia y extiende la vida útil del motor y del aceite
Ayuda a reducir la acumulación de sedimentos a bajas temperaturas y de depósitos de altas temperaturas
Ayuda a reducir los costos de lubricación debido a la menor reposición de aceite durante la operación.
Ayuda a mejorar la protección contra la corrosión y a prolongar los intervalos entre cambios de aceite

Ayuda a mantener la viscosidad en condiciones severas de alta temperatura que se traduce en una mayor protección contra el desgaste y una larga vida útil del motor
Flujo del aceite más rápido y desgaste reducido durante el arranque del motor a bajas temperaturas
Larga vida útil de las superficies de desgaste críticas
Larga vida útil de las empaquetaduras, sellos y sistemas de post tratamiento (DPF y DOC)
Un aceite de motor para operaciones de flotas mixtas
Fuente. http://www.mobil.com/Colombia-Spanish/Lubes/PDS/GLXXS2CVL/MOMobil_Delvac_MX_ESP_15W-40.aspx

5.1.2 Aplicaciones

- En las más recientes aplicaciones diesel de alto desempeño y bajas emisiones, equipadas con sistemas de postratamiento que usan tecnologías de Filtros de Partículas Diesel (DPF) y Catalizadores de Oxidación Diesel (DOC).
- Aplicaciones diesel de alto rendimiento incluso en diseños turbocargados que utilizan tecnología EGR y aplicaciones diesel que utilizan diseños convencionales más antiguos naturalmente aspirados.
- Transporte terrestre pesado y fuera de carretera incluyendo: construcción, minería, explotación de canteras y agricultura.
- Aplicaciones en carretera que funcionan tanto a altas velocidades/altas cargas como en viajes cortos para recoger/despachar.
- En aplicaciones fuera de carretera que operan bajo condiciones severas de baja velocidad/alta carga.
- Motores de gasolina de alto desempeño y en operaciones de flotas mixtas.
- Equipos accionados por motores diesel de OEMs americanos y europeos

5.1.3 Especificaciones y Aprobaciones

Tabla 4. Especificaciones y aprobaciones Aceite Mobil ESP 15W40

Mobil Delvac MX ESP 15W-40 atiende o excede los requerimeintos de:	
---	--

API CJ-4, CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, SM, SL	X
ACEA E7, E9	X
Caterpillar ECF-3	X
JASO DH-2	X
Renault Trucks RLD-3	X
Cummins CES 20081	X
Mobil Delvac MX ESP 15W-40 tiene las siguientes aprobaciones de fabricantes:	
Especificación de aceite Detroit Diesel Power Guard 93K218 / 93K214	X
Mack EO-N Premium Plus 03 / Mack EO-O Premium Plus	X
MAN M 3575	X
Deutz DQC II-10 LA	X
Aprobación MB 228.31	X
Volvo VDS-4 / VDS-3 / VDS-2	X
Mobil Delvac MX ESP 15W-40 es recomendado por ExxonMobil para el uso en aplicaciones que requieren:	
API CG-4, CF-4, CF-2, CF	X
MAN M 3275-1	X
Fuente. http://www.mobil.com/Colombia-Spanish/Lubes/PDS/GLXXS2CVL MOMobil_Delvac_MX_ESP_15W-40.aspx	

5.1.4 Características típicas

Tabla 5. Características Aceite Mobil ESP 15W40

Mobil Delvac MX ESP 15W-40	
Grado SAE	15W-40

Viscosidad, ASTM D 445	
cSt @ 40 °C	114
cSt @ 100°C	15
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	137
Cenizas sulfatadas, % peso, ASTM D 874	0.98
TBN, mg KOH/g, ASTM D 2896	10.4
Punto de fluidez, °C, ASTM D 97	-30
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	236
Densidad @ 15 °C, kg/l, ASTM D4052	0.876
Fuente.	http://www.mobil.com/Colombia-Spanish/Lubes/PDS/GLXXS2CVL_MOMobil_Delvac_MX_ESP_15W-40.aspx

15

5.2 USOS Y BENEFICIOS DE LOS ANALISIS DE ACEITES

Al momento de implementar nuevamente los análisis de aceites en la compañía se pueden obtener los siguientes beneficios en la flota de FL Colombia.

- Confiabilidad de los tracto camiones.
- Disminuir los costos de mantenimiento con el programa de lubricación bien administrado.
- Mayor vida útil de los equipos ya que se estaría realizando un mantenimiento predictivo y con el análisis de los resultados se pueden parar las unidades a tiempo antes de afectar algún componente del motor.
- Mejor beneficio para el cliente ya que los equipos van a estar en buen estado para el desarrollo de la operación.

¹⁵ [citado 13 de mayo de 2013] Disponible en http://www.mobil.com/Colombia-Spanish/Lubes/PDS/GLXXS2CVLMOMobil_Delvac_MX_ESP_15W-40.aspx

5.3 CUANDO Y COMO OBTENER LA MUESTRA DE ACEITE

Las muestras de aceite las debemos tomar en los equipos en cada cambio de aceite que actualmente se realizan a los 25.000 km en los tracto camiones que tienen motores ISX y 20.000 en los que tienen motor ISM. Se procederá a realizar una contra muestra cuando el análisis nos arroje una tendencia inadecuada y que este por fuera de los parámetros de funcionamiento de acuerdo a la tabla del fabricante del motor.

La muestra de aceite se debe tomar de la siguiente manera:

- Tomar las muestras en un lugar e intervalos de tiempo constante.
- Tomar las muestras a la temperatura más próxima posible a la temperatura de trabajo, y con la mayor seguridad posible.
- El procedimiento recomendado es comenzar a drenar el aceite en la forma usual quitando el tapón de drenaje. Para no coleccionar residuos provenientes del fondo del depósito, se deja que escurra unos segundos antes de colocar el recipiente para obtener la muestra del chorro de aceite.
- Otro procedimiento que se puede utilizar es con el vampiro o bomba de succión de aceite donde la muestra se toma por la bayoneta de nivel de aceite por medio de una manguera de 3/16. Este procedimiento se utilizara en los casos que se tome alguna contra muestra.
- La muestra debe de ser de 120 cc que es la adecuada para enviar al laboratorio para un buen análisis.
- Comprobar que las condiciones de trabajo sean seguras.
- Que los recipientes de la muestra estén limpios y sean los apropiados.
- Al momento de tomar la muestra de aceite se deben tener los siguientes datos para poder elaborar la etiqueta y enviarla al laboratorio: Kilometraje actual del vehículo, kilometraje total del aceite desde el último cambio, fecha de la toma de la muestra, aceite adicionado entre cambio y cambio.

Figura 14. Extraer muestra de aceite



Fuente. <http://www.exxonmobil.com/signum>

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuando regresan del laboratorio de pruebas los resultados de la muestra de aceite, se deben estudiar con mucho cuidado para determinar si se necesita efectuar alguna acción correctiva en el motor. Muchas veces los resultados son normales para las horas, kilómetros y condiciones bajo las cuales trabajó el motor.

Para realizar este análisis debemos de tener en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 6. Parámetros máximos de contaminación en motores diesel

		DIESEL			
		Rango medio 4BT, 6BT, ISB,ISC.	Pasado NTC 350, N14, LI O, M II, ISX	Alto HP K 19, K 38, K 50, QSK 45, QSK 60	
		Viscosidad 100 C (cSt)	Variación +/- 5 unidades		
		Número total de bases (TNB) ASTM D4739 min (mg KOH/g)	2.0	2.0	2.0
		Número total ácido (TAN) máx. (mg KOH/g)	4,5	4,5	4,5
		Dilución por combustible máx. (%)	5.0	5.0	5.0
METALES CONTAMINANTES	METALES DE DESGASTE	Hierro (ppm), máx.	75	100	40
		Plomo (ppm), máx.	30	30	30
		Cobre (ppm), máx.	20	20	20
		Aluminio (ppm), máx.	15	15	15
		Cromo (ppm), máx.	15	15	10
		Potasio (ppm), máx.	40	40	40
		Sodio (ppm), máx.	40	40	40
		Silicio (ppm), máx.	15	15	15
		Soot --Hollín (%), máx.	3.0	3.0	3.0
	Fuente. Cummins de los Andes				

El posible origen de las partículas metálicas del aceite es el siguiente:

Tabla 7. Origen de partículas metálicas del aceite

ELEMENTO	ORIGEN
Aluminio	Pistones, cojinetes
Bario	Fugas de refrigerante, aditivo detergente
Boro	Polvo atmosférico, fugas de refrigerante
Calcio	Aditivo detergente
Cobre	Cojinetes de bronce, latón y cobre-plomo, fugas de refrigerante en radiadores de cobre, enfriadores de aceite
Cromo	Camisas y segmentos cromados
Estaño	Cojinetes de bronce, tuberías de lubricante
Hierro	Paredes de cilindros, segmentos muñones del cigüeñal, mecanismos de distribución, engranajes
Níquel	Válvulas de alta resistencia, engranajes de distribución
Manganeso	Válvulas de alta resistencia, engranajes de distribución
Plomo	Cojinetes de cobre-plomo
Silicio	Aire atmosférico, aditivo antiespumante
Sodio	Fugas de refrigerante
Zinc	Cojinetes de latón, aditivo antioxidante

Fuente. Cummins de los Andes

5.4.1 Dilución por combustible La presencia de combustible en el aceite puede deberse a inyectores defectuosos, fugas de uniones, bomba de inyección, fuera de punto o conducción inadecuada. Una dilución de 5% de gasoil o del 3% de gasolina o una reducción de 30 C en la temperatura de inflamación puede considerarse alarmantes.

