

**GENERACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN INFORMES
DE ANÁLISIS DE ACEITE, LUBRICANTE EN MOTORES CUMMINS ISX[®]**

JULIAN CAMILO MARTÍNEZ LÓPEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ. D. C.
2014**

**GENERACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN INFORMES
DE ANÁLISIS DE ACEITE, LUBRICANTE EN MOTORES CUMMINS ISX[®]**

JULIAN CAMILO MARTÍNEZ LÓPEZ

**Trabajo de grado en la modalidad de Solución a un Problema de Ingeniería
presentado como requisito para optar al título de INGENIERO MECÁNICO**

**Director:
Ing. OSCAR MONTEALEGRE**

**Co-director:
Ing. ADRIANA SIERRA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ. D. C.
2014**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, Octubre de 2014.

Principalmente dedico este trabajo a Dios por colocarme en un buen camino y quien me ha dado todo para forjar mi vida. A mis padres quienes con todo su cariño, sacrificio y ejemplo pudieron darme la fortaleza para cumplir uno de mis sueños: Ser profesional, y de motivarme a ser mejor persona. Y en ultimo a mi hermano quien me brindo su comprensión, apoyo y alegría en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Estoy agradecido con dos instituciones las cuales me aportaron demasiado a mi vida profesional, laboral y personal; llevando a feliz término este proyecto. La Universidad Santo Tomas, por llevar este proceso a la etapa de culminación. Y la Organización Equitel, por el apoyo brindado en todos los ámbitos: financiero, soporte, y recursos humanos.

Al Ingeniero Oscar Montealegre, director del proyecto (Organización Equitel) quien fue mi guía durante toda esta etapa de trabajo.

Al Ingeniero Carlos Forero, asesor del proyecto quien me brido su ayuda en todo momento.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN-----	13
INTRODUCCIÓN -----	16
1. ANTECEDENTES-----	17
2. JUSTIFICACION-----	22
3. OBJETIVOS -----	23
3.1 OBJETIVO GENERAL -----	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS-----	23
4. MARCO TEÓRICO-----	24
4.1 TRIBOLOGÍA -----	24
4.1.1 Definición. -----	24
4.1.2 Fricción. -----	24
4.1.2.1 Estados de fricción. -----	24
4.1.3 Desgaste.-----	25
4.1.3.1 Tipos de desgaste. -----	25
4.1.4 Lubricación. -----	28
4.1.4.1 Tipos de lubricación. -----	29
4.1.4.2 Propiedades de los lubricantes. -----	30
4.1.4.3 Características químicas en lubricantes. -----	31
4.1.4.4 Clasificación de los aceites lubricantes -----	32
4.1.4.5 Bases lubricantes. -----	33
4.1.4.6 Componentes de un aceite lubricante. -----	34
4.2 FILTRACION DE ACEITE -----	36
4.2.1 Tipos de filtros de aceite. -----	37
4.3 MANTENIMIENTO -----	37
4.3.1 Definición. -----	37
4.3.2 Tipos de mantenimiento. -----	37
4.3.3 Mantenimiento preventivo. -----	37

4.4 MOTOR CUMMINS ISX® CM570	39
4.4.1 Componentes del motor.	41
4.4.2 Sistema de lubricación del motor.	42
4.4.3 Fallas encontradas provenientes de contaminaciones en el aceite en el motor Cummins ISX®.	43
4.5 ACEITE LUBRICANTE USADO EN MOTORES CUMMINS ISX®	47
4.6 ANALISIS DE ACEITE	48
4.6.1 Toma de muestras.	49
4.6.1.1 Método del tapón de drenaje.	49
4.6.1.2 Método de la bomba de muestreo.	50
4.6.1.3 Método del grifo.	51
4.6.2 Parámetros de estudio e la degradación del aceite.	53
4.6.2.1 Viscosidad.	53
4.6.2.2 Total base number (TBN) y Total acid number (TAN).	55
4.6.2.3 Conteo de partículas.	55
4.6.2.4 Detergencia.	56
4.6.2.5 Oxidación y nitración.	59
4.6.3 Parámetros de estudio de contaminantes en el aceite.	59
4.6.3.1 Silicio.	59
4.6.3.2 Agua.	60
4.6.3.3 Dilución de combustible en el aceite.	62
4.6.3.4 Materia carbonosa.	62
4.6.3.5 Glicol.	63
4.6.3.6 Metales de desgaste.	64
4.6.4 Orígenes y límites de contaminantes en el aceite en motores Cummins ISX®	65
4.7 DESGASTES EN UN MOTOR DIESEL	68
4.7.1 Desgaste conjunto pistón-anillos-camisa.	68
4.7.1.1 Desgaste adhesivo.	68
4.7.1.2 Desgaste corrosivo.	69
4.7.1.3 Desgaste abrasivo.	69
4.7.2 Desgaste en cojinetes.	70
4.7.2.1 Desgaste adhesivo.	70

4.7.2.2 Desgaste corrosivo.	70
4.7.2.3 Desgaste abrasivo.	70
4.7.3 Desgaste en el conjunto leva – empujador del balancín.	70
4.7.4 Desgaste en el conjunto balancín – válvulas – asiento de válvulas.	71
5. METODOLOGIA DEL PROYECTO	73
5.1 INDAGACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL MOTOR, PROPIEDADES DEL ACEITE LUBRICANTE Y LA CRITICIDAD DE LOS VALORES DE CONTAMINACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE DENTRO DEL MOTOR CUMMINS ISX®.....	73
5.2 DOCUMENTACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PROVENIENTES DE LOS MOTORES HACIA EL ACEITE LUBRICANTE.	73
5.3 INTERPRETACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DADAS EN EL INFORME DE ANÁLISIS DE ACEITE Y REVISIÓN DE LOS LÍMITES CONDENATORIOS-	73
5.4 FILTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS	74
5.5 ESTUDIOS ESTADÍSTICOS DE LOS CASOS.....	74
5.6 ORGANIZACIÓN DE DATOS Y TOMA DE DECISIONES	74
6. REGISTRO DE LA INFORMACION.....	76
6.1 FILTRACIÓN DE DATOS	76
7. PROTOCOLOS	83
7.1 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – HOLLÍN (Anexo 1)	83
7.1.1 Sugerencias de uso del cazafallas.	83
7.1.2 Cazafallas por hollín en el aceite.	84
7.2 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – SILICIO (Anexo1)	97
7.2.1 Sugerencia de uso del cazafallas.	97
7.3 CAZAFALLAS POR ALTO CONTENIDO DE SILICIO EN EL ACEITE	97
7.4 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – COBRE (Anexo1)	103
7.4.1 Sugerencia por índices altos de cobre.....	103
7.4.2 Cazafallas por aumento en el nivel de cobre en el aceite.	103
7.5 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – ALTA VISCOSIDAD EN EL ACEITE (Anexo 1).....	109
7.5.1 Sugerencia de uso del cazafallas.	109
7.5.2 Cazafallas por alta viscosidad en el aceite.	109
7.6 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – BAJA VISCOSIDAD EN EL ACEITE (Anexo1).....	114

7.6.1 Sugerencia para el uso del cazafallas. -----	114
7.6.2 Cazafallas por baja viscosidad en el aceite. -----	114
8. CONCLUSIONES -----	118
9. RECOMENDACIONES -----	121
10. BIBLIOGRAFIA-----	122
ANEXOS -----	127

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Población de Motores Operativos Cummins ISX® en Colombia.	21
Tabla 2 .Causas característicos sobre la viscosidad en los aceites usados.	54
Tabla 3. Ejemplo de manchas analizadas en el fotómetro y parámetros obtenidos a partir de los criterios.....	58
Tabla 4. Tabla de contaminantes provenientes del desgaste de partes del motor diesel.	65
Tabla 5. Limites condenatorios de contaminantes para motores Cummins® de trabajo pesado.	66
Tabla 6. Origen de los contaminantes dentro del motor Cummins ISX®	67
Tabla 7. Ficha técnica del estudio probabilístico.....	76
Tabla 8. Filtración de datos de los resultados “Critico” en función de los casos.	79

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Desgaste adhesivo visto en casquetes de bielas de un motor diesel por contaminación del aceite.	26
Figura 2. Evidencia de erosión en la punta de los inyectores debido a la incorrecta pulverización del combustible.	27
Figura 3. Cavitación mostrada en una camisa de un motor diesel.	28
Figura 4. Esquema de programación de un mantenimiento CBM (mantenimiento basado en condición, según siglas en ingles).	39
Figura 5. Vista real del motor Cummins ISX®	40
Figura 6. Circuito de lubricación del bloque de cilindros del motor Cummins ISX®	43
Figura 7. Carbonamiento de la corona del pistón a causa del combustible no quemado.	43
Figura 8. Vista general (izquierda) de la bomba de engranes y vista en detalle de las ralladuras tenues por aceite contaminado con silicio (tierra).	44
Figura 9. Vista de los ductos y alabes de turbo afectado por sílice (tierra).	44
Figura 10. Daño a casquetes por aceite contaminado con sílice (tierra).	45
Figura 11. Evidencia de rompimiento de la capa de lubricación en los casquetes por dilución de combustible.	46
Figura 12. Cigüeñal afectado por destrucción de la capa límite de lubricación por contaminación del aceite.	46
Figura 13. Métodos y resultados estándar para la elección de lubricantes.	48
Figura 14. Método grafico del procedimiento de tapo de drenaje.	49
Figura 15. Método real del procedimiento de tapón de drenaje utilizado en un vehículo.	50
Figura 16. Método de toma de muestras aceite por medio de una bomba.	50
Figura 17. Método real del procedimiento de toma de muestras por medio de una bomba utilizado en un vehículo.	51
Figura 18. Método de toma de muestras aceite a través de un grifo.	51

Figura 19. Método real del procedimiento de tapón de drenaje utilizado en un transformador.....52

Figura 20. Estructura típica de la mancha de aceite.56

Figura 21. Efecto de la contaminación con agua sobre los aditivos.....61

Figura 22. Contenido de glicol en pruebas de macha de aceite.63

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Tendencia de las muestras por tipo de alarma con base en la cantidad de muestras analizadas.	77
Gráfica 2. Tendencia de los factores de contaminación a nivel nacional.	78
Gráfica 3. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Bogotá.	80
Gráfica 4. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Medellín.	80
Gráfica 5. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Ibagué.	81
Gráfica 6. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Villavicencio.	81
Gráfica 7. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Barranquilla.	82
Gráfica 8 .Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alto índice de hollín en el aceite.	84
Gráfica 9. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alto índice de silicio en el aceite.	97
Gráfica 10. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alto índice de cobre en el aceite.	103
Gráfica 11. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alta viscosidad.	109

LISTA DE DIAGRAMAS

Pág.

Diagrama 1. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por hollín.	85
Diagrama 2. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por hollín. (Continuación).....	86
Diagrama 3. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por silicio.	98
Diagrama 4. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por cobre.	104
Diagrama 5. Estructura de decisión para parámetro de alta viscosidad en el aceite.	110
Diagrama 6. Estructura de decisión para parámetro de baja viscosidad en el aceite.	115

RESUMEN

El presente proyecto busca proponer un protocolo de mantenimiento basado en los informes de análisis de aceite para los vehículos equipados con motores Cummins ISX[®], del cual se tomarán los datos necesarios para la estructuración de una matriz de decisiones que busca extender la vida útil del motor. Con esta propuesta se desea proveer una herramienta que complementa el análisis por escáner utilizado en el vehículo, para el control de desgaste dentro del motor y dar la oportunidad de intervenir la máquina antes de que ocurra un siniestro que impacte la operación del vehículo.

El proyecto va enfocado en el apoyo del área de mantenimiento preventivo, orientado a los vehículos de carga pesada que se encuentran en constante movimiento por las carreteras nacionales. Puesto que en estos vehículos, las prácticas de mantenimiento preventivo son escasas debido a su alta intensidad de horas en paradas, las intervenciones de carácter correctivo son muy frecuentes ello afecta la logística de carga. Es por esto que a través de este documento se dará a conocer la estructuración de una herramienta y procedimiento complementario de bajo costo, el cual ayudará a conservar la integridad del equipo mediante el análisis de los informes de los análisis de aceite para el beneficio del cliente, discriminando precedentes, herramientas, actividades y presupuesto basados en el análisis del aceite de motor.

Palabras claves:

- Análisis de aceite
- Motor diesel
- CBM (mantenimiento basado en condición, por sus siglas en ingles)
- Desgaste
- Disponibilidad.

INTRODUCCIÓN

Nada más sorprendente para quienes consideran con mirada económica los asuntos comerciales, que la facilidad con los que muchos son dependientes por los vehículos y la implícita sumisión con los que los operadores logísticos se resignan ante la disponibilidad de ellos. Si es ineludible la protección de los equipos ante las condiciones difíciles a las cuales son sometidos, es a través de la práctica del mantenimiento.

El mantenimiento comprende varios factores que cooperan para que la organización se centre en el logro de sus objetivos y que sea por ellos que busque la eficiencia y la operatividad de los equipos. Para llegar a estos objetivos es necesario optar por uno de los conjuntos de herramientas que fueron evolucionadas a través de los años, que en reiteradas ocasiones lo ha enfocado hacia la planeación, lo cual es un recurso principal para la ejecución de una estrategia. En este trabajo se pretende mostrar una de las estrategias eficaces que puede reducir tiempos usados en algunas prácticas, que pueden dar lugar a la planeación e intervención en menor y poco tiempo.

La estrategia a mostrar es mediante el análisis de resultados basados en la condición del aceite, un método utilizado en algunas industrias con tal de evitar factores no deseados, como lo pueden ser principalmente: costos adicionales de inventarios, afectación en la disponibilidad del equipo y costos por reparaciones correctivas; adicional a estos beneficios para el usuario del equipo, este mejora su rendimiento y su vida útil, lo cual hará más valioso para cualquier tarea que se ponga en marcha. Para llevar esto a cabo los datos son recopilados provenientes de un laboratorio de análisis de aceite de las cuales se realiza una completa interpretación de acuerdo a las condiciones presentadas, de allí se realiza un diagnóstico basado en la operación del equipo y finalmente presentando las condiciones para su intervención.

Este interés por llevar a cabo esta investigación e indagación fue radicada para dar a conocer las oportunidades de mejora que pueden dar lugar a la planeación, sin afectar las necesidades que requiera determinada operación, así mismo bajar los índices de contaminación producidos por un equipo que trabaje en condiciones irregulares y mejorar las condiciones de ejecución de trabajo, con tal de aprovechar la coyuntura logística que gracias a la globalización es necesario estar disponible a lo inevitable.

Cabe resaltar que este proyecto se enfoca en la clasificación de las variables que afectan al aceite en diferentes ubicaciones geográficas, con el fin de crear protocolos y sugerencias de diagnóstico e inspección del equipo, por el enfoque no se desarrolla un método financiero.

1. ANTECEDENTES

Ante la gran necesidad de llevar a los procesos realizados en la industria a un nivel cada vez más superior, las máquinas juegan un papel importante dentro del proceso de eficacia en su rendimiento, es por eso que a través de prácticas de mantenimiento se ha logrado minimizar el impacto operación que las paradas no programadas pueden generar. No obstante a la necesidad de evitar un impacto dentro de la operación al cuidado de las maquinas, la industria ha optado por el camino del mantenimiento oportuno o algunas veces llamado predictivo, lo cual ayuda a predecir las falla de un componente y consecuentemente ayude a que ese componente o parte se pueda remplazar antes de que falle. Algunas de los procedimientos formalmente utilizados en esta clase de mantenimiento son: Prueba de vibración, análisis termográfico, mediante de diagramas de decisión, pruebas de ultrasonido y análisis de aceite¹.

Este último donde el proyecto se enfocará, ha tenido una amplia aceptación a través de la historia dentro de la industria en general, ya que el aceite lubricante ha sido uno de las variables para identificar el comportamiento que tiene un motor durante su operación. Desde sus primeros análisis que fueron objeto de estudio en la detección de ácido por medio de olor agrio del mismo o colocar una gota de muestra de aceite en un papel, para la determinación de contaminantes contenidos y la eficacia de los aditivos².

En los años cuarenta la compañía ferrocarril de Estados Unidos (Denver and Rio Grande), empezaron a realizar los análisis de aceite con su ultimo instrumento, el espectrógrafo, inventado por Walter Baird, lo cual permitía análisis, medición y descubrimiento de sustancias consideradas como contaminantes (anteriormente eran consideradas metales); estos fueron utilizados en el momento de la evolución de los trenes de vapor a los trenes que funcionaban con Diesel³.

Fue tanto el éxito de esta compañía que la armada de ese mismo país empezó a implementar este sistema de análisis en sus aviones de reacción en los años cincuenta, con tal del estudio de los metales de desgaste en función de la predicción de las fallas de los componentes mecánicos. A este tipo de estudio le

¹ TRUJILLO, Roberto. "Fortalezas y debilidades del programa de análisis de aceite". Revista: 'Con mantenimiento productivo'. Artículo febrero – marzo. 2012. Citado el 18 de agosto 2014. Disponible en: <http://www.conmantenimiento.com.mx/component/content/article/1-ultimas/92-articulo-febrero-marzo-2012>.

² SMITH, Mark. "Fundamentos del análisis del aceite". Información en texto publicado por Rubilar, Cristian. Citado el 18 de agosto 2014. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/44726140/FUNDAMENTOS-DEL-ANALISIS-DE-ACEITE>>.

³ ANAC DIAGNOSIS. "Sobre el análisis de aceite". Lyon, Francia. Disponible en <http://www.anac-diagnosis.com/Lub/lubanac.nsf/VS_OPM/B8E4399E180C8095C12571D10032B11F?OpenDocument>.

fue llamado JOAP⁴ (“Joint Oil Analysis Program”, *Programa de análisis de aceite conjunta*, en español); las investigaciones llevadas a cabo por este programa fueron objeto de cambios en conjunto con el desarrollo de la tecnología usada para este campo y fueron implementados principalmente en los diversos equipos de transporte de la fuerza aérea, la marina y el ejército de los Estados Unidos. Actualmente este programa es desarrollado dentro de los Estados Unidos y en países ocupados por ellos con tal de mantener sus equipos operativos, evitando así problemas en el campo donde estos equipos son utilizados⁵.

Esta contribución fue de tal manera que en Europa a través de la compañía de trenes Belga (SNCB) y constructora de aviones francesa (SNECMA).⁴ En los años setenta la definición de análisis de aceite involucraba el desgaste producido por metales, viscosidad, contaminación y prueba de degradación del aceite lubricante y permitía un análisis de partículas pequeñas (> 5 micrómetros de grande), en los años 80 la práctica admitía el avance y estos a su vez involucraban las prácticas como la ferrografía analítica, esta práctica reconocía una inspección exhaustiva que incluye al menos la metalurgia básica⁶.

Una muestra de las practicas realizadas se puede obtener en diferentes aplicaciones además de la automotriz, como se mencionó a principios de esta sección, el análisis de aceite fue usado en el análisis de motores instalados en locomotoras y aviones, este último fue realizado con base en la vida útil de una flota de aviones donde se tomaba la correlación de las variables mostradas en un análisis de aceite, para la estandarización de un modelo predictivo en base de la proporcionalidad residual, la cual relaciona la vida útil con el desgaste⁷. Recientemente se hizo una investigación sobre el desgaste producido en un motor de aplicación automotriz, colocando a prueba el método de interpretación del análisis de aceite, el diagnostico dio a conocer las fallas encontradas y la descripción del origen de las mismas, todo esto con tal de mostrar la certeza que tiene el análisis del aceite en la reparación de las fallas antes de que hubiesen ocurrido⁸.

⁴ AIR FORCE E-PUBLISHING, UNCLASSIFIED FILE. (2014). “*Joint Oil Analysis Program: Summary of Change*”. Disponible en: http://www.apd.army.mil/jw2/xmldemo/r700_132/main.asp.

⁵ U.S ARMY. (2014). “Army’s Oil Analysis Program Saves money, Protect Persona”. Machinery Lubrication Magazine. Disponible en: <http://www.machinerylubrication.com/Read/2468/oil-analysis-program-saves-money>.

⁶ POLEY, J. & MURPHY, M. (2014). “The History of Oil Analysis”. Revista Machinery Lubrication”. Disponible en: <http://www.machinerylubrication.com/Read/1113/history-of-oil-analysis>.

⁷ WANG, L. H. & XU, S. (2012), Explore of the Cause of the Damage of Crosshead Guide of 5S50MC-C Diesel Engine. Advance Materials research. Volúmenes 616 – 618. Abstract disponible en: <http://www.scientific.net/AMR.616-618.569>.

⁸ WANG, W. and ZHANG, W. (2005), A model to predict the residual life of aircraft engines based upon oil analysis data. Naval Research Logistics. Pp. 52: 276–284.

A medida del crecimiento de la industria manufacturera de vehículos de gran capacidad de carga, la industria de fabricación del aceite lubricante se ha visto en la tarea de aumentar sus capacidades de vida útil en sus productos con tal de satisfacer las necesidades operacionales del equipo, es por esto que los análisis de aceite han servido para mejorar las características del aceite así como la operación y el diseño de los componentes mecánicos del motor. Pues este fluido se podría entender como un análogo al funcionamiento del sistema circulatorio de un ser vivo, analogía que permite una amplia información de la cual se pueden obtener datos importantes de funcionamiento y de corrección. Estos procedimientos de toma de muestras y análisis se han hecho principalmente en los distribuidores de aceite y distribuidores de marcas de motores usadas en el mundo, lo cual deja al descubierto la necesidad de dejar esto en secreto, sin embargo esta información está en parte estandarizada y llevada a cabo por algunos talleres autorizados en algunas zonas del mundo, lo cual se ha dejado en observación a través de patentes realizadas a los sistemas de lubricación⁹.

Actualmente los análisis de aceite ha sido ampliamente usados en compañías aéreas (Lufthansa¹⁰, Aeroméxico¹¹, entre otras.), fabricantes de equipos de construcción (Caterpillar¹², Volvo Construction Equipment¹³, entre otras.), fabricantes de motores (Detroit, Cummins, Renault, Volkswagen, BWM, Ferrari, entre otras.)¹⁴; trabajan en asociación con laboratorios o con fabricantes de aceites con tal de proveer información relacionada con el desempeño de los equipos que ayude en el desarrollo de nuevos diseños de equipos o soluciones a un problema que puedan determinar la seguridad para sus usuarios. Estos estudios son desarrollados bajo lineamientos internos de cada fabricante o compañía de manera más exhaustiva, con equipos especializados y personas calificados para ello.

En Colombia este procedimiento no está estandarizado para ninguna flota de vehículos, pues los costos al acceso a esta rama del mantenimiento emergente son demasiado altos y no son tenidos en cuenta como ayuda en la prevención temprana de las fallas que pueden ocurrir. Es por esto que algunas empresas que realizan este tipo de análisis, solo dejan en evidencia información básica y

⁹ CUMMINS ENGINE COMPANY, INC. (1982). Diagnosis of engine lubricant system. Inventores: David L. Reid, Dennis O. Taylor. Número de publicación: US4311041 A.

¹⁰ LUFTHANSA. LABORATORY SERVICES. "Aircraft fluid monitoring". Disponible: <http://www.lufthansa-technik.com/documents/100446/101443/Data+sheet+Aircraft+Fluid.pdf>.

¹¹ AERO MÉXICO. Servicio de Mantenimiento. Disponible en: <http://aeromexicom.com/co/conocenos/acerca-de-aeromexico/mantenimiento/mantenimiento.html>.