5.4.2 Dilución con agua El agua en el aceite puede provenir del sistema de refrigeración, de condensación de los gases de escape o ingresar al efectuar añadidos de aceite. Cuando su origen es el sistema de refrigeración, puede

deberse a grietas en la culata, junta de culata defectuosa o desperfecto del enfriador.

5.4.3 Aumento de la Viscosidad Si la viscosidad está más alto (más espeso) que el grado original, suele significar que ha habido oxidación del aceite. La oxidación excesiva puede ser causada por:

- Sobrecalentamiento debido a un funcionamiento irregular del sistema de enfriamiento.
- Aireamiento (aire mezclado dentro del aceite) debido a aceite muy agitado por las partes móviles del motor, lo que suele ocurrir si el nivel del aceite esta debajo del recomendado.
- Presencia de pequeñas partículas metálicas, originadas normalmente por desgaste del motor estas pequeñas partículas de metal actúan como un catalizador, que acelera la reacción química entre el oxígeno y el aceite del motor, lo que provoca que el aceite se haga más espeso.

Otros productos de la oxidación incluyen sedimentos, gomas, barniz, Depósitos de carbono y compuestos ácidos. Un aumento permisible de viscosidad se considera como máximo hasta un 30% más espeso que el original. Si el engrosamiento es mayor, se deberá hacer una inspección cuidadosa del sistema de enfriamiento del motor. La acción correctiva se deberá efectuar en cuanto sea necesaria, y se deberá reemplazar el aceite del motor y el filtro. El uso del motor y del vehículo se deberá vigilar cuidadosamente para asegurar que no haya una oxidación intensa.

5.4.4 Disminución de la Viscosidad Los laboratorios en general se consideran una disminución de viscosidad debido a la dilución del aceite. Una dilución máxima permisible de combustible del 3% de volumen, es generalmente aceptada. La dilución de combustible trae como resultado el aceite delgado y un aumento en la relación de desgaste del motor. Un nivel alto de dilución de combustible a:

- Ciclos de conducción cortos (especialmente en frío)
- Termostato defectuoso, lo que evita que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento.
- Conducto del sobrecarga de gases de descarga tapado en el múltiple de admisión.
- Elevadora de calor, una unidad de control. O sistema EFE defectuoso, que afecten la temperatura del aire de admisión.
- Circuito de energía a boquilla de inyector defectuosos
- Filtro de aire tapado o entrada de aire parcialmente cerrada.

5.4.5 Humedad La contaminación de aceite del motor por humedad puede traer como resultado mala lubricación y formación de sedimentos. Una lectura normal

deberá traer como resultado 0.05%. Las lecturas más altas del 2% se consideran excesivas por la mayor parte de los laboratorios de pruebas. El agua también actúa como catalizador para promover oxidación en la presencia de metales como hierro, cobre y plomo. Cuando hay agua libre en el cárter, pueden crearse microorganismos que se comen el aceite, formando ácidos que causan oxidación y obstruyen el filtro. El agua reduce la película lubricante e interfiere con la lubricación dejando las piezas susceptibles al desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga. En áreas de presión las gotas de agua colapsan causando Cavitación. Esta Cavitación se ve como corrosión o picado de la superficie donde hay diferencias de presiones. Las burbujas de agua (o aire en caso de espuma por exceso de aceite en el cárter) llegan al punto de presión e implosión, causando grietas pequeñas o puntos microscópicos en la superficie. Cada vez que implosiona otra burbuja en el mismo lugar se agranda este punto.

Un alto nivel de humedad en el aceite del motor se puede deber a:

- Escapes en el empaque de la cabeza
- Bloque agrietado
- Cabeza agrietada
- Válvulas de PCV y o mangueras tapadas
- Respiradero del cárter inoperante
- Ciclos cortos de conducción
- Largos intervalos de cambio de aceite.

5.4.6 Formación de espuma La espuma es una aglomeración de burbujas de aire u otro gas, separados por una fina capa de líquido que persiste en la superficie. Suele formarse por agitación violenta del líquido. La tendencia a la formación de espuma y la persistencia de esta se determina insuflando aire seco en aceite. El volumen de espuma obtenido durante el ensayo determina la tendencia a la formación de espuma del aceite. Al cabo de un tiempo de reposo se vuelve a medir el volumen, y así se determina la estabilidad de la espuma. La espuma provoca problemas en los sistemas hidráulicos y de lubricación:

Comportamiento errático de mandos hidráulicos

Cavitación en bombas

Derrames en depósitos

Oxidación prematura del aceite

Corrosión interna de elementos del sistema

Fallos en cojinetes (por insuficiente lubricación)

Disminución de la capacidad refrigerante del aceite

Disminución de la capacidad de disolución del aceite

Flotación de pequeñas partículas de lodo presentes en el aceite

La estabilidad de la espuma se ve favorecida por el aumento de la viscosidad del aceite, la presencia de compuestos polares en el mismo. Por el contrario, la temperatura elevada del aceite y la presencia de aditivos antiespumantes en el aceite reducen la tendencia a la formación de espuma.

5.4.7 Anticongelante La contaminación con anticongelante es causa de que el aceite del motor se congele. Al congelarse es demasiado espeso para fluir por el motor y lubricarlo en forma apropiada. Las posibles causas de anticongelante en el aceite incluyen:

- Cabeza de cilindros agrietada
- Escapes en el empaque de la culata
- Bloque agrietado

5.4.8 Hollín es un indicador de la eficiencia de la combustión del motor. Las principales fuentes para el hollín en el aceite es por mezcla de aire y combustible incorrecta, ajuste incorrecto de los inyectores, baja calidad del combustible, combustión incompleta, baja compresión, segmentos o piezas del motor desgastado. En el caso de que se presente hollín se deben mirar las siguientes soluciones: Asegúrese de que los inyectores funcionen correctamente, compruebe los filtros admisión de aire, Intervalos de cambio de aceite prolongados, compruebe la compresión, evite el ralentí excesivo, inspeccione las condiciones de conducción y funcionamiento, compruebe la calidad del combustible.

5.5 RESULTADOS OBTENIDOS

Durante este año se han enviado un total de 80 muestras de aceite de las cuales 60 salen con resultados normales y hay 20 en alerta. De acuerdo a lo que se quiere realizar con esta implementación ya se realizó la primera fase y que es la que se va a mostrar en esta monografía, los resultados de las unidades y de acuerdo a la topografía donde están trabajando ya que hay unidades en el nodo de Bogotá, Bucaramanga, Cali y Barranquilla. A continuación se van a mostrar los resultados de algunas unidades entre los que se van a colocar de a dos por cada Nodo y las que están en alerta.

Grafica 1. Resultados unidad SWQ345 Nodo Bogotá



No. de Cuenta : 217892
 Nombre de la Cuenta : FL de Colombia S.A.
 Instalacion : BOGOTA
 Fecha : 13-jun-2013
 Número Signum : 30977487

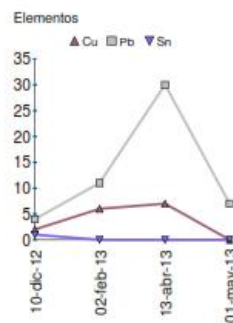
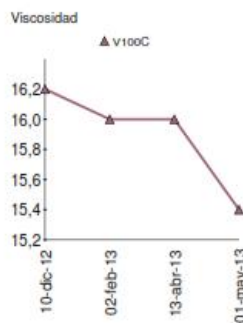
T20055

Normal

Descripción : Bogota Montaña
 Componente : Motor
 Fabricante : CUMMINS
 Modelo : ISX 400
 Lubricante registrado : MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

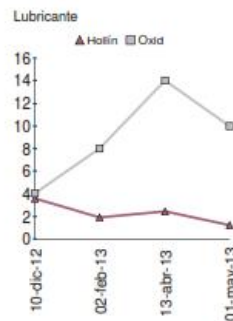
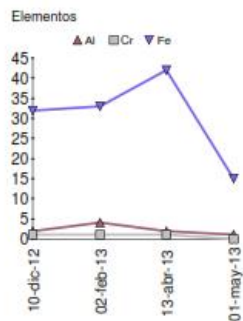
Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123177311	3123167330	3060205301	2361247336
Fecha Muestra	01-may-2013	13-abr-2013	02-feb-2013	10-dic-2012
Fecha del informe	08-may-2013	08-may-2013	04-mar-2013	28-dic-2012
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40
Equipo. KM	506345	499912	475039	450310
Acette KM	6433	20123	18729	25947
Temp. del Dep.				
Relleno Galones	1	1	2	2
Acete cambiado	S	S	S	S
Filtro Cambiado	S	S	S	S



Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123177311	3123167330	3060205301	2361247336
Fecha Muestra	01-may-2013	13-abr-2013	02-feb-2013	10-dic-2012
Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)				
Ag (Plata)	0	0	0	0
Al (Aluminio)	1	2	4	2
Cr (Cromo)	0	1	1	1
Cu (Cobre)	0	7	6	2
Fe (Hierro)	15	42	33	32
Mo (Molibdeno)	50	47	47	46
Ni (Niquel)	0	0	0	0
Pb (Plomo)	7	30	11	4
Sn (Estaño)	0	0	0	1

Datos del lubricante				
Ev. de Contamin.	Normal	Normal	Normal	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Normal	Normal
Ev. del Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal
Viscosidad @ 100C	15.4	15.0	15.0	16.2
Viscosidad SAE	40	40	40	40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado
Oxidación (Ab/cm)	10	14	8	4
Hollin (%p/p)	1.21	2.41	1.87	3.58
Agua (%vol)	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)				
B (Boro)	32	18	25	17
K (Potasio)	0	0	0	1
Na (Sodio)	0	0	0	0
Si (Silicio)	5	10	7	5
V (Vanadio)	0	0	0	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)				
Ba (Barium)	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1372	1299	1205	1281
Mg (Magnesio)	862	818	854	810
P (Fósforo)	989	900	917	1042
Zn (Zinc)	1199	1124	1061	1086