¹² CATERPILLAR SOS SERVICE. "Ask to the expert". Disponible en: <http://www.cat.com/enUS/support/maintenance/sos-services/videos.html>.

¹³ VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT. Analyse for better planning. Disponible en: <http://www.volvoce.com/dealers/en-gb/vcegb/partsservice/lubricants/Pages/oilanalysis.aspx>

¹⁴ SIMS, Jerry. (2010). Land line magazine. "'Using Oil analysis as a predictive tool to get longer life out of your engine". Disponible en: <http://www.landlinemag.com/Magazine/2010/May/BottomLine/Oil-analysis.aspx>.

recomendaciones generales que en gran medida no son tomados por la simpleza de su contenido y complejidad en su lenguaje

A manera local la Organización Equitel mediante las empresas Cummins de los Andes y GAF International con su programa 'La flota', no tuvieron la oportunidad de sacar provecho de la importancia del análisis de aceite, por lo cual su meta de optimización de recursos y procesos no era la adecuada; lo cual llevo a plantear nuevas alternativas de evitar daños al equipo a través de un cazafallas piloto de contaminación del aceite causado por silicio (contenido por tierra y/o polvo atmosférico), lo termino en la extensión de la vida útil de una gran parte de vehículos adscritos al programa. Lo que creo un punto de partida en la formulación de este proyecto.

Este control de contaminantes se lleva a cabo mediante los resultados de análisis de aceite, que son determinados por laboratorios certificados, usando las siguientes normas y características:

- Mediante la norma ISO 4406, se hace la prueba de contaminación del aceite por conteo de partículas sólidas de tamaños mayores o iguales a 6, 6 y 14 micrómetros de altura¹⁵.
- Bajo las especificaciones de la norma ASTM D4951 y un espectrofotómetro de plasma ICP de última tecnología, el laboratorio determina la concentración de elementos de desgaste, contaminante y aditivos en partes por millón (ppm) para 15 sustancias de las cuales se encuentran: Cobre (Cu), Plomo (Pb), Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Estaño (Sn), Potasio (K), Molibdeno (Mo), Sodio (Na), Fosforo (P), Silicio (Si), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Zinc (Zn)¹⁶.
- Adicionalmente el laboratorio por medio del equipo FT-IR Oil Express de Perkin Elmer, se determinan los niveles de nitración, oxidación, hollín y productos de azufre, bajo regulación de la norma ASTM E2412¹⁷.
- De igual manera el laboratorio con su equipo es capaz de entregar la información de los índices de TBN, TAN y pH, todo esto para dar a conocer el índice de alcalinidad y/o acidez presente en el aceite, con el cual se da a conocer el

¹⁵ ALBARRACIN, Pedro. "Análisis de laboratorio a aceites industriales y automotrices SAAU". Tribos - ingeniería (portafolio de negocios). Agosto. 2014. Disponible en: www.pedroalbarracinaguillon.com/inicio/imagenes/files/servicios/ANALISIS-DE-ACEITES.PDF.

¹⁶ ORGANIZACIÓN EQUITEL S. A. Información restringida. 2014.

¹⁷ Ibíd.

deterioro del aceite. Esto se hace mediante lineamientos de la norma ASTM D664¹⁸.

Para llegar al objetivo propuesto del programa, la comunidad que será objeto de estudio se encuentra basada en el parque automotor de carga pesada, que a su vez se compone por motores a combustión tipo diesel, y que en su gran extensión tienen la mayor participación en motores Cummins ISX[®]. De acuerdo a esto, es imprescindible el estudio de esta población, el cual está discriminado por la tabla mostrada a continuación:

Tabla 1. Población de Motores Operativos Cummins ISX[®] en Colombia.

FAMILIA MOTOR	Cuenta de FAMILIA MOTOR
ISX	13295
ISX1-400 ST2	400
ISX1-450	90
ISX1-400	88
ISX2-500	18
ISX1-450 ST2	3
CUMMINS ISX 435 ST2	1
CUMMINS ISX-435ST2	5
CUMMINS ISX 400ST2	1
Total general	13901

Fuente: Informe técnico de poblaciones de motores, año 2013¹⁹

¹⁸ Ibíd.

¹⁹ Ibíd.

2. JUSTIFICACION

Este proyecto tiene como finalidad evitar la gran mayoría de las paradas no programadas de los vehículos de carga pesada e incentivar a los clientes, dando a conocer el beneficio de los planes de acción para la optimización del equipo. Ya que de por medio de este proyecto se pretende afianzar la promesa comercial que se tiene entre la empresa y el cliente a nivel de soporte técnico.

De acuerdo a la exigente demanda comercial de transporte logístico, los vehículos necesariamente se encuentran en constante movimiento y consecuentemente son escasas las paradas utilizadas para la práctica de mantenimiento. Es por esto que a través de los análisis de aceite se puede realizar un seguimiento al motor, sin detener su operación y de esta manera dar a conocer el estado del mismo, de acuerdo a las técnicas de operación del usuario y como afecta su rendimiento. Lo que busca este monitoreo es detectar las fallas relacionadas con el desgaste de los componentes mecánicos y también evitar posibles fallas generadas por la degradación del aceite, es por esto que al analizar y clasificar los datos y utilizar un plan de acción, con el fin de reparar la falla antes de que esta evolucione a un estado catastrófico, afecte el desempeño del motor y genere una parada no programada.

La empresa por medio de los recursos profesional y material buscará desarrollar este proyecto, con la finalidad de alargar la vida útil de los vehículos y de esta forma crear confianza a través del entendimiento Gana-Gana (filosofía de la compañía), la cual se preocupa por el cliente del cliente. De igual manera se busca la implementación de esta práctica en los equipos de otros clientes interesados, puesto que este sistema novedoso en el territorio nacional buscará satisfacer las necesidades que el pretende obtener de la durabilidad del motor para su trabajo diario y para el distribuidor autorizado, ya que actualmente no tiene los respectivos protocolos de diagnóstico y no le permiten el conocimiento a fondo de las fallas presentadas por contaminantes por omisión del fabricante al hacerlo público.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y documentar un protocolo que contenga acciones de mantenimiento, basado en la interpretación de análisis de aceite para motores Cummins ISX[®].

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Consolidar la información referente a las características del motor y los valores de referencia en los aceites lubricantes.
- Categorizar las fuentes potenciales de contaminantes en el aceite en función de los resultados de los análisis de aceite.
- Generar los protocolos y procedimientos de diagnóstico y búsqueda de fallas en el motor a partir de resultados dados en el análisis de aceites.
- Sugerir de acuerdo a la información disponible un programa de paradas de mantenimiento en función de datos de referencia de los aceites.

4. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento ha surgido como alternativa para el cuidado y la buena operación de las máquinas mecánicas, donde el uso constante para un trabajo específico hace necesario la implementación de una estrategia, la cual mantenga los parámetros de operación y nivel de disponibilidad activo. En la búsqueda de establecerse en dicho objetivo se crea una serie de prácticas, las cuales brindan el apoyo necesario para satisfacer la demanda de disponibilidad de una máquina, en este caso del motor de un vehículo. El motor, al ser un máquina mecánica propensa al desgaste por operación, se ha visto en la exigencia de tener establecido un límite para la intervención y la corrección de algunas piezas con signos de desgaste, por esta razón es que el desgaste será el punto para el enfoque de todos los actores que entran a intervenir, y el objetivo de este punto es contextualizar al lector sobre la información fundamental para la comprensión de este proyecto.

4.1 TRIBOLOGÍA

4.1.1 Definición. La tribología es la ciencia que involucra los conceptos de lubricación, fricción y desgaste observados en la interacción entre cuerpos en procesos dinámicos o estáticos, donde es encontrado un sistema tribológico, el cual se ha estudiado de acuerdo a las condiciones de operación. Este sistema esta compuesto por mínimo dos cuerpos naturales o artificiales que se encuentran en contacto móvil, lo cual genera un fenómeno llamado fricción. Las variables que son tenidas en cuenta son: objeto base, cuerpo opuesto, carga, factores externos (temperatura, humedad, presión y humedad relativa), lubricante (Agua, aceite, grasa, partículas contaminantes, etc.), la carga y la dirección del movimiento²⁰.

4.1.2 Fricción. La fricción en un sistema tribológico, se refiere a la fuerza opuesta al movimiento relativo entre dos cuerpos, estas pueden clasificarse de acuerdo a su composición de los actores que actúan en dicha fuerza, los cuales son definidos por estados, los cuales son:

4.1.2.1 Estados de fricción²¹.

- **Fricción metal-metal:** Es la consecuencia de rompimiento de capa límite o agotamiento de aditivos de anti - desgaste del lubricante. Este tipo de fricción es inevitable ya que sus condiciones son impredecibles.

²⁰ MASTERKUSH. "Sistema Tribológico". 2014. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistema-Tribológico/4288546.html>.

²¹ TORRES, Erick. "Tribología y lubricación". Información en texto. 2014. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/13318734/TRIBOLOGIA-Y-LUBRICACION>.

- **Fricción pura:** Este es el estado donde el sistema tribológico está constituido por dos cuerpos (objeto base y cuerpo opuesto) que están en contacto libre de cualquier partícula contaminante. Estos son encontrados en laboratorios para experimentación, sus coeficientes de fricción se relacionan entre 0.8 a 10 y más.

Fricción sólida: Constituido por el sistema tribológico de tres cuerpos (objeto base, cuerpo opuesto y lubricante), donde el lubricante esta adherido por medio de capas al objeto base (aditivo anti - desgaste, capas de óxido, suciedad, vapores, etc.) y se caracteriza por sus coeficientes de fricción que van desde 0.2 hasta 0.8.

- **Fricción fluida:** Caracterizado por el reemplazo del lubricante sólido por uno líquido, manteniendo así el sistema tribológico de tres objetos.

- **Fricción hidrodinámica:** Comprende las características de la fricción fluida a ciertas condiciones de carga y velocidad, por lo que la característica de viscosidad del fluido juega un papel importante para mantener el margen de coeficiente de fricción (valores entre 0.001 a 0.002, valores sujetos a la clase de lubricante)

- **Fricción hidrostática:** Mantiene las características de la fricción fluida a condiciones de cargas elevadas y velocidades bajas, donde se debe mantener la película de lubricante a través de inyección antes y durante del movimiento.

- **Fricción gaseosa:** Mantiene la estructura del sistema tribológico con la novedad de que su fluido lubricante está constituido por una sustancia gaseosa, sus dos fricciones están de acuerdo a la administración del fluido (comúnmente se utiliza aire), una es la fricción aerodinámica donde la sustancia gaseosa se forma por el movimiento del objeto base y el cuerpo opuesto, y la otra es conocida por fricción aerostática donde la presión de la sustancia gaseosa es suministrado desde el exterior.

- **Fricción mixta:** Esta clase es utilizada en situaciones altas cargas y bajas velocidades en varios puntos de fricción, por lo que se deben optar con lubricaciones sólidas y líquidas. Se debe mantener el coeficiente de fricción entre 0.05 y 0.2, lo cual se debe garantizar la calidad de las propiedades del material base y del cuerpo opuesto

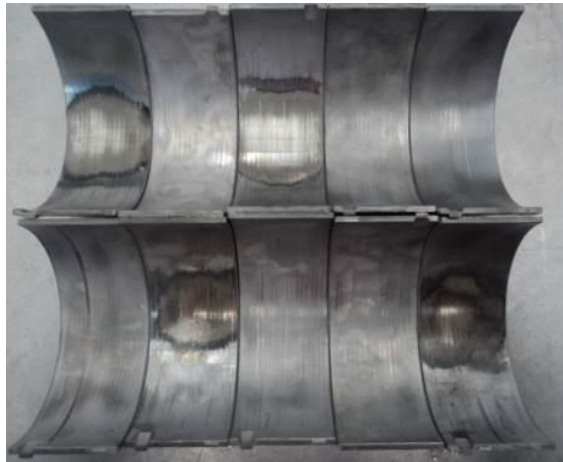
4.1.3 Desgaste. Una de las consecuencias dadas por el fenómeno de la fricción en un sistema tribológico es el desgaste, este fenómeno es caracterizado como la pérdida progresiva de material de la superficie del material ubicado en la superficie de la zona de contacto entre dos superficies (rugosidades) sometidas a cargas y a movimiento.

4.1.3.1 Tipos de desgaste. Estos tipos no son discriminados de una única causa raíz de falla, ya que hay variables encontradas tanto internas como externas que pueden llevar al desgaste, tales como la operación del motor, mal selección de

lubricante, contaminación (causa interna o externa), fallas en el sistema de lubricación, entre otras. Es por esto que a continuación se presentara el tipo de desgaste que se ha encontrado en un motor automotriz²²:

- **Adhesivo:** Este es dado, cuando la película de lubricante se hace delgada debido a factores previstos de contaminación (agua, gases, combustible, etc.), cambios en el nivel de viscosidad, cambios bruscos del nivel de lubricante o por presión no regulada del aceite; lo cual contribuyen a incrementos de temperatura entre los metales de contacto (o algunas veces por la fricción causada por la alta viscosidad de lubricante), haciendo que las piezas de metal se dilaten y se froten cada con vez más proximidad, rompiendo de esta manera la película limite. Esta al romperse genera que las piezas de metal se suelden (micro-soldadura) entre si y por el movimiento se desprendan y originen pequeñas crestas en alguno de los materiales involucrados. La consecuencia de estas pequeñas crestas coincide en actuar como cuña al remover material de su origen, conduciendo a un mal funcionamiento del mecanismo y por consiguiente que la máquina se detenga.

Figura 1. Desgaste adhesivo visto en casquetes de bielas de un motor diesel por contaminación del aceite.



- **Erosivo:** Esta clase de desgaste está determinado como detrimento lento de las piezas, debido a que esta se presenta cuando el lubricante se encuentra

²² HIGGINS, Lindley. Maintenance engineering handbook. Sexta Edición. New York, Editorial McGraw-Hill. 2002. 1297 p.

contaminado con partículas extrañas y durante el recorrido de lubricación, estas impactan sobre alguna de las partes del sistema Tribológico, causando fatiga sobre las rugosidades y por consecuente, desprendimiento de material. Este fenómeno es logrado por la alta presión del lubricante y la distribución no uniforme del mismo.

Figura 2. Evidencia de erosión en la punta de los inyectores debido a la incorrecta pulverización del combustible.



- **Corrosivo:** Este tipo de desgaste es debido a la degradación irregular del lubricante o a la exposición del lubricante ante un agente contaminante (combustible, agua, exterior, entre otros), lo cual contribuye a la alteración de los números TBN (número total básico, por sus siglas en ingles) y los TAN (número total ácido, por sus siglas en ingles). Es por esto que se recomienda al operario cambiar el lubricante dentro de los periodos establecidos por el fabricante. En los motores diesel el desgaste corrosivo es muy común, debido a las cantidades de azufre que son reaccionadas con el agua de la combustión y forma ácido sulfúrico, lo cual atacan las camisas, los anillos, y los cojinetes del cigüeñal principalmente. De acuerdo con la norma ASTM D664, 4.5 debe ser el numero pH que debe tener el TBN para evitar la corrosión en los motores diesel.

- **Abrasivo:** Este tipo de desgaste es debido a la contaminación del aceite lubricante con partículas iguales o mayores al espesor de la capa límite del lubricante, esta clase de desgaste es dado a conocer por la dureza elevada de sus contaminantes, un ejemplo es el silicio encontrado en la arena. Estos agentes contaminantes lo que hacen es rodar por dentro de la capa limite, interfiriendo con la función de la mencionada capa y removiendo material de ambas superficies; cuando las partículas son grandes, estas se fracturan para entrar en la capa limite y trabajan de igual forma que el desgaste erosivo, otras que son fracturadas quedan alojadas dentro de las rugosidades y actúan como herramienta de corte ocasionando graves daños en las superficies. Esta contaminación puede ser

evitada siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 4406 para filtros de aceite.

- **Cavitación:** Este fenómeno es dado a causa de burbujas presentes en el vapor de agua que se observan en el lubricante, estas burbujas son ubicadas donde la presión del lubricante se hace mayor, donde se origina la falla puesto que estas explotan cerca de las partes de metal, lo cual genera picaduras en la parte metálica y conllevando así a su desgaste prematuro.

Figura 3. Cavitación mostrada en una camisa de un motor diesel.



- **Corrientes eléctricas:** Esta clase de desgaste son dadas por corrientes parasitarias encontradas en rodamientos de motores eléctricos y cojinetes lisos, los cuales son transmitidos por los elementos de un componente lubricado y no son neutralizados por una conexión a tierra, causante de picadura a los factores metálicos.

- **Fatiga superficial:** Este desgaste es declarado informalmente como el “normal” debido a sus esfuerzos cíclicos de las piezas en un trabajo determinado, por lo que hace que las rugosidades de la pieza se deformen plásticamente causando su ruptura, dando lugar al “ojo” de la ruptura, luego este se convierte en grieta y termina por la fractura del mismo.

4.1.4 Lubricación. Otro factor de suma importancia dentro del sistema tribológico, es la lubricación, dada por las características realizadas por una sustancia, con el objetivo de evitar el rozamiento de dos cuerpos en un sistema y evitar así su fricción y posiblemente su desgaste. Para motores Diesel, se utilizan aceites lubricantes líquidos que además de evitar el rozamiento entre superficies de diferentes materiales, estos contribuyen en el desempeño que se encuentran los

componentes mecánicos durante el tiempo prolongado de funcionamiento, por los cuales se pueden destacar alguna de sus características, como son²³:

- **Minimización del ruido:** Los componentes al estar lubricados permiten que estos interaccionen mecánicamente, sin ocasionar alguna fricción causante de ruidos anormales y gasto de energía.

- **Refrigeración:** El lubricante contribuye en la disipación del calor, consecuencia de pequeños rozamientos, algunas consecuencias de combustión u otros agentes que liberen energía. Estos contribuyen a la remoción de 10 a 25% en la remoción de calor de un componente mecánico.

- **Eliminación de impurezas:** Debido a su constante fluidez dentro de un equipo, el lubricante es capaz de recoger y transportar aquellas impurezas que son encontradas, ya sea por el proceso de funcionamiento o por exposición a algunos contaminantes corrosivos o por desgaste de algunas piezas mecánicas; hasta un dispositivo que funcione como filtrante dentro del sistema de lubricación y limpie el lubricante.

- **Anticorrosivo y anti - desgaste:** Por medio del paquete de aditivos se puede controlar algunas consecuencias de la degradación normal del aceite y a su vez algunos ocasionados por contaminaciones externas del equipo.

- **Sellante:** Actúa como sello de combustión, llenando las superficies irregulares de algunos componentes que están involucrados con el proceso de combustión, tales como camisas, pistones, válvulas, y otros más.

4.1.4.1 Tipos de lubricación. Las propiedades de un lubricante son definidas como el parámetro de fabricación del mismo, con tal de cumplir normas y establecer el uso dentro de un sistema tribológico, algunas de ellas son²⁴:

- **Lubricación limítrofe:** Esta es dada a bajas velocidades, donde la película es muy delgada y llega a cubrir parcialmente las piezas, lo cual permite un contacto entre las piezas ocasionando fricción entre ellas, desde la viscosidad del lubricante hasta la calidad de las superficies de contacto. Esta clase de lubricación está relacionada al motor prendido y es sometido a esfuerzos en frío, esta situación es mantenida por un periodo breve, ya que este es ayudado por la bomba de aceite.

- **Lubricación hidrodinámica:** Este tipo de lubricación ocurre cuando la lubricación limítrofe desaparece, debido al apoyo de la bomba de aceite y llega a

²³ FIDENA. Apuntes sobre lubricación. 2014. Disponible en: http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf.

²⁴ Ibíd.

cubrir la totalidad de las piezas mecánicas, por lo que el desgaste es minimizado. No obstante esta situación está acogida a la viscosidad del aceite, ya que esta es considerada como objeto de desgaste intencional.

- **Lubricación mezclada:** Puede interpretarse como el evento de encuentro entre lubricación limítrofe e hidrodinámica bajo condiciones adversas, las cuales van asociadas a la velocidad y esfuerzo de la pieza mecánica, haciendo que el aceite se “queme” rápidamente perdiendo así sus aditivos.

- **Lubricación elasto – hidrodinámica:** Esta ocurre cuando la carga sobre las superficies se eleva y produzca una elevación de la viscosidad del aceite, generando que las piezas se deformen y mantengan el aceite en la zona de contacto evitando así que la fuerza del fluido mantenga las piezas separadas.

4.1.4.2 Propiedades de los lubricantes²⁵.

- **Densidad y gravedad:** La densidad y la gravedad específica son usadas para relacionar el grado de refinación del crudo con el origen del mismo. No hay diferencia entre densidad y gravedad específica para llegar a su fin específico, solo está determinado por el uso en diferentes locaciones geográficas.

- **Punto de fluidez:** Se conoce como la temperatura mínima a la cual un fluido fluye cuando se enfría. Cuando se enfría hace que su densidad disminuya y se vuelva más resistente a su movimiento.

- **Punto de inflamación:** Es la temperatura mínima de la cual el lubricante desprende vapores, que al ser puestos cerca de una llama puede encenderse instantáneamente.

- **Viscosidad:** Es conocida como la fluidez de un líquido a ciertas temperaturas, para los lubricantes, es una de las características más notables que tiene, debido a la necesidad de encontrar un nivel óptimo para que este pueda estar en constante contacto dentro de piezas mecánicas. Su unidades de medición se encuentran relacionadas entre Saybolt (SUS), centistokes (cST, viscosidad cinemática) y Poise (cP, viscosidad dinámica, utilizada para el diseño de cojinetes).

- **Bombeabilidad:** Es la capacidad que tiene un lubricante al dejarse bombear a diferentes temperaturas, especialmente en bajas temperaturas, lo cual lo hace dependiente de la viscosidad.

²⁵ Líquido que deja en suspensión pequeñas partículas insolubles en agua.

- **Lubricidad y adhesión:** La lubricidad es conocida como la capacidad de un lubricante de formar una película de cierto espesor sobre una superficie, cabe notar que esta propiedad está relacionada directamente con la viscosidad (mayor lubricidad mayor viscosidad). No obstante esta está involucrada con la adhesión, ya que esta necesariamente debe estar adherida a la superficie.

- **Rigidez dieléctrica:** Es la capacidad aislante del aceite, también determina la presencia de agentes contaminantes (lodos, impurezas agua, polvo, etc.), ya que estos agentes permiten el paso de la corriente a través del aceite. Esta propiedad varía de acuerdo a la temperatura del aceite, entre mayor temperatura este el aceite, mayor será la rigidez dieléctrica.

- **Emulsibilidad y demulsibilidad:** La emulsibilidad es considerada como la capacidad de un lubricante de evitar convertirse en una emulsión²⁶ (agua - aceite). El agua es el principal determinante de esta propiedad, ya que este agente permite que los aditivos se disuelvan y así pierdan sus características en ambientes estables, es por eso que cuando se evidencia contaminación con agua, se desea que esta se encuentre interactuando con el lubricante para ser separada del aceite, a esto se le conoce como la demulsibilidad (evitar la emulsión), de esta manera el aceite protege las piezas mecánicas de la corrosión, oxidación y el desgaste.

- **Punto de enturbiamiento:** Se define como la temperatura necesaria para que las parafinas y otras sustancias del aceite se separen formando cristales, lo cual generan un aspecto turbio. Esta característica es dada por el tiempo de parada de la máquina, ya que después de parada puede generar estas características, de igual manera los contaminantes contribuyen a este fenómeno que puede traer a consecuencia el taponamiento de filtros, pequeños conductos y problemas de bombeabilidad del aceite.