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Grafica 2. Resultados unidad SWQ340 Nodo Bogotá



No. de Cuenta : 217892
 Nombre de la Cuenta : FL de Colombia S.A.
 Instalacion : FL Colombia
 Fecha : 13-jun-2013
 Número Signum : 30977525

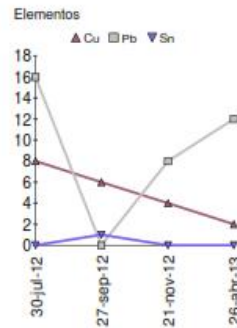
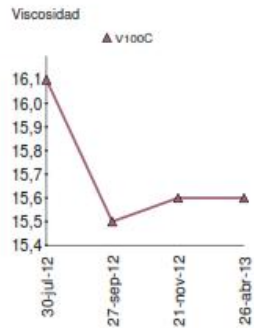
T20050

Descripción : Bogotá Montaña
 Componente : Motor
 Fabricante : CUMMINS
 Modelo : ISM 400
 Lubricante registrado : MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

Normal

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

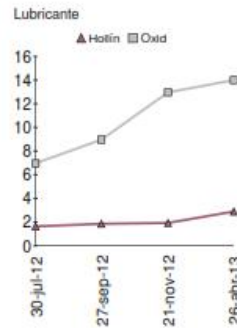
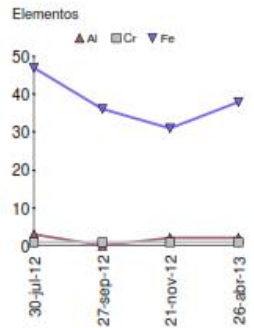
Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123173336	2339881315	2278843334	2215983304
Fecha Muestra	26-abr-2013	21-nov-2012	27-sep-2012	30-jul-2012
Fecha del Informe	08-may-2013	06-dic-2012	08-oct-2012	06-ago-2012
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40
Equipo KM	488026	442391	421968	398884
Acete KM	22661	20423	23089	24916
Temp. del Dep.				
Relleno Galones	2	2	2	2
Acete cambiado	S	S	S	S
Filtro Cambiado	S	S	S	S



Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123173336	2339881315	2278843334	2215983304
Fecha Muestra	26-abr-2013	21-nov-2012	27-sep-2012	30-jul-2012

Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)				
Ag (Plata)	0	0	0	0
Al (Aluminio)	2	2	0	3
Cr (Cromo)	1	1	1	1
Cu (Cobre)	2	4	0	8
Fe (Hierro)	38	31	36	47
Mo (Molibdeno)	48	43	44	51
Ni (Niquel)	0	0	0	0
Pb (Plomo)	12	8	0	16
Sn (Estaño)	0	0	1	0

Datos del lubricante				
Ev. de Contamin.	Normal	Normal	Normal	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Normal	Normal
Ev. del Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal
Viscosidad @ 100C	15.6	15.6	15.5	16.1
Viscosidad SAE	40	40	40	40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado
Oxidación (Ab/cm)	14	13	9	7
Hotlin (ppp)	2.88	1.95	1.88	1.63
Agua (l/vol)	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)				
B (Boro)	19	20	21	26
K (Potasio)	2	0	3	1
Na (Sodio)	0	0	5	0
Si (Silicio)	3	0	3	4
V (Vanadio)	0	0	0	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)				
Ba (Bario)	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1364	1113	1213	1371
Mg (Magnesio)	824	801	796	885
P (Fósforo)	882	918	1033	1055
Zn (Zinc)	1192	906	991	1144

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Grafica 3. Resultados unidad SWQ373 Nodo Barranquilla



No. de Cuenta : 217892
 Nombre de la Cuenta : FL de Colombia S.A.

Fecha : 13-jun-2013
 Número Signum : 31117025

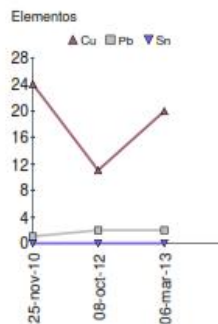
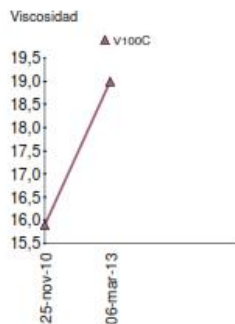
T20083

Descripción : Barranquilla plano
 Componente : Motor
 Fabricante : CUMMINS
 Modelo : ISM 370
 Lubricante registrado : MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

Alerta

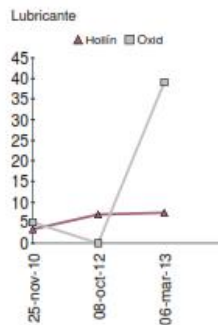
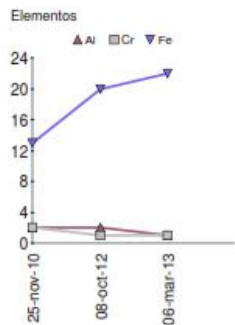
Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

Información de la Muestra			
ID de Muestra	3123177322	2339881324	0334497306
Fecha Muestra	06-mar-2013	08-oct-2012	25-nov-2010
Fecha del Informe	08-may-2013	06-dic-2012	02-dic-2010
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40
Equipo. KM	698814	620087	216617
Acete KM	20000	20000	10571
Temp. del Dep.			
Relleno Galones	1	1	
Acete cambiado	S	S	S
Filtro Cambiado	S	S	S



Información de la Muestra			
ID de Muestra	3123177322	2339881324	0334497306
Fecha Muestra	06-mar-2013	08-oct-2012	25-nov-2010
Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)			
Ag (Plata)	0	0	0
Al (Aluminio)	1	2	2
Cr (Cromo)	1	1	2
Cu (Cobre)	20	11	24
Fe (Hierro)	22	20	13
Mo (Molibdeno)	45	32	50
Ni (Níquel)	0	0	0
Pb (Plomo)	2	2	1
Sn (Estanho)	0	0	0

Datos del lubricante			
Ev. de Contamin.	Alerta	Alerta	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Normal
Ev. del Acete	Alerta	+Precaución	Normal
Viscosidad @ 100C	+19.0	+	15.9
Viscosidad SAE	50		40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado
Oxidación (Ab/cm)	78	0	5
Hollín (%p/p)	7.37	7.09	3.45
Agua (%vol)	NoDetectado	0.25	NoDetectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)			
B (Boro)	12	8	27
K (Potasio)	0	0	0
Na (Sodio)	0	0	8
Si (Silicio)	1	0	0
V (Vanadio)	0	0	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)			
Ba (Barium)	0	0	0
Ca (Calcio)	1238	869	1454
Mg (Magnesio)	814	612	895
P (Fósforo)	887	719	1066
Zn (Zinc)	1070	726	1145

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Grafica 4. Resultados unidad SWQ375 Nodo Barranquilla



No. de Cuenta :	217892
Nombre de la Cuenta :	FL de Colombia S.A.
Instalacion :	FL Colombia
Fecha :	13-jun-2013
Número Signum :	30977501

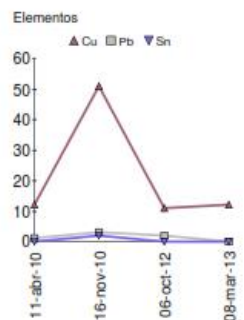
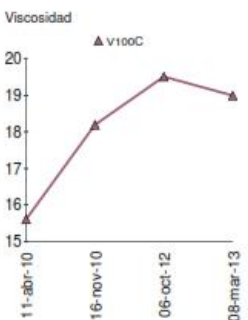
T20085

Alerta

Descripción :	Calli plano
Componente :	Motor
Fabricante :	CUMMINS
Modelo :	ISM 370
Lubricante registrado :	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

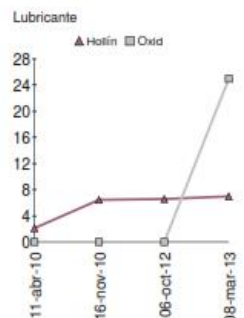
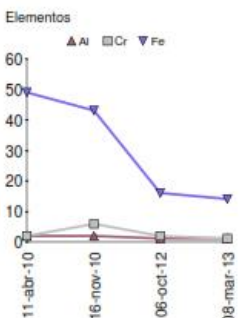
Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123170338	2339881326	0326440326	0148129351
Fecha Muestra	08-mar-2013	06-oct-2012	16-nov-2010	11-abr-2010
Fecha del Informe	07-may-2013	06-dic-2012	24-nov-2010	02-jun-2010
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40	DELV 1300S
Equipo. KM	678181	487328	172851	65165
Acete KM	18950	18950	1488	6675
Temp. del Dep.				
Relleno Galones	1	1		
Acete cambiado	S	S	S	N
Filtro Cambiado	S	S	S	N



Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123170338	2339881326	0326440326	0148129351
Fecha Muestra	08-mar-2013	06-oct-2012	16-nov-2010	11-abr-2010

Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)				
Ag (Plata)	0	0	0	0
Al (Aluminio)	1	1	2	2
Cr (Cromo)	1	2	6	2
Cu (Cobre)	12	11	12	12
Fe (Hierro)	14	16	43	49
Mo (Molibdeno)	42	49	47	43
Ni (Níquel)	0	0	0	0
Pb (Plomo)	0	2	3	1
Sn (Estaño)	0	0	2	0