4.1.4.3 Características químicas en lubricantes²⁷. Las características son una serie de parámetros adquiridos durante el proceso de fabricación del lubricante, donde son adicionados una serie de sustancias (aditivos), con tal de mejorar o modificar alguna de sus características y llegar al objetivo de cumplimiento y calidad para cada operación específica. A continuación se muestra algunas de las características encontradas en los lubricantes.

- **Acidez:** La acidez encontrada dentro de un lubricante está dada por la degradación del aceite, como consecuencia a la operación en altas temperaturas y diferentes clases de esfuerzos. Este índice de acidez está catalogado como el involucramiento entre un no-metal e hidrogeno y es consecuente al proceso de

²⁶ Ibíd.

²⁷ CÁMARA ARGENTINA DE LUBRICANTES. Clasificación de los lubricantes. Buenos Aires. Argentina. 2014. Disponible en: www.cal.org.ar/clasificación.pdf.

oxidación del lubricante, y puede apreciarse como consecuencia: en la formación de lodos y/o sedimentos, evidencias de corrosión, disminución de la viscosidad y formación depósitos de carbón en las piezas mecánicas.

- **Basicidad:** Así como en la acidez la basicidad está dado por la degradación del aceite, pero este es en sentido opuesto, es decir la función que tiene esta caracterizada en contrarrestar los efectos de la acidez dentro del lubricante. Cuando el aceite es nuevo, tiene un índice de basicidad demasiado alto y a través del uso este va decreciendo por aumento de la acidez del aceite lubricante, sobrecalentamiento o alto contenido de azufre en el combustible; de acuerdo a esta característica se tiene conocimiento acerca de la vida útil del lubricante.

- **El número de neutralización:** Se conoce como la cantidad necesaria para llevar un índice básico o ácido al índice neutro en una muestra de lubricante, esta expresado comúnmente en dos formas:

a. Número de ácido total (TAN, por sus siglas en inglés): Es la cantidad en miligramos (mg) de hidróxido potásico (KOH) para neutralizar los componentes ácidos de una muestra de 1 gramo de aceite.

b. Número de base total (TBN, por sus siglas en inglés): Es la cantidad en miligramos (mg) de ácido clorhídrico (HCL) para neutralizar los alcalinos de una muestra de 1 gramo de aceite.

4.1.4.4 Clasificación de los aceites lubricantes²⁸

- **Según clasificación A.P.I. (América Petroleum Institute).** Es una organización que representa a los creadores de productos de petróleo en Estados Unidos, la cual ha desarrollado un sistema para la clasificación de aceites lubricantes, de acuerdo a cada condición de servicio. Para los motores trabajados a partir de gasolina, se designó la letra "S" para identificar los lubricantes para este tipo de motor, y la letra "C" para los lubricantes usados en motores de combustible diesel. En los motores diesel, la clasificación se ha dado por fechas desde los años 1940 y corresponde a las modificaciones que se le han hecho a los lubricantes desde esa fecha, las últimas versiones corresponden: a la CI-4-"Plus" (2004), que corresponde al mejoramiento del aceite contra agentes que provocan la oxidación, la herrumbre y el desgaste, adicionalmente este contribuye a la estabilidad de la

²⁸ Clasificación de los aceites lubricantes y normas de calidad en los aceites. 17 de agosto de 2014]. Disponible en: http://www.lubricantes.elf.com/Es/eself.nsf/VIS_OPM/DD87477D4C7_F7F1BC1256EE500477843?OpenDocument.

viscosidad y el control de la formación de hollín. Otra es CJ-4 (2006)²⁹, la cual se hizo necesaria para el cumplimiento de las emisiones de gases requeridos por la EPA en ese entonces, ya que este debía usarse con combustibles con un porcentaje menor de azufre (500 p.p.m.) y con motores con sistema de post-tratamiento, esto fue mejorado gracias a las propuestas de los fabricantes de motores: Volvo®, Caterpillar®, Cummins® y Mack®.

- **Según clasificación S.A.E. (Society of Automotive Engineers).** Esta organización clasifica por medio de la norma SAE J 300, una manera más sencilla y clara, usando la medida de la viscosidad en centistokes (cSt) a 100°C para altas temperaturas y a bajas temperaturas (por debajo de 0°C), adicionando la letra “W” para diferir en la medida en temperaturas altas. Cabe mencionar que esta clasificación está exenta de consideración por aditivos, calidad o composiciones químicas. Un ejemplo de esta clasificación es: 15W40 (lubricante usado en motores diesel), el 15W corresponde al grado de viscosidad (15 cSt) usado en temperaturas bajas y el numero 40 corresponde a la graduación en temperaturas ambientes cálidos.

- **Según clasificación A.C.E.A. (European Automobile Manufacturers Association)**³⁰. La organización clasifica los aceites lubricantes a medida del cumplimiento de las normas EURO para emisiones de gases de escape, actualmente se encuentran dos tipos de aceites discriminados entre camiones livianos y vehículos pesados para aceite en motores diesel. Para camiones livianos se utiliza el aceite de clase B5, los cuales están diseñados para equipos ligeros o de mantenimiento extendido donde su viscosidad es bastante estable (entre 2.9 y 3.5mPas • s); para motores de vehículos pesados esta discriminado por la letra E, siendo el mejor el E5, este tipo de aceite está pensado para el cumplimiento de las normas EURO II, EURO III, y posteriores. Se usan para vehículos de “altas prestaciones” y de cambios de aceite prolongados, estas condiciones se hicieron a partir de la manufactura de las casas matrices europeas tales como: IVECO, Scania y Daimler Benz.

4.1.4.5 Bases lubricantes. Este componente es uno de los más importantes, ya que esta sustancia determina el índice de viscosidad del aceite y es la que atribuye algunas de las propiedades físico – químicas del aceite (aditivos). Este es el material que demora en degradarse mientras se mantiene la operación de la

²⁹ AMERICAN PETROLIUM INSTITUTE (API), “El aceite para motor es important ¿Qué tipo de aceite es el adecuado para usted?”. 2014. Disponible en: http://www.api.org/certification-programs/engine-oil-diesel-exhaust-fluid/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/Engine-Oil-Guide_Spanish-3Q2012.ashx.

³⁰ STOCK UNION CANARIAS, “Normas ACEA calidad de lubricantes”. Disponible en: <http://tratamientosparamotores.com/normas-de-calida-acea-y-apis-en-los-aceites/>.

máquina. Dentro de las clases de bases lubricantes se pueden clasificar de acuerdo a su procedencia (animal, vegetal, sintética y mineral).

Los aceites vegetales y animales son también llamados aceites grasos, y son utilizados en su mayoría de veces para fabricación de productos para el uso doméstico³¹. Los aceites sintéticos son hechos de la selección de algunos componentes de del petróleo crudo proveniente de la industria petroquímica, los cuales son optimizados por medio de transformaciones químicas (síntesis)³², y son caracterizados por su buen comportamiento dentro del motor y por su alto costo. Por último se encuentran los aceites minerales derivado del petróleo, utilizado en la mayoría de los equipos mecánicos por su bajo costo y su versatilidad en los equipos mecánicos, estos son clasificados de acuerdo a la calidad de sus bases y se relacionan en tres conjuntos:

- **Parafínicas:** Son bases saturadas, basados en cadenas de hidrocarburos; algunos usos derivados de esta base son usados para la fabricación de aceites combustible, aceites lubricantes y gasolinas de bajo octanaje; son caracterizados por su baja densidad, baja disolvencia y altos estándares de fluidez y un alto punto de inflamación.

- **Naftenicas:** Son considerados de menor calidad que las parafínicas, debido a su proceso de refinación. Algunas de sus características están dadas por su bajo índice de viscosidad, inestabilidad química, bajo punto de fluidez y tendencia a la oxidación.

- **Aromáticas:** Formado por cadenas no saturadas, haciéndolas más activas químicamente, por lo cual tienen tendencia a la formación de ácidos orgánicos por medio de la oxidación. Entre sus características más notables se encuentra: alta densidad, alta volatilidad, e inestabilidad química.

En aceites lubricantes de bases minerales están dadas por cadenas saturadas e insaturadas, por lo cual permite la sustitución de algunas partes de la estructura, por algunos átomos esteres como son el azufre, el oxígeno y el nitrógeno, su porcentaje de concentración está dado por el tipo de las bases minerales mencionadas anteriormente.

4.1.4.6 Componentes de un aceite lubricante. Debido a la creciente demanda de vehículos operativos y deseo de sus dueños por extender la vida útil del equipo, ha encontrado en la lubricación un buen parámetro para contribuir al

³¹ Tipos de lubricantes, diferencias. 2014. Disponible en: <http://www.tiposde.org/general/398-tipos-de-lubricantes/>.

³² ESSOMOBILBORUR. "Aceite sintéticos vs convencionales". 2014. Disponible en: <http://www.essomobilborur.com/files/06-Sinteticos%20Vs%20Minerales.pdf>.

cuidado del equipo, es por esto que los grandes productores de aceite lubricante para motores, especialmente para los Diesel han evolucionado y han querido que sus productos sean más competitivos y de mejor calidad frente a otras marcas, una consecuencia de esto es el mejoramiento del paquete de aditivos, tanto para mejorar las cualidades del aceite (viscosidad, antiespumante, sellado, oleosidad, rigidez dieléctrica y la extrema presión), como la inhibición de la degradación del aceite (detergentes, dispersantes, antioxidantes, anticorrosivos, anti – desgaste, agentes alcalinos y anti - emulsionante). Algunas características de los aditivos mencionados se relacionan a continuación:

- **Detergentes – dispersantes:** Esta clase de aditivos tienen la finalidad de evitar que el mecanismo que se esté lubricando se contamine con sustancias extrañas, así el aceite lo esté. Adicionalmente el agente dispersante contribuye a que esas sustancias extrañas no se acumulen manteniéndolos a distancias diferentes. Estos aditivos son agregados en combinaciones en su fabricación, algunos de los encontrados son: el zinc, calcio y bario – azufre, cloro y fósforo

- **Anticorrosivos y antioxidantes:** Estos aditivos importantes ayudan en la protección de la corrosión para las piezas mecánicas y así mismo, impedir la alteración del aceite por degradación a causa del envejecimiento y oxidación. Para esta tarea la mayoría de veces es utilizado un agente, alguno de estos son: ditiofosfato de zinc, los esteres del ácido etilfosfórico (base arsénica o bismútica), entre otros.

- **Mejoradores del índice de viscosidad:** La viscosidad es una propiedad importante que define un aceite lubricante, por lo cual es importante que este, esté establecido de acuerdo a las normas que la tienen regida, a pesar de las condiciones de temperatura. Es por esto que para mejorar la versatilidad del aceite a diferentes condiciones se ha utilizado los esteres del ácido polimetacrílico y soluciones de materiales plásticos que elevan en un porcentaje pequeño la viscosidad. Las moléculas de estos aditivos están generalmente en toda la superficie del aceite a bajas temperaturas, estas moléculas se contraen ocupando poco volumen, formando pequeñas bolitas que están dotadas de movilidad. Al elevarse la temperatura estas bolitas aumentan su velocidad y se agrupan en estructuras compactas que retienen el movimiento del aceite, lo que en pocas palabras mejora su viscosidad.

- **Mejoradores del punto de fluidez y congelación:** La contribución que hacen los mejoradores de índice de viscosidad, también son participes en el punto de congelación y consecuentemente al de congelación para aceites parafinados por su alta cristalización a bajas temperaturas; impiden la formación de cristales por medio de la absorción. Uno de sus colaboradores adicionados es la naftalena alquilada.

- **Antiespumantes:** Algunos cuerpos de los aceites no necesariamente son sólidos o líquidos, también son gaseosos, en este caso los cuerpos gaseosos son vapores formados antes de 100°C, considerados como cuerpos extraños dentro de la película de lubricación, contribuyendo así en el desgaste por cavitación. Los antiespumantes tienen la misión de reducir el espesor de las burbujas, haciendo que se rompan debido a la tensión superficial que el aceite hace a las burbujas. El polímero de silixón ha sido uno de los aditivos utilizados en esta tarea.