Datos del lubricante				
Ev. de Contamin.	Alerta	Alerta	Alerta	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Alerta	Normal
Ev. del Aceite	+Precaución	+Precaución	+Precaución	Normal
Viscosidad @ 100C	+19.0	+19.5	+18.2	15.6
Viscosidad SAE	50	50	50	40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado
Oxidación (Ab/cm)	+25	0	0	0
Hollín (%p/p)	12.00	10.64	6.40	2.11
Agua (%vol)	NoDetectado	10.38	NoDetectado	NoDetectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)				
B (Boro)	1	12	6	31
K (Potasio)	1	0	0	0
Na (Sodio)	0	0	8	3
Si (Silicio)	0	0	3	3
V (Vanadio)	0	0	0	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)				
Ba (Bario)	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1181	990	1327	1250
Mg (Magnesio)	760	695	830	794
P (Fósforo)	842	883	907	1153
Zn (Zinc)	1011	869	1085	983

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Gráfica 5. Resultados unidad SWQ319 Nodo Bucaramanga



No. de Cuenta :	217892
Nombre de la Cuenta :	FL de Colombia S.A.
Fecha :	13-jun-2013
Número Signum :	31112632

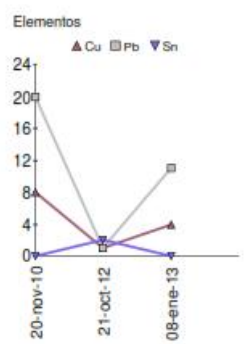
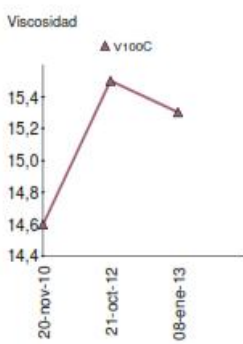
T20029

Normal

Descripción :	Bucaramanga Montaña
Componente :	Motor
Fabricante :	CUMMINS
Modelo :	ISX 400
Lubricante registrado :	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

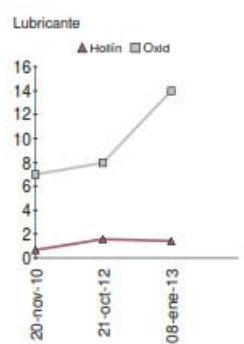
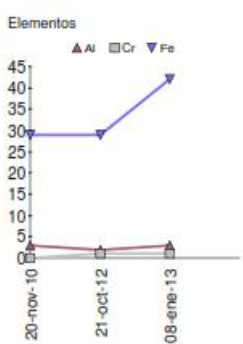
Información de la Muestra			
ID de Muestra	3030657301	2300335302	0333484335
Fecha Muestra	08-ene-2013	21-oct-2012	20-nov-2010
Fecha del Informe	31-ene-2013	29-oct-2012	30-nov-2010
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40
Equipo. KM	432773	432773	109318
Acete KM	24620	17560	5471
Temp. del Dep.			
Relleno Galones	2	1	1
Acete cambiado	S	N	S
Filtro Cambiado	S	N	S



Información de la Muestra			
ID de Muestra	3030657301	2300335302	0333484335
Fecha Muestra	08-ene-2013	21-oct-2012	20-nov-2010

Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)			
Ag (Plata)	0	0	0
Al (Aluminio)	3	2	3
Cr (Cromo)	1	1	0
Cu (Cobre)	4	1	8
Fe (Hierro)	42	29	29
Mo (Molibdeno)	49	44	27
Ni (Niquel)	0	0	0
Pb (Plomo)	11	1	20
Sn (Estaño)	0	2	0

Datos del lubricante			
Ev. de Contamin.	Normal	Normal	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Normal
Ev. del Aceite	Normal	Normal	Normal
Viscosidad @ 100C	15.3	15.5	14.6
Viscosidad SAE	40	40	40
Ind. de Refrigerante	No Detectado	No Detectado	No Detectado
Oxidación (Abicm)	14	8	7
Hotlin (%pp)	1.46	1.56	0.70
Agua (%vol)	No Detectado	No Detectado	No Detectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)			
B (Boro)	16	17	18
K (Potasio)	2	1	3
Na (Sodio)	0	0	6
Si (Silicio)	5	5	3
V (Vanadio)	1	0	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)			
Ba (Barium)	0	1	0
Ca (Calcio)	1374	1257	1927
Mg (Magnesio)	886	844	620
P (Fósforo)	1014	1003	1124
Zn (Zinc)	1182	1008	1232

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Grafica 6. Resultados unidad SWQ321 Nodo Bucaramanga



No. de Cuenta : 217892
 Nombre de la Cuenta : FL de Colombia S.A.

Fecha : 13-jun-2013
 Número Signum : 31112671

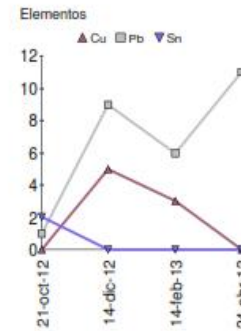
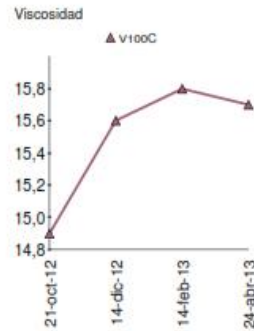
T20031

Descripción : Bucaramanga Montaña
 Componente : Motor
 Fabricante : CUMMINS
 Modelo : ISX 400
 Lubricante registrado : MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

Normal

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

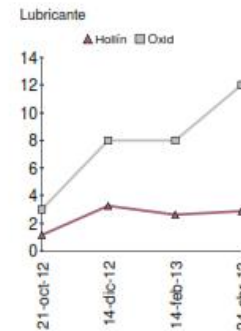
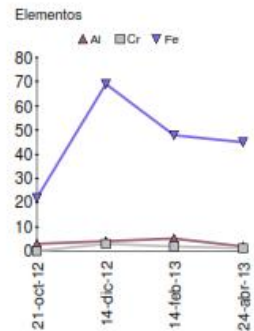
Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123177315	3060205311	3030650303	2299333340
Fecha Muestra	24-abr-2013	14-feb-2013	14-dic-2012	21-oct-2012
Fecha del Informe	08-may-2013	04-mar-2013	31-ene-2013	29-oct-2012
Marca	MOBIL	MOBIL	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40	MXESP15W40
Equipo. KM	500303	475900	453463	434651
Acete KM	24000	22000	18812	6565
Temp. del Dep.				
Relleno Galones	1	1	1	
Acete cambiado	S	S	S	N
Filtro Cambiado	S	S	S	N



Información de la Muestra				
ID de Muestra	3123177315	3060205311	3030650303	2299333340
Fecha Muestra	24-abr-2013	14-feb-2013	14-dic-2012	21-oct-2012

Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)				
Ag (Plata)	0	0	0	0
Al (Aluminio)	2	5	4	3
Cr (Cromo)	1	2	3	0
Cu (Cobre)	0	3	5	0
Fe (Hierro)	45	48	69	22
Mo (Molibdeno)	46	49	46	46
Ni (Níquel)	0	0	0	0
Pb (Plomo)	11	6	9	1
Sn (Estaño)	0	0	0	2

Datos del lubricante				
Ev. de Contamin.	Normal	Normal	+Precaución	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal	Normal	Normal
Ev. del Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal
Viscosidad @ 100°C	15.7	15.8	15.6	14.9
Viscosidad SAE	40	40	40	40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado	NoDetectado
Oxidación (Abr/cm)	12	8	8	3
Hollin (%p/p)	2.88	2.63	3.28	1.16
Agua (%vol)	NoDetectado	NoDetectado	+0.17	NoDetectado



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)				
B (Boro)	17	20	10	42
K (Potasio)	0	1	1	0
Na (Sodio)	0	0	9	1
Si (Silicio)	5	6	5	4
V (Vanadio)	0	0	0	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)				
Ba (Barium)	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1450	1332	1259	1251
Mg (Magnesio)	821	902	846	825
P (Fósforo)	1021	984	1207	1103
Zn (Zinc)	1215	1118	1096	1026

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Grafica 7. Resultados unidad SZW595 Nodo Bucaramanga



No. de Cuenta : 217892
 Nombre de la Cuenta : FL de Colombia S.A.
 Fecha : 13-jun-2013
 Número Signum : 40273735

T20327

Descripción : CALI
 Componente : Motor-FRONTAL
 Fabricante : CUMMINS
 Modelo : ISX 400
 Lubricante registrado : MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

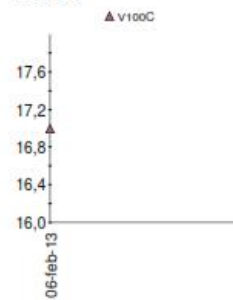
Normal

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

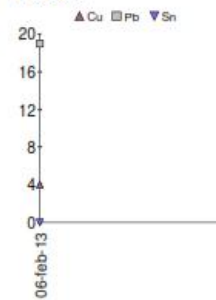
Información de la Muestra

ID de Muestra 3060205317
 Fecha Muestra 06-feb-2013
 Fecha del Informe 04-mar-2013
 Marca MOBIL
 Lub. Analizado MXESP15W40
 Equipo. KM 225692
 Aceite KM 23840
 Temp. del Dep.
 Relleno Galones 1
 Aceite cambiado S
 Filtro Cambiado S