- **Mejoradores de oleosidad:** Este aditivo tiene la propiedad de adhesión a las piezas mecánicas debido a su polaridad molecular, este aditivo se adiciona en el momento de su refinación, debido a que sus características cambian durante el proceso. Para esta adición se recurre a los productos obtenidos del aceite de palma en proporciones que van del 5% al 15%.

- **Anti - desgaste:** Estos crean una película protectora sobre las piezas mecánicas actuando sobre ellas, previniendo así el desgaste, algunos aditivos usados son: alquilo – fosfatos de zinc y derivados fosforados.

- **Aditivos de basicidad:** El aceite por lo general tiende a cambiar el pH en su fase de degradación, es por eso que es agregado un aditivo que previene la acidez temprana por medio de la neutralización, algunos de los agentes básicos son usados como detergentes, aunque casi siempre son usados son las sales básicas.

- **Anticorrosivos:** Este aditivo tiene como fin evitar el daño a las piezas metálicas ferrosas, debido al contacto entre el óxido formado por el agua, el oxígeno del aire que es formado durante la fase de combustión. Este actúa formando una película protectora sobre la pieza metálica, para este fin son utilizadas las sales de sodio, magnesio y calcio, sulfonatos alcalinos o ácidos alquenilsuccinicos.

- **Aditivos de extrema presión:** Esta clase de aditivo es usado para evitar el desgaste en piezas metálicas debido a las altas cargas, favoreciendo el deslizamiento y la adherencia del aceite a la pieza metálica por medio de capas mono y poli – moleculares. Esta clase de aditivos ayudan a la economizarían de energía por medio los aditivos: fosfo – azufradas y derivados órgano – metálicos del molibdeno.

4.2 FILTRACION DE ACEITE

La filtración del aceite es una variable que está relacionada con la vida del motor, pues este protege el aceite de los contaminantes que pueden contribuir al desgaste abrasivo y al taponamiento del sistema de lubricación (polvo desde 0,1 – 100 μm , hollín desde 0,5 – 50 μm). Generalmente los filtros están hechos de materiales sintéticos, papel de celulosa y de algodón; estos filtros deben soportar

más de 60 Psi y un flujo volumétrico de 300 litros por minuto para su óptimo rendimiento.

4.2.1 Tipos de filtros de aceite. Existen dos tipos de filtros de aceite instalados dentro de un motor diesel: de flujo completo y de derivación o by pass. Los de flujo completo se refiere al filtro donde pasa todo el flujo de aceite, que va y viene del motor, lo cual debe limpiar todos los contaminantes (hollín, polvo, metales de desgaste, etc.), el filtro de derivación es usado para el 10% aproximadamente del aceite contenido del cárter, es decir que filtra parcialmente el aceite y es instalado como adicional en el motor.

4.3 MANTENIMIENTO

4.3.1 Definición. El mantenimiento es definido como la técnica y el estudio que tienen como objetivo la búsqueda de la conservación adecuada de una maquina, con tal de mejorar y mantener su disponibilidad frente a una tarea determinada.

En cualquier industria el mantenimiento siempre está orientado en el ahorro de costos de producción, que generen las paradas no programadas y mantener la seguridad industrial de los integrantes que estén involucrados directamente con el equipo.

4.3.2 Tipos de mantenimiento. De acuerdo con Francisco Javier González (2005), el mantenimiento se divide en dos ramas: mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo³³.

- Mantenimiento Correctivo: Es acerca de la intervención del equipo cuando se vea la necesidad de corrección de defectos o averías encontradas. Este tipo de intervención se divide en dos categorías:

a. Inmediato: Esta clase corresponde a una actividad que es realizada después de que la falla haya actuado en el equipo y ésta en consecuencia, ocasione un paro no programado.

b. Diferido o programable: Esta tiene como objetivo parar la operación del equipo una vez se haya encontrado un defecto o avería, para luego ser intervenido y mejorar su rendimiento.

4.3.3 Mantenimiento preventivo. Esta categoría es parte de un paquete de herramientas que permite una admiración, basada en la condición de mejorar el

³³ HIGGINS, Lindley. Maintenance engineering handbook. 6th. Edición. New York, Editorial McGraw-Hill. 2002. 1297 p.

rendimiento de la capacidad de producción, calidad y efectividad en un equipo; para así evitar eventos desafortunados como lo son paradas no programadas y accidentes que involucren la integridad de los involucrados en la operación. Las herramientas que intervienen en ese objetivo son:

- **Periódico:** Esta herramienta como su nombre lo dice está basada en la cantidad de horas o kilómetros de operación de un equipo, para lo cual es programada una intervención donde se procede a realizar una serie de pruebas y a intervenir algunas piezas, según requiera el cambio por cumplimiento de la vida útil.

- **Predictivo o basado en condición:** Esta característica se basa en una análisis mediante el acercamiento de pronósticos a donde el equipo quedara fuera de servicio, este análisis se basa en las condiciones de funcionamiento, variable de los fluidos, corriente, etc.

Hay una serie de tecnologías que ayudan en la detección de los inconvenientes que pueden ser encontrados mediante el seguimiento de las condiciones mencionadas, tales como el monitoreo de a través de:

a. La tribología: Este tipo de análisis se hace a partir del comportamiento que tiene el sistema tribológico y que se puede obtener el resultado del nivel de desgaste, presentado en una máquina mecánica o rotativa.

b. Termografía: Este tipo de análisis se hace a través de un equipo de alta tecnología, el cual registra la intensidad de radiación producida por el calor en una máquina y demuestra el nivel de radiación que debería tener un sistema mecánico para evitar el desgaste producido por fricción.

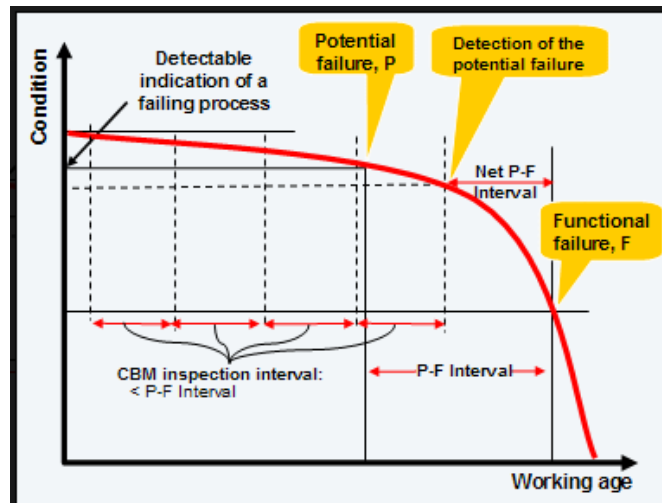
c. Análisis de vibraciones: Este tipo de análisis es el más antiguo y más conocido dentro de los protocolos de mantenimiento, estas prácticas se realizan mediante el análisis de ruido o vibración por parte de un sistema mecánico, para revisar anomalías o daños en el sistema. A pesar de tener una considerada aceptación dentro de las técnicas de análisis, esta requería personal altamente calificado para reaccionar a varios tipos de ruido y vibración de acuerdo al sistema en estudio.

d. Análisis por ultrasonido: Esta técnica empleada para la detección de anomalías usando un proceso similar al utilizado por vibración, no obstante la técnica con ultrasonido manejada en frecuencias mayores que el límite que tiene el hecho por vibración (20 KHz), esta es utilizada en su gran mayoría para la revisión por fugas de líquidos o por pérdidas de compresión debido a una fractura o fisura.

e. Monitoreo de eficiencia: Este utiliza los parámetros de eficiencia establecidos por los fabricantes de la máquina y estos son medidos acorde a la eficiencia, de

acuerdo al proceso realizado en una operación. Cabe resaltar que esta eficiencia es teórica, por lo cual es considerado hipotético, por lo que se hace con tal de adaptar o adquirir una máquina que satisfaga los requerimientos de diseño del sistema.

Figura 4. Esquema de programación de un mantenimiento CBM (mantenimiento basado en condición, según siglas en inglés).



Fuente: ALFONZO, Wilmer. CBM - Mantenimiento Basado en la Condición. Disponible en: <http://mantipi.blogspot.com/>.

- **Progresivo:** Este es realizado a través de partes en singular, hasta alcanzar un número predeterminado de partes de acuerdo a la operatividad del equipo.

Cabe mencionar que este trabajo se basará en el mantenimiento, teniendo en cuenta su condición, una de ramas que hace parte del mantenimiento preventivo.

4.4 MOTOR CUMMINS ISX® CM570

Este es un motor usado en la gran mayoría de los vehículos de transporte de carga pesada en Colombia, lo cual es catalogado como un motor bastante confiable dentro del gremio transportador nacional por sus características mecánicas versátiles y fácil mantenimiento.

Este motor cuenta con cilindrada de 16000 cc y potencia de 400 a 600 HP turbocargado girando a 1800 revoluciones por minuto, el sistema de combustible conformado por inyectores, actuadores y dos bombas, es controlado por el módulo de control electrónico (ECM, engine control module, por sus siglas en inglés), el

cual busca la efectividad en el consumo de combustible. Contiene dos ejes de levas: inyectores y válvulas, el de inyectores permite entregar el nivel de combustible a alta presión, de acuerdo a las condiciones de operación y el de válvulas es el encargado de sincronizar aparte de las válvulas el freno de motor, igual que la dosificación y las necesidades del sistema de combustible³⁴.

Actualmente esta clase de motor es comercializado en vehículos de las marcas International®, Kenworth® y Freightliner®, es considerado como uno de los más seguros para toda la distribución del vehículo, pues este al comunicarse con la computadora a bordo, proporciona informaciones vitales para la conducción segura, así como la protección de algunos de las partes usadas por el vehículo.

Figura 5. Vista real del motor Cummins ISX®



Fuente: SALINAS, Oscar. "Motor Cummins ISX Un Aliado En El Transporte". Disponible en: www.redjbm.com/catedra/index.php/tecnologia/74-motor-cummins-isx-un-aliado-en-el-transporte.

³⁴ SALINAS, Oscar. "Motor Cummins ISX Un Aliado En El Transporte". Disponible en: www.redjbm.com/catedra/index.php/tecnologia/74-motor-cummins-isx-un-aliado-en-el-transporte.