Viscosidad



Elementos



Información de la Muestra

ID de Muestra 3060205317
 Fecha Muestra 06-feb-2013

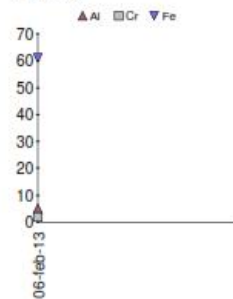
Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)

Ag (Plata) 0
 Al (Aluminio) 5
 Cr (Cromo) 2
 Cu (Cobre) 4
 Fe (Hierro) 61
 Mo (Molibdeno) 51
 Ni (Niquel) 0
 Pb (Plomo) 19
 Sn (Estaño) 0

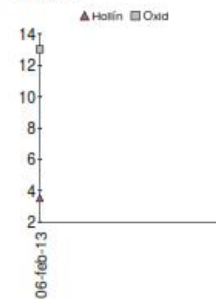
Datos del lubricante

Ev. de Contamin. Normal
 Evaluación Equipo Normal
 Ev. del Aceite Normal
 Viscosidad @ 100C 17.0
 Viscosidad SAE 90
 Ind. de Refrigerante NoDetectado
 Oxidación (Abrsm) 13
 Hollín (%pp) 3.52
 Agua (%vol) NoDetectado

Elementos



Lubricante



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)

B (Boro) 19
 K (Potasio) 2
 Na (Sodio) 0
 Si (Silicio) 9
 V (Vanadio) 0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)

Ba (Bario) 0
 Ca (Calcio) 1389
 Mg (Magnesio) 942
 P (Fósforo) 966
 Zn (Zinc) 1144

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Grafica 8. Resultados unidad SWQ331 Nodo Cali



No. de Cuenta : 217892
 Nombre de la Cuenta : FL de Colombia S.A.
 Fecha : 13-jun-2013
 Número Signum : 31117042

T20041

Descripción : Cali montaña
 Componente : Motor
 Fabricante : CUMMINS
 Modelo : ISX 450
 Lubricante registrado : MOBIL DELVAC MX ESP 15W40

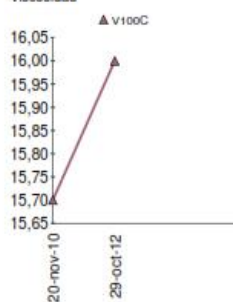
Normal

Por favor consulte la página siguiente para obtener comentarios completos.

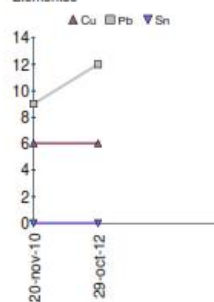
Información de la Muestra

ID de Muestra	2321623306	0333484340
Fecha Muestra	29-oct-2012	20-nov-2010
Fecha del Informe	20-nov-2012	30-nov-2010
Marca	MOBIL	MOBIL
Lub. Analizado	MXESP15W40	MXESP15W40
Equipo. KM	450000	190115
Acetate KM	16700	14377
Temp. del Dep.		
Relleno Galones	1	2
Acetate cambiado	S	S
Filtro Cambiado	S	S

Viscosidad



Elementos



Información de la Muestra

ID de Muestra	2321623306	0333484340
Fecha Muestra	29-oct-2012	20-nov-2010

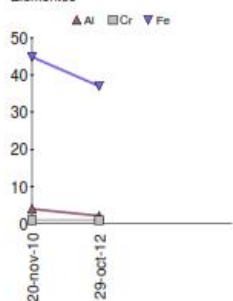
Elementos de desgaste - ppm (mg/kg)

Ag (Plata)	0	0
Al (Aluminio)	2	4
Cr (Cromo)	1	1
Cu (Cobre)	6	6
Fe (Hierro)	37	45
Mo (Molibdeno)	52	51
Ni (Niquel)	0	0
Pb (Plomo)	12	9
Sn (Estaño)	0	0

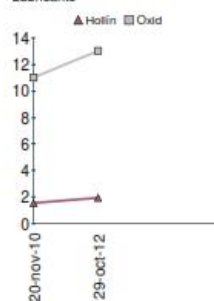
Datos del lubricante

Ev. de Contamin.	Normal	Normal
Evaluación Equipo	Normal	Normal
Ev. del Acetate	Normal	Normal
Viscosidad @ 100C	16.0	15.7
Viscosidad SAE	40	40
Ind. de Refrigerante	NoDetectado	NoDetectado
Oxidación (Ab/cm)	13	11
Hollín (%pp)	1.95	1.53
Agua (%vol)	0.11	NoDetectado

Elementos



Lubricante



Elementos contaminantes - ppm (mg/kg)

B (Boro)	27	28
K (Potasio)	1	4
Na (Sodio)	0	7
Si (Silicio)	4	4
V (Vanadio)	1	0

Elementos aditivos - ppm (mg/kg)

Ba (Bario)	0	0
Ca (Calcio)	1373	1418
Mg (Magnesio)	901	882
P (Fósforo)	1059	1051
Zn (Zinc)	1126	1165

Fuente. Resultados análisis de aceite portal Signum cuenta FL. Colombia S.A.S.

Los resultados de las muestras de aceite que se enviaron desde el año pasado nos ha permitido observar que los motores que ya se encuentran con mayor kilometraje recorrido son los que salen las muestras de aceite en alerta hay algunos parámetros que están entre lo aceptado por Cummins el fabricante del motor pero también el objetivo principal al momento de implementar este programa de tribología en la compañía FL Colombia era identificar estos problemas. Por lo anterior el siguiente paso que se va a implementar es revisar las casqueterías de los 18 vehículos que se encuentran en Barranquilla empezando con los dos de mayor kilometraje para poder observar una tendencia en estos vehículos y determinar si hay la necesidad de intervenir el resto de los vehículos o si por el contrario se encuentran bien y podemos tomar otras acciones como lo es con filtración y bajando a 18.000 Kilómetros el cambio de aceite, esta acción sería oportuna porque son motores ISM y tienen menor potencia que los ISX y de acuerdo a los resultados que se tomaron al comienzo de la operación con estos vehículos se dejó el cambio a los 20.000 Kilómetros ya que presenta Hollín alto al subirlos a 25.000 Kilómetros como están los ISX.

De acuerdo al análisis que se presentó en los Nodos de Bogotá, Bucaramanga y Cali se va a presentar una propuesta a la Gerencia de aumentar el Cambio de aceite a 28.000 Kilómetros ya que las tendencias en los muestreos de aceite y el funcionamiento de los motores se está presentando de muy buena manera y además en la flota de transporte de FL Colombia se tiene un promedio recorrido mensual de 13.000 kilómetros lo que nos lleva a que en menos de 2 meses y medio realizaríamos el cambio de aceite tampoco nos saldríamos del rango de tiempo recomendado por fábrica que es antes de los 3 meses o un kilometraje previamente estableció para el cambio de aceite y que estos motores no han presentado ningún daño severo en alguno de los Nodos.

5.6 TIPOS DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS EN FL COLOMBIA S.A.S.

En la empresa se manejan unas gamas de mantenimientos preventivos que se realizan en los cambios de aceite que van en tipo A, B, C, D y E. Estos mantenimientos se han venido adecuando a los kilómetros que van recorriendo los vehículos. Son inspecciones y trabajos que debemos de realizar a las unidades para poder asegurar una disponibilidad y confiabilidad en la flota.

5.6.1 Mantenimiento tipo A este mantenimiento se realiza cada 25.000 kilómetros, tiene una duración de 6 horas, lo realiza un técnico A con un auxiliar. Este mantenimiento es muy básico costa de realizar básicamente inspecciones y algunos trabajos mecánicos muy sencillos que se realizan para poder asegurar la disponibilidad del vehículo durante el siguiente mantenimiento preventivo. A continuación se presenta la tabla con los puntos concretos, el código de la tarea en el software de mantenimiento de la compañía y tiene dos cuadros más para las refacciones que se cargan y si se tiene alguna observación de la tarea realizada. Esta tabla se encarga de llenarla el técnico y tiene que tener la verificación del

facilitador de mantenimiento antes de entregar el vehículo nuevamente a la operación.

Tabla 8. Formato Mantenimiento Tipo A

DETALLES DEL EQUIPO T20081

EQUIPO : T20081 **ESTADO :** Mantenimiento
KMS PREVENTIVO : 732751 **KMS ACUMULADOS :** 732700
FECHA ULTIMO PREVENTIVO : 19/06/2013 **SIGUIENTE PREVENTIVO :** A
GRUPO DE MANTENIMIENTO : T800-ISM COL
CLIENTE : KOF Colombia
TALLER : Taller Bogotá

COD	PUNTO CONCRETO	REALIZADO		REFACCIONES	OBSERVACIONES
		SI	NO		
1331	Ajustar correas de motor				
35	Ajustar soportes de motor				
77	Cambiar aceite y filtros a motor (aceite, combustible)				
158	Mantenimiento de baterías				
206	Limpiar y revisar funcionamiento respiradero(s) transmisión(es)				
252	Limpiar y revisar funcionamiento respiradero(s) diferencial(es)				
112	Nivelar anticongelante (revisar filtro y determinar cambio)				
1440	Purgar tanques de aire				
538	Revisar llantas, profundidad, número y presión				
	1- Prof Presión	6- Prof	Presión		
	2- Prof Presión	7- Prof	Presión		
	3- Prof Presión	8- Prof	Presión		
	4- Prof Presión	9- Prof	Presión		
	5- Prof Presión	10- Prof	Presión		
1337	Revisar aceite a rodamientos delanteros				
1335	Revisar espárragos				
1327	Revisar código de fallas de motor con herramienta electrónica				
1334	Revisar y engrasar crucetas				
368	Revisar frenos				

12	Revisar fugas de motor				
108	Revisar funcionamiento fan clutch				
323	Revisar juego de quinta rueda con herramienta				
348	Revisar luces parqueo, direccionales, freno, altas bajas				
182	Revisar marcadores de tablero				
1333	Revisar restricción de aire (Cambiar filtro después de 15 IN H2 O)				
1165	Revisar sistema de ABS				
245	Revisar terminales y juego de pernos				
213	Revisar tornillos de campana y auto ajustable				
330	Torquear abrazaderas de suspensión				
Fuente. Software mantenimiento FL. Colombia S.A.S.					

5.6.2 Mantenimiento Tipo B Este mantenimiento se realiza a los 50.000 Kilómetros, tiene establecido un tiempo de 8 horas en el cual se realizan las mismas actividades del mantenimiento tipo A y se adicionan las siguientes tareas.

Tabla 9. Formato Mantenimiento Tipo B

COD	PUNTO CONCRETO
1265	Ajustar guías de cofre
448	Ajustar soportes de cabina
	Revisar bujes quinta rueda
103	Ajustar soportes de radiador
137	Ajustar tubos de escape
231	Alinear eje delantero
232	Alinear, balancear y rotar tándem
421	Dar mantenimiento aire acondicionado
1448	Mantenimiento Secador De Aire (Cambiar Elemento)
1446	Nivelar aceite dirección hidráulica
2113	Revisar Visualmente Los Arnés Del Motor
334	Revisar funcionamiento amortiguadores
144	Revisar tiempo de carga a compresor
Fuente. Software mantenimiento FL. Colombia S.A.S.	

5.6.3 Mantenimiento Tipo C Este mantenimiento se realiza en intervalos de 75.000 kilómetros, lo realiza un técnico A y un técnico B, tiene establecido un

tiempo de 12 horas. Este tiempo puede aumentar al momento de realizar el punto concreto 285 ya que si esta para cambiar splinder esta tarea se demora 3 horas. En este caso se adicionan los puntos concretos del mantenimiento tipo A y B mas las siguientes actividades.

Tabla 10. Formato Mantenimiento Tipo C

COD	PUNTO CONCRETO
248	Cambiar aceite y filtro dirección hidráulica
129	Limpiar y probar el pos enfriador
113	Limpieza sistema enfriamiento (restore)
292	Revisar ajuste de rodamientos ruedas tándem
253	Revisar ángulos de barras
285	Revisar rodamientos, splinder y ruedas delanteras
240	Revisar sistema dirección
210	Revisar sistema neumático de transmisión
Fuente. Software mantenimiento FL. Colombia S.A.S.	

5.6.4 Mantenimiento tipo D este mantenimiento se realiza en intervalos de 125.000 Kilómetros, lo realiza un técnico A y un técnico B, el tiempo establecido para ese mantenimiento es de 15 horas. Se le accionan los puntos concretos del tipo A, B, y C más las siguientes tareas.

Tabla 11. Formato Mantenimiento Tipo D

COD	PUNTO CONCRETO
9	Calibrar Motor (Válvulas Inyectores) y Freno De Motor
2115	Lavar Motor
119	Revisar excentricidad del turbo
Fuente. Software mantenimiento FL. Colombia S.A.S.	

5.6.5 Mantenimiento tipo E este mantenimiento tiene una duración de 48 horas y de acuerdo a los análisis de aceites se va a empezar a implementar en el nodo de Barranquilla. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis de aceite nos da como punto de partida que este mantenimiento lo programaríamos a los 700.000 kilómetros de las unidades. Los puntos concretos 257 y 204 se están realizando a los 400.000 kilómetros ya que se está utilizando aceite sintético mobil H50 para la transmisión y 85W140 para las diferenciales. Al momento de utilizar aceite mineral se debe cambiar a los 90.000 Kilómetros.

Tabla 12. Formato Mantenimiento Tipo E

COD	PUNTO CONCRETO
257	Cambiar aceite a diferencial(es)
204	Cambiar aceite de transmisión
18	Medir juego de cigüeñal y árbol
429	Retocar pintura a tractor
2116	Revisar acumulación De carbón en las conexiones del compresor de aire
25	Cambiar casquetes de bancada
26	Cambiar casquetes de biela
Fuente. Software mantenimiento FL. Colombia S.A.S.	

6 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal implementando un programa de lubricación basándose en el análisis de aceite de los motores de la empresa FL Colombia S.A.S.
- Se identificaron tendencias de desgaste en los vehículos del Nodo de Barranquilla con los resultados de los análisis de aceite y de esta manera se programa un mantenimiento predictivo para estos vehículos.
- Se adecuan los tipos de mantenimiento que suministra el departamento de mantenimiento de México a la topografía Colombiana ya dejando establecido los kilometrajes en los cuales se va a realizar los tipos de mantenimiento a toda la flota de transporte de FL Colombia y colocando el tipo E a los 700.000 kilómetros para realizarlo a todas las unidades.
- Se implemento nuevamente la toma de muestras de aceite motor periódicamente en las unidades y de esta manera se realizo el análisis de aceite, monitoreando el rendimiento del aceite e índices de desgaste de los diferentes componentes del motor. Estos análisis de laboratorio se realizaron directamente con Exxon Mobil que cuenta con certificado por la ISO 9000 y participación cross-checkings de ASTM.
- Se analizo los resultados de las muestras de aceite con la tabla de los límites de desgaste de motores diesel, la cual nos muestra los parámetros máximos de contaminación y el origen de las partículas metálicas en el aceite.
- Se implemento un plan de disposición final del aceite usado con la empresa Ecofuel en Bogotá y Cali, Descont en Bucaramanga para dar cumplimiento de las normas ambientales. Queda pendiente el Nodo de Barranquilla en el cual al momento de empezar con los mantenimientos tipo E se va a buscar una empresa certificada en esta ciudad que pueda darle la disposición final del aceite.
- Con los resultados de los análisis de aceite se observo que los cambios de aceite en los motores ISX se puede aumentar a 28.000 kilómetros lo cual llevara a obtener beneficios económicos para la compañía ya que es una de

las flotas de transporte que mayor kilometraje recorre en todo el país con un promedio mensual de 13.000 kilómetros por vehículo.

- Los vehículos con motores ISM que se encuentran en el nodo de Barranquilla se baja el cambio de aceite a 18.000 kilómetros mientras se realiza la revisión de casquetería y sistema de inyección porque en los análisis de aceite de estos motores el hollín está por encima de los índices permitidos del fabricante Cummins y está contribuyendo al aumento de la viscosidad del aceite.

BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACIN, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz: Tomo I, 4 edición.

Cummins Engine Company, Inc. Manual de Operación y Mantenimiento Motores Signature e ISX

http://books.google.com.co/books?id=DqJuqL_UzjkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false tribologia en motores diesel.

<http://lugohermanos.com/blog/otras-noticias/origen-y-definicion-de-la-tribologia/>

"Predicción de desarrollo fricción durante transitoria el funcionamiento del motor diesel con un modelo detallado ", Int. J. Vehicle Design, vol. 44

http://187.141.81.212/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

<http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>

<http://www.lubricar.net/teoria.htm>

<http://www.signumoilanalysis.com/signum/index.html>

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18718>

<http://argo.urv.es/quimio/general/iso.pdf>

http://www.mobil.com/Colombia-Spanish/Lubes/PDS/GLXXS2CVLMOMobil_Delvac_MX_ESP_15W-40.aspx

http://www.astm.org/STATQA/In_Service.htm

<http://www.fl.com.mx/es/soluciones/servicios/administracion-de-flotas-dedicadas.htm>

Cummins Engine Company, Inc. Manual de Operación y Mantenimiento Motores Signature e ISX

ANEXO A RESOLUCIÓN 1446 DE 2005

Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.

La Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en ejercicio de sus funciones legales, y en especial las conferidas en los numerales 2, 10, 11 y 14 del artículo 5º de la Ley 99 de 1993, y el artículo 24 del Decreto 948 de 1995 modificado por el artículo 1º del Decreto 1697 de 1997, y considerando que mediante la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998 de esta entidad, se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma; Que la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible de este Ministerio consultó estudios realizados sobre el uso y tratamiento de aceites de desecho o usados como son el Estudio sobre el Manejo de los Aceites Usados en Colombia (Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla), el estudio de la Unidad de Planeación Minero Energético denominado “Utilización en Colombia de Aceites Usados como Energéticos en Procesos de Combustión Segunda Fase”, los realizados sobre aceites usados en el Valle de Aburrá por el Área Metropolitana, el denominado Análisis del Aceite Usado en Vermont, Estudiode emisiones de aceites usados en hornos preparado por la Agencia de los Recursos Naturales de Vermont (con la participación del Departamento de Conservación Ambiental, la División de Control de la Contaminación del Aire y la División para el Manejo de Materiales Peligrosos), así como también el Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados publicado por el DAMA y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca; Que esta consulta le permite al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecer nuevas alternativas para el aprovechamiento como combustible de los aceites de desecho o usados en el territorio nacional.

Que la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible considera viable establecer modificaciones a los requisitos contemplados en Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, para los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.

Que en merito de lo expuesto,

RESUELVE:

Artículo 1°.

Modificase el artículo primero de la Resolución 415 del 13 de marzo 1998 el cual quedará así:

“Artículo 1°.

Para la aplicación de la presente resolución, se adoptan las siguientes definiciones:

Aceite de Desecho o Usado: Todo aceite de Desecho o Usado: lubricante, de motor, de transmisión o hidráulico con base mineral o sintética de desecho que por efectos de su utilización, se haya vuelto inadecuado para el uso asignado inicialmente. Estos aceites son clasificados como residuo peligroso por el anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea, el cual fue ratificado por Colombia mediante la Ley 253 de enero 9 de 1996.