4.4.1 Componentes del motor³⁵. El motor Cummins ISX[®] después de su debut por primera vez en el año 2001 hasta la actualidad, ha tenido buena acogida entre los grandes fabricantes de tracto – camiones, debido a su eficaz desempeño en labores de trabajo pesado en cuyas carreteras son desafiantes para cualquier automotor, es por esto que el fabricante Cummins[®] ha tenido las mejoras de productos, de acuerdo a las necesidades y requerimientos de operación, a continuación se detallan algunas características de los componentes del motor, que han sido sujetas a mejoras de producto, para así entregar un producto de calidad al consumidor:

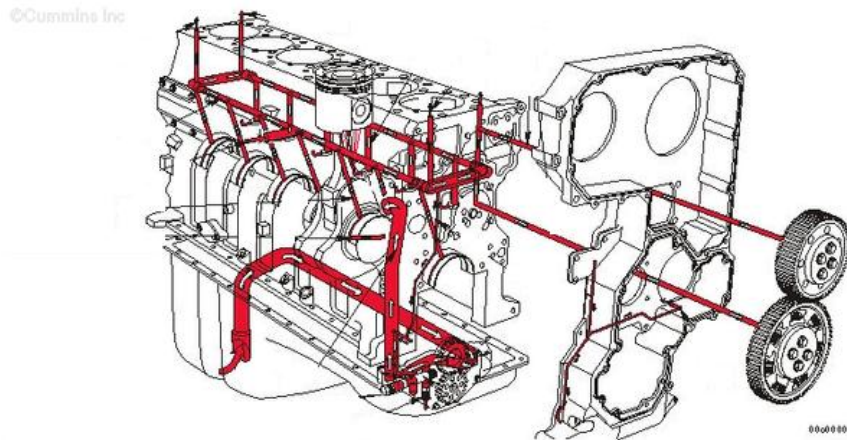
- El bloque de motor está diseñado para las conexiones métricas por medio de roscas rectas con arosello, dentro de su maquinado se encuentra la cavidad para el enfriador de aceite y así evitar las pérdidas de presión o flujo, a través de las galerías que se encuentran en el bloque, de igual forma se encuentra la galería refrigerante de motor con la que se mantiene la temperatura de operación.
- El cigüeñal está adaptado al bloque por medio de 6 (seis) cojinetes de bancada y 1(uno) de empuje de bancada que se encuentran en la parte inferior del bloque, lo cual permite mantener la lubricación del cigüeñal en cada giro del mismo.
- Los pistones articulados tienen una forma particular en la corona para que el aire que ingrese a la cámara cree un flujo uniforme, para que sea aprovechado en la explosión generada en la cámara; este pistón está acoplado a una biela por medio de un bulón de tipo flotante. Las bielas se mantienen juntas por medio de cuatro tornillos para la adecuada sujeción. Estos pistones están lubricados por medio de las boquillas de enfriamiento ubicadas en la parte inferior del bloque, cerca al cigüeñal, el objetivo de este es mantener la película de lubricación en las camisas mientras el pistón se mueve a lo largo de ella.
- En la parte inferior delantera se encuentra la bomba de engranes, la cual está acoplada al cigüeñal a través de un engrane maquinado en el mismo.
- Las válvulas de admisión y escape se encuentran instaladas en la culata donde son empujadas para abrir por medio de unos balancines accionados por el eje de levas, que también está contenido en la culata, las válvulas son selladas por medio de la acción de un resorte y por asientos, que se encuentran maquinados en las válvulas y otros instalados en la culata. Se encuentran 4 (cuatro) válvulas por cada cilindro repartidas equitativamente, de acuerdo a los servicios de admisión y escape.

³⁵ ISX/QSX CM570 ENGINE QUALIFICATIONS TRAINING. Bogotá, Colombia). Familiarización. Bogotá; Cummins de los Andes. 2014.

- Los ejes de levas tanto de válvulas como el de inyectores se encuentran contenidos en la culata y estos son movidos gracias a la transmisión de potencia del tren de engranes, localizados en la parte frontal del motor. Los ejes de levas accionan el movimiento lineal de las válvulas como de los inyectores, haciendo que estos trabajen de acuerdo al orden de encendido para estas clases de motores.
- El suministro de combustible, esta suministrado por el módulo de sistema de combustible integrado, que está conformado por la bomba de levante, sensores de presión de combustible, actuadores, bomba de engranes, entre otros. Este es considerado el corazón del motor.
- El refrigerante es controlado mecánicamente por medio de los termostatos ubicados cerca al módulo de combustible, lo cual permite que el motor opere de acuerdo a la temperatura diseñada para trabajar, este refrigerante se encuentra impulsado por una bomba de agua que es movida por medio de una correa.
- El sistema de admisión de aire se encuentra conformado por el turbo, el enfriador de carga aire y por el múltiple de admisión, esta cantidad de aire es controlada por el módulo de control electrónico del motor y es protegido por el filtro de aire, para evitar el ingreso de sustancias ajenas al motor.
- El módulo de control electrónico es el dispositivo que controla el funcionamiento del motor, ya que este evalúa las condiciones detectadas dentro y fuera, para la toma de decisiones, esto con el objeto de entregar la potencia y el torque adecuada para el motor de acuerdo a lo exigido.

4.4.2 Sistema de lubricación del motor. El sistema de lubricación del motor ISX[®] tiene como finalidad proveer el aceite a todas las piezas mecánicas del motor para evitar fricciones y su consecuente desgaste, por lo cual en este motor es usada una bomba de engranes, con el tal de abastecer todas las galerías de lubricación con base en la operación del motor, esta es sincronizada a través del engrane de la bomba de aceite con la sección dentada del cigüeñal. Este sincronismo hace que la bomba de aceite abastezca el circuito de lubricación, de acuerdo al combustible consumido, a continuación se muestran algunas graficas del circuito de lubricación del motor Cummins ISX[®] (los componentes no son mencionados debido a la confidencialidad del producto):

Figura 6. Circuito de lubricación del bloque de cilindros del motor Cummins ISX®



Fuente: ISX/QSX CM570 ENGINE QUALIFICATIONS TRAINING 21-25, Julio. 2014. Bogotá, Colombia. Familiarización. Bogotá; Cummins de los Andes. 2014.

4.4.3 Fallas encontradas provenientes de contaminaciones en el aceite en el motor Cummins ISX®. A continuación se presentan algunas consecuencias y causas presentadas en los motores Cummins ISX® y que así mismo tienen relación con contaminación del aceite.

Figura 7. Carbonamiento de la corona del pistón a causa del combustible no quemado.



Fuente: FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

En la imagen anterior se puede observar la formación de ceniza u hollín producto de la combustión incompleta, este hollín se desprende a consecuencia del movimiento vertical del pistón y permite que estos se mezclen con el aceite causando así aumento de la viscosidad del aceite.

Figura 8. Vista general (izquierda) de la bomba de engranes y vista en detalle de las ralladuras tenues por aceite contaminado con silicio (tierra).



Fuente: FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

Figura 9. Vista de los ductos y alabes de turbo afectado por sílice (tierra).



Fuente: FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

Figura 10. Daño a casquetes por aceite contaminado con sílice (tierra).



Fuente: FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

En las imágenes presentadas anteriormente se observa el ingreso de sílice, que comúnmente entra a través de la tierra o polvo atmosférico por los ductos de admisión de aire, en este caso se observa la intrusión de sílice por los ductos del turbocargador y alabes generando daño a su paso. Una vez dentro de la cámara de combustión este contaminante se aloja en las camisas y una parte de este entra en contacto con el aceite, generando daños en los sistemas de lubricación como bombas (Figura 8) y en casquetes de bancada como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Evidencia de rompimiento de la capa de lubricación en los casquetes por dilución de combustible.



Fuente: FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

Figura 12. Cigüeñal afectado por destrucción de la capa límite de lubricación por contaminación del aceite.



Fuente: FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

En las anteriores imágenes (Figuras 11 y 12) se observa la degradación de los casquetes por contaminación del aceite con combustible. Esta contaminación se presenta por la sobre-dosificación de los inyectores, lo que hace que el

combustible se queme parcialmente y el restante caiga por gravedad al alojamiento del aceite. Esto hace que la viscosidad del aceite se afecte disminuyendo su nivel de viscosidad y perjudicando piezas móviles; en la imagen. Se muestra un lóbulo del cigüeñal afectado por el rompimiento de la capa límite de aceite lubricante, causado por el aumento de fricción entre el lóbulo y el casquete, haciendo que este se adhiera llevando a una falla importante dentro del motor.

4.5 ACEITE LUBRICANTE USADO EN MOTORES CUMMINS ISX[®]

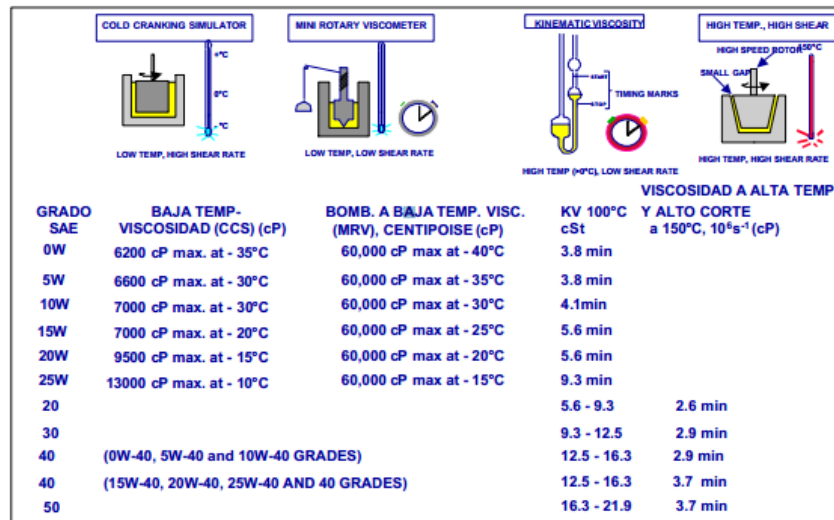
El fabricante de este motor recomienda el uso del aceite lubricante bajo la especificación: 15W40 o Cij-4, para este tipo de motor diesel. Fue elegido a partir de los parámetros de uso del motor y basado en condiciones en el ejercicio de conducción usados por los operadores, estas características fueron tomadas y usadas como parámetro en la selección de los aceites más convenientes para este tipo de motor.

A pesar de que los aceites lubricantes cambian sus características físico – químicas entre marcas (Castrol, Shell, Mobil, Gulf, entre otras.) debido a su competencia, la referencia mencionada anteriormente debe cumplir los estándares CES (Cummins Engineering Specification) 20077 o 20076³⁶.

A pesar de que Cummins[®] refiere el aceite 15W40 como el indicado para este motor en diferentes condiciones ambientales, ya que este puede utilizarse en el intervalo de -10°C – 40°C ; adicionalmente se designó este tipo de aceite para mantener las películas de aceite uniformes, debido a que su viscosidad permite la operación durante temperaturas bajas y altas de operación. Esto fue analizado a partir de pruebas a las que los motores de esta familia fueron objeto y utilizado algunos métodos de revisión de viscosidades los cuales están consignados en la siguiente imagen:

³⁶ CUMMINS INC. “Manual de servicio Cummins para motores ISX[®] (3666239)”; información no disponible al público.

Figura 13. Métodos y resultados estándar para la elección de lubricantes.



Fuente: ESSOMOBILBORUR. “Aceite sintéticos vs convencionales”. 2014.

Disponible en: <http://www.essomobilborur.com/files/06-Sinteticos%20Vs%20Minerales.pdf>.

4.6 ANALISIS DE ACEITE

El análisis de aceite usado en los motores combustión interna, en este caso Diesel es considerado una herramienta utilizada en el mantenimiento según la condición o estado, algunas veces llamada mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento es usado en equipos en el cual es inminente el cambio de condiciones de trabajo, como las que pueden denotarse como: cambios de ambiente, carga, trabajo, humedad, combustible, ente otros.

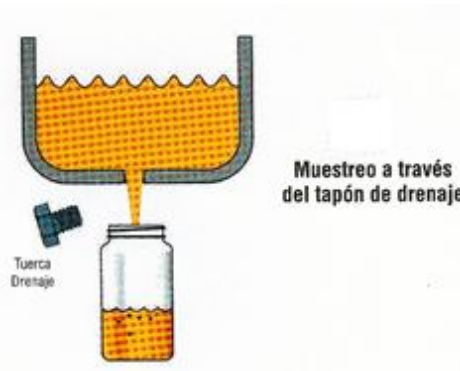
Por esto es que los dueños de algunos de los motores que se encuentran en operación, han buscado la forma de cuidar sus equipos, por lo que esta clase mantenimiento ha sido una opción viable para no gastar tiempo en cuanto productividad y disponibilidad del equipo se refiere. A pesar de optar por algunas precauciones en la operación del equipo, el desgaste por operación normal de la maquina es una realidad que no se puede evitar, ya que esta condición característica, genera partículas microscopias de los componentes en contacto, acompañadas de algunas impurezas que a consecuencia del sistema de lubricación, la cual está en constante movimiento, pueden incidir negativamente sobre el desempeño normal del equipo. De este modo el análisis de aceite ha sido un instrumento flexible y confiable para la planificación de mantenimiento, lo cual incluye disponibilidad de repuestos, técnicos y espacio para hacerlo; antes de que

estas partículas se conviertan en un problema mayúsculo que pueda afectar la operación³⁷.