Aceite Usado Tratado: Entiéndase como aceite usado tratado aquel que ha sido sometido mediante medios físicos, químicos o biológicos a un proceso de limpieza de elementos tales como sedimentos, compuestos de cloro, metales pesados, solventes y otros elementos provenientes de aditivos y de usos originales como aceite lubricante en vehículos o sistemas industriales, a excepción de aquellos usados como aceites dieléctricos en transformadores, equipos de refrigeración, entre otros, hasta niveles aceptables de tal forma que pueden ser usados para su aprovechamiento energético como combustibles en actividades industriales.

Almacenador: Persona natural o jurídica que cuenta con los permisos requeridos por las autoridades competentes de conformidad con la normatividad vigente, y que en desarrollo de su actividad almacena y comercializa aceites usados.

Procesador o Tratador: Persona natural o jurídica que debidamente autorizada por la autoridad ambiental competente recibe y trata aceites usados para transformarlos de residuos a productos para su adecuado aprovechamiento mediante procesos de combustión, re-refinanciación, producción de bases plastificantes o cualquier proceso aprobado mediante la Licencia Ambiental por la autoridad ambiental competente.

Mezcla o Blending: Hace relación a la mezcla de aceite usado con otros tipos de combustible como fuel oil (diesel, combustóleo) o crudos con bajas concentraciones de azufre, que permiten una mayor fluidez y ganancia calorífica.

Tratamiento Primario: Es el dado al aceite usado a través de un proceso de sedimentación (centrifugación o flotación, o uso de métodos químicos) y filtración.

Tratamiento Secundario: Es aquel en el cual mediante procesos químicos o térmicos son removidos en un porcentaje no menor al 80% los metales pesados y los compuestos de cloro, el agua y los solventes orgánicos.”

4.3.2 DECRETO 4741 DE 2005

Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

Artículo 1°. *Objeto.* En el marco de la gestión integral, el presente decreto tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.

Artículo 2°. *Alcance.* Las disposiciones del presente decreto se aplican en el territorio nacional a las personas que generen, gestionen o manejen residuos o desechos peligrosos.

ANEXO B PROGRAMA IN SERVICE DIESEL ENGINE LUBRICATING OIL MONITORING

Programa de Pruebas de Competencia de aceite en servicio de la ASTM International es una herramienta de garantía de calidad estadístico que permite laboratorios para comparar, mejorar y mantener un alto nivel de rendimiento en la realización de pruebas por ASTM Internacional. Métodos u otros medios utilizados por el laboratorio.

Llevado a cabo tres veces al año, este programa ofrece (por cada ciclo de prueba) un recipiente de 250 ml en el servicio diesel de aceite lubricante del motor, formas informes de datos, y las instrucciones de la prueba. A en servicio del aceite lubricante del motor diesel diferente se utiliza para cada ciclo de prueba. Labs realizan las pruebas que normalmente se llevan a cabo dentro de sus instalaciones. Se alienta a los laboratorios a utilizar los métodos de ASTM International, como está escrito, sin embargo, el programa permitirá a los laboratorios a utilizar otros métodos. Los otros métodos utilizados, o cualquier desviación de la norma ASTM Intl. Método, se debe documentar con el formulario de informe de datos.

Los datos de prueba y la información relacionada volvieron a ASTM International. se utilizará en la generación de informes estadísticos de resumen que se devuelven electrónicamente a cada laboratorio. Los informes contienen:

- Resultados de pruebas de laboratorio codificadas
- El análisis estadístico de los datos de prueba
- Gráficos extrapolación de los resultados de pruebas de laboratorio frente a código

1 Parámetros de Ensayo

D2982, D4291, otros métodos	Glicol
D893, D4055, otros métodos	Insolubles
D95, D6304, D1744, "La prueba del crujido", otros métodos	Contenido de Agua
D92, D93, D3828, otros métodos	Punto de inflamación
D3524, otros métodos	La dilución de combustible
D5185, D6595, otros métodos	Contaminents metal / desgaste

D664, D974, otros métodos	Número Ácido
D2896, D4739, D974, otros métodos	Número base
D445, otros métodos	Viscosidad, cinemática
D7279	Houillon Viscosidad Cinemática
FT-IR	Insolubles
D7624	Nitración
D7414	Oxidación
	Hollín Loading
D7415	La sulfatación
	La dilución de combustible
	Glicol
	Contaminación del agua
D7412	Fosfato

2 Comité D02 sobre productos y lubricantes petróleo

Comité D02 sobre Productos y lubricantes derivados del petróleo, que consta de más de 1.500 socios y desarrolladores de cerca de 670 normas de ASTM International, proporciona la dirección técnica para el programa. Prueba de la información generada por el programa es utilizado por el Comité D02 para determinar si las modificaciones a los métodos de ASTM International o nuevos métodos están garantizados y revisar analíticamente resultados de las pruebas del programa. *(Todos los datos y la información relacionada generado desde el programa está codificado para mantener la confidencialidad de laboratorio.)*¹⁶

¹⁶ [citado 13 de mayo de 2013] Disponible en http://www.astm.org/STATQA/In_Service.htm

ANEXO C NORMA EUROPEA EN ISO/IEC 17025

1 Objeto y campo de aplicación

La norma ISO 17025 amplía el objetivo de las normas ISO 25 y EN 45001 ya que tiene en cuenta el muestreo y que los métodos de ensayo pueden ser no normalizados o bien pueden estar desarrollados por el propio laboratorio. Otra novedad de la norma es que establece que algunas cláusulas no serán aplicables a todos los laboratorios, en concreto aquellas relacionadas con actividades que el laboratorio no lleve a cabo, como por ejemplo el muestreo o el desarrollo de nuevos métodos.

2 Normas para consulta

La norma ISO 17025 sigue teniendo como referencias válidas para consultar las normas ISO 9001 y ISO 9002. Sin embargo, a diferencia de la ISO 25, la nueva norma advierte que, dado que las normas están sujetas a procesos de revisión, siempre debe utilizarse su versión más reciente.

2.1 Definiciones

A diferencia de las normas ISO 25 y EN 45001, en la nueva norma se han suprimido las definiciones. Sin embargo, siguen siendo aplicables las definiciones descritas en la ISO/IEC 2 y en el Vocabulario Internacional de Términos Básicos y Generales en Metrología (VIM).

2.2 Requisitos de gestión

- a) **Organización** La principal novedad es que aparece un requisito aplicable a laboratorios que pertenecen a organizaciones de mayor tamaño. En este caso, deberán definirse las actividades de toda la organización, delimitando claramente las responsabilidades del personal clave e identificando los posibles conflictos de interés. También se hace hincapié en la necesidad de definir el organigrama del laboratorio, su posición en la organización y las interrelaciones entre los diversos bloques (dirección, operaciones técnicas, servicios de apoyo y sistema de calidad).

La segunda novedad consiste en que la norma no establece la necesidad de la figura del Director Técnico, sino que podrá existir una Dirección Técnica que asuma la responsabilidad global de las operaciones técnicas.

Como detalle referente a la seguridad, se introduce la necesidad de establecer procedimientos para proteger la transmisión electrónica de documentos.

- b) Sistema de gestión de la calidad** En este apartado la norma establece más claramente que en las normas ISO/IEC 25 y EN 45001 los requisitos mínimos que deberá tener la declaración de política de calidad. Sin embargo, a diferencia de ambas normas, se ha suprimido la lista de los contenidos que debería tener un manual de calidad.
- c) Control de documentos** Este apartado está en línea con la norma ISO 9001, aunque incluye requisitos más específicos referentes a la revisión, aprobación, emisión y corrección de documentos, ya sean impresos o en formato electrónico. Hay que destacar que los documentos procedentes de fuentes externas, tales como las normas de ensayo, que forman parte del sistema de calidad del laboratorio, deberán ser controlados de la misma forma que se controlan los documentos elaborados internamente. También se establece que ya no será necesario que los documentos estén firmados por los responsables de su revisión y aprobación, pero se deberá incluir la identificación del responsable de su emisión.
- d) Revisión de solicitudes, ofertas y contratos** Este aspecto apenas estaba recogido en la norma ISO 25 y ahora recoge los requisitos establecidos en la norma ISO 9001, entre los que se incluyen la identificación de las necesidades del cliente y la seguridad de que el laboratorio tiene la capacidad de satisfacer dichas necesidades. El objetivo es, en definitiva, asegurar que tanto el laboratorio como su cliente entienden y acuerdan el trabajo a desarrollar. La norma, incluso, permite que se establezcan en algunos casos contratos verbales. Se hace hincapié también en la necesidad de mantener un registro de las revisiones del trabajo desempeñado, aunque éste sea subcontratado por el laboratorio.
- e) Subcontratación de ensayos y calibraciones** Se establece que el laboratorio debe subcontratar ensayos o calibraciones a laboratorios competentes (p.e. laboratorios que cumplan la presente norma). También se amplía el concepto de subcontratación a actividades con carácter permanente, a través de acuerdos de subcontratación, representación o franquicia.
- f) Compra de servicios y suministros** Incorpora, de forma simplificada, los requisitos de la norma ISO 9001, con el objetivo de asegurar que los laboratorios, antes de proceder a la adquisición de un servicio o suministro, establecen las especificaciones que deberá cumplir y que, posteriormente, verifican el cumplimiento con las mismas antes de su utilización o puesta en servicio. Esto incluye la evaluación de los proveedores.
- g) Servicio al cliente** Se establece, como novedad respecto a la norma ISO 25, la obligación de cooperar con el cliente. Se recomienda asimismo mantener en todo momento informado al cliente de cualquier eventualidad

en la realización de los ensayos y/o calibraciones, así como conocer su grado de satisfacción a través de encuestas de opinión

- h) Reclamaciones** No aparece ninguna novedad. Se insiste en la necesidad de que el laboratorio disponga de un procedimiento para gestionar las reclamaciones.
- i) Control de trabajos de ensayo y/o calibración no conformes** Muchos de los requisitos de este apartado están contemplados en la ISO 25. Como novedad, y en línea con la norma ISO 9001, aparece un requisito en el que se establece la necesidad de disponer de procedimientos específicos para ocuparse del trabajo y los resultados no conformes. En este caso, será necesaria la adopción de "acciones correctivas inmediatas".
- j) Acciones correctivas** El laboratorio debe incorporar procedimientos específicos para el análisis de causas, la selección, implementación y seguimiento de acciones correctivas y, en caso de que se ponga en duda el cumplimiento con los requisitos de la presente norma, la realización de auditorías adicionales.
- k) Acciones preventivas** Es un apartado completamente novedoso, que establece la necesidad de que los laboratorios desarrollen procedimientos proactivos que les permitan identificar oportunidades de mejora y posibles fuentes de no conformidades, ya sean técnicas o relativas al sistema de gestión de la calidad, así como establecer las "acciones preventivas" oportunas.
- l) Control de los Registros** Se presta especial atención a los registros en soporte electrónico, para los cuales el laboratorio debe disponer de procedimientos para garantizar su protección, realizar copias de seguridad y evitar su destrucción o modificación.
- m) Auditorías internas** Como novedad más importante se recomienda que la duración de un ciclo de auditorías internas sea de aproximadamente un año.
- n) Revisiones por la dirección** La dirección del laboratorio, con una frecuencia recomendada de una vez al año, debe realizar revisiones del sistema de gestión de la calidad y de las actividades de ensayo y/o calibración, con el objetivo de comprobar el adecuado cumplimiento e introducir las mejoras oportunas. La revisión debe contemplar, entre otros, el resultado de las auditorías internas recientes, las acciones correctivas y preventivas, las auditorías externas, los resultados de ejercicios inter laboratorio, reclamaciones o el retorno de información por parte de los clientes.

2.3 Requisitos técnicos

Aunque las ideas expuestas son básicamente las mismas, este apartado está mucho más detallado que en las normas ISO 25 y EN 45001 ya que se ha querido

evitar que los organismos de acreditación especifiquen sus propios criterios. En concreto, los puntos donde se ha puesto un especial énfasis son:

- La toma de muestra
 - La validación de métodos
 - La verificación de la trazabilidad y el cálculo de la incertidumbre de la medida en el caso de los laboratorios de ensayo. El contemplar la posibilidad de incluir interpretaciones y opiniones en los informes de ensayo.
- a) **Generalidades** Se listan los factores que influyen en la validez y fiabilidad de los ensayos y/o calibraciones realizadas por el laboratorio y que se describen individualmente a continuación.
- b) **Personal** El laboratorio debe disponer de una política de formación de su personal, el cual debe ser de plantilla o contratado. En el caso de personal en formación, debe garantizarse su adecuada supervisión. En cuanto al personal técnico o auxiliar con contrato temporal, el laboratorio debe asegurar su competencia, su adecuada supervisión y su adaptación al sistema de gestión de la calidad. Se hace especial hincapié en el personal responsable de las opiniones expresadas en los informes de ensayo, al cual se le exige un conocimiento y cualificación adicionales.
El laboratorio, asimismo, debe mantener actualizada una descripción de cada uno de sus puestos de trabajo, donde de indique, entre otros, la responsabilidad del puesto, los conocimientos y experiencia necesarios para su desempeño, así como las aptitudes y los programas de formación requeridos.
- c) **Instalaciones y condiciones ambientales** En este apartado no hay novedades con respecto a las normas ISO/IEC 25 y EN 45001. Simplemente destacar que los requisitos incorporan también la toma de muestras, además de los ensayos y las calibraciones, como actividad que se realiza en el laboratorio.
- d) **Métodos de ensayo y calibración y validación de métodos** La nueva norma ISO/IEC 17025 incorpora requisitos relativos a la selección de métodos por parte del laboratorio y al uso de métodos no normalizados o desarrollados por el propio laboratorio. Como novedad, se incluye la necesidad de que cualquier desviación al método de ensayo sea autorizada por el cliente. Además, la nueva norma trata extensamente la validación de métodos de ensayo y calibración explicando cuándo debe validarse un método y cuáles son los parámetros que deben determinarse [RIUS, 2000]. Esto es una novedad respecto a la norma EN 45001, donde únicamente se nombra la necesidad de tener totalmente descritos los métodos de ensayo no normalizados. Por otro lado, la norma ISO/IEC 25 afirma que deben validarse los métodos que no sean de referencia pero no especifica cómo debe realizarse esta validación. Es aconsejable que los laboratorios revisen

sus procedimientos para asegurar que todos los aspectos mencionados en el subapartado 5.4.5 se tienen en cuenta durante la validación. La norma intenta dejar claro también que la validación supone siempre un equilibrio entre costes, riesgos y posibilidades técnicas, es decir, la validación debe ser suficiente, pero sin que ello implique exigencias imposibles de cumplir.

En lo que se refiere al cálculo de incertidumbre, la nueva norma pone un mayor énfasis en la necesidad de estimar la incertidumbre de ensayo, así como en el cálculo de incertidumbres asociadas a las calibraciones internas. Este punto, uno de los más importantes de la norma, será tratado con más detalle en próximos artículos. También se establecen requisitos claros relativos al control de las diferentes versiones del software utilizado en el laboratorio y que pueda tener influencia en los resultados de ensayo/calibración.

- e) **Equipos** En este apartado la norma ISO/IEC 17025 especifica más cuáles son los equipos que deben cumplir con las especificaciones requeridas. Además, cabe destacar que la norma considera dentro de este apartado el material utilizado para hacer el muestreo así como los programas informáticos.
- f) **Trazabilidad de las medidas** Al igual que en las normas ISO/IEC 25 y EN 45001, se establece que deben calibrarse todos aquellos equipos que tengan un efecto significativo en la exactitud de los resultados. La principal novedad es que la nueva norma concreta mucho más cómo debe verificarse la trazabilidad de los resultados. Además, diferencia entre los laboratorios de calibración y los laboratorios de ensayo. Los laboratorios de calibración deberían calibrar sus equipos de forma que aseguren la trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI) o, en el caso de que no sea posible, a patrones de referencia apropiados, tales como los materiales de referencia certificados o bien utilizando métodos descritos claramente y aceptados por todas las partes implicadas. Sin embargo, la calibración de los equipos en los laboratorios de ensayo depende de la contribución que tenga la incertidumbre de la calibración a la incertidumbre de los resultados. En el caso de que la contribución sea importante, deberían calibrarse los equipos de igual forma que en los laboratorios de calibración. Por otro lado, cuando esta contribución sea pequeña el laboratorio únicamente debe asegurarse de que el equipo proporciona medidas con la exactitud necesaria. Además, la norma también incluye un nuevo apartado donde se especifican los patrones que deben utilizarse para verificar la trazabilidad así como la necesidad de procedimientos para asegurar su conservación y evitar su contaminación.
- g) **Muestreo** Con este apartado se aborda con más profundidad un aspecto poco desarrollado en la EN 45001, estableciendo requisitos claros y concisos para su realización. En este sentido, el laboratorio debe disponer de un plan de muestreo, basado a ser posible en métodos estadísticos, y de

procedimientos para el muestreo donde se indiquen los factores que deben controlarse para garantizar la validez de los resultados. Todos los datos y operaciones relacionadas con el muestreo, así como cualquier desviación de los procedimientos establecidos, debe registrarse. En adelante será posible incluir en los informes de ensayo los datos relativos al muestreo.

- h) Manipulación de objetos de ensayo y calibración** No hay novedades con respecto a las normas ISO/IEC 25 y EN 45001. Se incide, eso sí, en la necesidad de que las personas responsables de obtener y transportar las muestras tengan un conocimiento adecuado sobre el procedimiento de muestreo, la manera de almacenar y transportar la muestra y los factores del muestreo que pueden influir en el resultado de ensayo o calibración.
- i) Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayos y calibraciones** El laboratorio debe disponer de sistemas de control, basados en un análisis estadístico, para comprobar la validez de los resultados de ensayos y calibraciones. Estos controles pueden incluir, entre otros, el uso habitual de materiales de referencia o la participación programada y periódica en ejercicios de inter comparación o en ensayos de aptitud.
- j) Informe de los resultados** En este apartado los requisitos están descritos de una forma mucho más detallada que en las normas precursoras. Sin embargo, se permite una mayor flexibilidad. Para clientes internos o cuando exista un acuerdo escrito con el cliente, los resultados pueden comunicarse de forma simplificada. Uno de los aspectos más controvertidos de la norma es el relativo a la inclusión en los informes de ensayo/calibración de “opiniones o interpretaciones” del laboratorio, las cuales deben estar perfectamente identificadas en el informe. En este sentido, cabe destacar que ENAC considera, por el momento, que esta actividad está fuera del alcance de acreditación.¹⁷

¹⁷ BOQUE, Ricard. MAROTO, Alicia. RIU F, Jordi. RIUS, Xavier. La nueva norma europea EN ISO/IEC 17025 [citado 13 de mayo de 2013] Disponible en <http://argo.urv.es/quimio/general/iso.pdf>