4.6.1 Toma de muestras. El primer paso usado para el análisis de aceite es recopilar la muestra, pues es de allí donde será pieza clave para la determinación de la degradación del aceite y que hace posible que este proceso se lleve a cabo más rápidamente, adicionalmente este proceso dará a conocer el grado de contaminación presente, otro factor el cual se debe tener en cuenta para el estudio de desgaste en condiciones de operación. A continuación se presentara los procesos por los cuales se toman las muestras de aceite³⁸.

4.6.1.1 Método del tapón de drenaje. Esta es realizada en el proceso de drenaje del aceite del equipo, la toma se obtiene después del drenado de un tercio a un medio del contenido del aceite. Esta muestra no se debe tomar en frio, ya que debe tomarse después de las condiciones operativas del motor. En la Figura 4. Y Figura 5, Representa esta práctica.

Figura 14. Método grafico del procedimiento de tapo de drenaje.



Fuente: Tomado de Cortés, Juan. Comp. "Interpretación de análisis de aceite usado" [diapositivas]. Cummins Chile. 2007.

³⁷ CORTÉS, Juan. Comp. "Interpretación de análisis de aceite usado" (diapositivas). Cummins Chile. 2007.

³⁸ ESSOMOBILBORUR. "Aceite sintéticos vs convencionales". 2014..Disponible en: <http://www.essomobilborur.com/files/06-Sinteticos%20Vs%20Minerales.pdf>

Figura 15. Método real del procedimiento de tapón de drenaje utilizado en un vehículo.



4.6.1.2 Método de la bomba de muestreo. Esta práctica se hace a través de una bomba, donde se bombea la muestra de aceite hacia un frasco limpio como lo muestran las Figura 6 y 7. La única contrariedad de este proceso es que al tomarse una muestra, la manguera debe ser limpiada por dentro para evitar contaminación por otras muestras o contaminaciones atmosféricas.

Figura 16. Método de toma de muestras aceite por medio de una bomba.



Fuente: CORTÉS, Juan. Comp. "Interpretación de análisis de aceite usado" (diapositivas). Cummins. Chile. 2007.

Figura 17. Método real del procedimiento de toma de muestras por medio de una bomba utilizado en un vehículo.



4.6.1.3 Método del grifo. Esta tarea considerada por algunos como la manera adecuada para obtener una muestra de aceite más precisa y consiste en el drenaje de la muestra, por medio de una bomba a través de un grifo instalado en el equipo (Figuras 8 y 9).

Figura 18. Método de toma de muestras aceite a través de un grifo.



Fuente: CORTÉS, Juan. Comp. "Interpretación de análisis de aceite usado" (diapositivas). Cummins. Chile. 2007.

Figura 19. Método real del procedimiento de tapón de drenaje utilizado en un transformador.



Fuente: MIRAS, J. Imagen de extracción de aceite de un transformador. Imagen. Disponible en: <http://www.jcmiras.net/jcm2/wp-content/uploads/2008/transformer-oil-sampling.jpg>.

Cabe mencionar que en estos métodos de extracción de las muestras de aceite se deben tomar con el motor funcionando, pues esto garantiza que los parámetros de estudio del aceite sean tomados en el instante de la toma de la muestra; adicionalmente las pruebas deben tomarse antes y después del filtro, ya que este muestra el funcionamiento del filtro y así mismo, las contaminaciones que provienen de los sistemas mecánicos. Aunque la mayoría de los procedimientos se encuentran especificados paso a paso, raramente estos no son limpiados o purgados adecuadamente, lo cual destina a que la muestra de aceite no tenga los parámetros iguales a los que están fluyendo a través del motor, es por esto que se deben lavar y así mismo de purgar (remoción de aire interno en la tubería de la bomba y en el frasco para métodos usados con bomba), luego de aplicar las tareas adecuadamente para la extracción de la muestra de aceite, esta debe ser enviada al analista en el menor tiempo posible, pues de esta dependerá sus correcciones respectivas. Los analistas y los fabricantes de aceites que están pendientes de estos análisis recomiendan el establecimiento de una frecuencia programada para este tipo de pruebas, para que este mantenimiento provea al cliente de información vital³⁹.

³⁹ NORIA. "Lo que se debe y no se debe hacer al tomar muestras de aceite". 2014. Disponible en: http://www.noria.mx/nla/index.php?option=com_content&view=article&id=434&Itemid=73.

4.6.2 Parámetros de estudio e la degradación del aceite⁴⁰. A pesar de que los grandes fabricantes de motores tienen un rango de cambio de aceite establecido por kilometraje u horas de operación, este está condicionado a ciertas cláusulas de mantenimiento, de calidad del combustible y operación del motor. Para alargar las intervenciones que sean necesarias para su mantenimiento, el análisis de aceite puede contribuir de manera positiva en los tiempos que se deban tomar, con lo que se contribuirá al ahorro destinado para mantenimientos y cambios de aceite respectivamente. Un caso puntual llevado a cabo en el seguimiento por medio de análisis de aceite en Europa de una empresa importante de transporte terrestre, donde el drenado de aceite para su cambio se aumentó, ya que esta tarea se realizaba cada 27.000 kms, y estado se pudo prolongar hasta 36.000 kms, el ahorro obtenido por este de 4,8 céntimos de €/km⁴¹. En Colombia se puede llevar a cabo esta clase de ahorros, no obstante estos estudios de llevaron a cabo con un contenido de azufre menor (formación de ácidos de azufre menores); por lo que hay que condicionar estos resultados al combustible que hoy en día se está surtiendo en las estaciones de servicio.

Durante el proceso de lubricación que lleva a cabo el motor dentro la operación, está expuesto a variables de consideración que hace perder progresivamente sus características iniciales, como lo puede ser las altas temperaturas, el esfuerzo de cizallamiento producto de la variación de esfuerzos de las piezas, cambio de velocidades, ambientes corrosivos, contaminación externa e interna del aceite; actúan como catalizadores de la degradación del aceite, por lo cual afectan las propiedades físico-químicas del aceite. Es por esto que el análisis de aceite es una técnica trascendental, para determinar el detrimento del aceite y de sus componentes, a continuación se darán a conocer los siguientes parámetros de evaluación en una muestra de aceite.

4.6.2.1 Viscosidad⁴². El grado de viscosidad de un aceite está determinado por la operación del motor, la cual es dada por el fabricante del mismo, determinado por medio del diseño y ajuste de parámetros para el adecuado desempeño del sistema de lubricación. El aceite que debe ser utilizado en motores diesel debe tener la versatilidad de comportarse a diferentes temperaturas y cumplir con las exigencias de las clasificaciones respectivas, ya que en motores diesel, el aceite debe garantizar la bombeabilidad para llegar a todas los sistemas mecánicos que requieran la lubricación.

⁴⁰ TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel, mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 373 p.

⁴¹ CARBONELL, V. "Costos operativos". Citado por: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel, mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 373 p.

⁴² TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 140-152 p.

El aceite durante su operación dentro del motor tiende a degradarse y por ende a alterarse su viscosidad cinemática por distintas causas que se relacionan en la tabla (Ver tabla 2).

Tabla 2. Causas característicos sobre la viscosidad en los aceites usados.

	Descenso de viscosidad	Aumento de la viscosidad
Cambios en la estructura del lubricante	- Ruptura de las moléculas - Degradación de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad	- Polimerización - Pérdida por evaporación - Oxidación - Formación de lodos y lacas
Contaminación	- Combustible - Mezcla de aceites (de viscosidad menor) - Disolventes	- Agua (emulsiones) - Espumas - Insolubles / Materia carbonosa - Mezcla con aceites de mayor viscosidad

Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005.

Estos contaminantes contribuyen al detrimento del aceite dentro de su fase de lubricación, lo cual hace que su densidad cambie y así mismo sus funciones se vieran alteradas. La relación entre la densidad y viscosidad está dada por el aumento o disminución de una de las propiedades mencionadas, por ejemplo: si la densidad aumenta sin alterar su viscosidad absoluta, su viscosidad cinemática disminuye; sin embargo si la densidad y la viscosidad absoluta incrementan, su viscosidad cinemática también lo hará.

Para medir la viscosidad se utiliza viscosímetros capilares de flujo por gravedad, de acuerdo con la norma ASTM D-445, la cual el aceite es calentado a 100°C, ya que esta es la temperatura que soporta el aceite en la parte superior del motor. Por lo general es usado el aceite SAE 15W-40 en este tipo de análisis y el aceite tomado en la muestra es comparado con las características de uno nuevo, utilizando el siguiente parámetro:

Ecuación 1. Porcentaje de degradación del aceite.

$$Z_{visc} = \frac{\text{Viscosidad medida}}{\text{Viscosidad original}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005.

El número resultado de esta división, da a conocer el porcentaje del detrimento del aceite por su operación, esta degradación ocurre debido al cizallamiento de los aditivos mejoradores de viscosidad, lo cual conduce a la reducción de las características versátiles en los cambios de temperatura. Generalmente estos resultados son utilizados en histogramas de cambio de aceite y sus condiciones de operación. Adicionalmente para este método en particular se puede identificar la dilución de combustible en el aceite, ya que el porcentaje hallado en la Ecuación 1 debe de ser mayor a 2%, para que se deba analizar el equipo por fuga interna.

4.6.2.2 Total base number (TBN) y Total acid number (TAN)⁴³. Como se ha mencionado anteriormente, el TBN es una reserva de material alcalino propiamente del aceite que neutraliza cada ácido formado del contenido de azufre del combustible, a través del proceso de combustión. Estas características son medidas a través del método establecido por la norma ASTM D-664 y ASTM D2896. No obstante el valor de TAN es un parámetro variable debido al efecto de los agentes detergentes y dispersantes, por lo tanto a veces no son tomados como una escala de parámetros de revisión solamente en motores de combustible Diesel.

Cabe mencionar que este análisis está sujeto a la antigüedad del motor y el uso que se le ha dado, ya que debido al mayor uso del motor, los ajustes y tolerancias se van cambiando cada vez más, por lo cual consecuentemente el motor tendrá una operación irregular demostrando en el paso de gases de combustión hacia el cárter o “blow – by”, por medio de los cilindros del bloque y conduce a un aumento de consumo de aceite y contaminación en el aceite por la gran parte de cuerpos gaseosos provenientes de la contaminación y otros contaminantes involucrados; estos hacen que el nivel de ácido aumente y por ende el nivel de TBN decrezca.

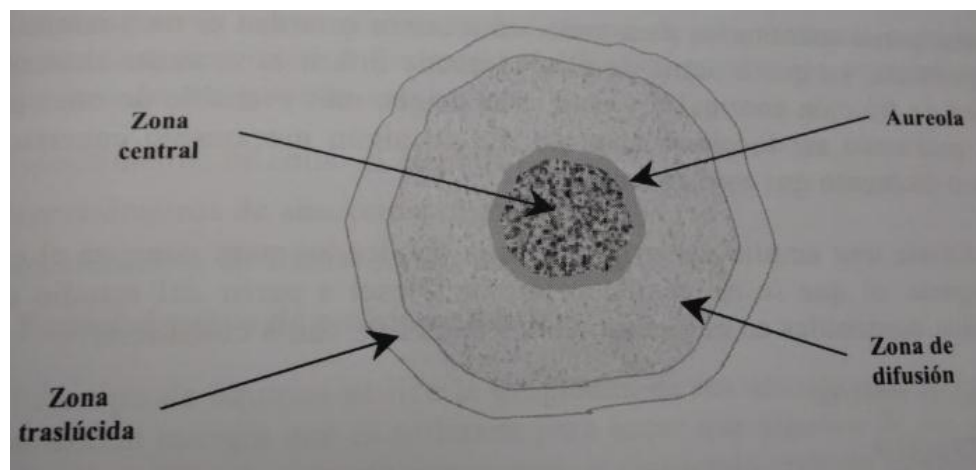
4.6.2.3 Conteo de partículas. A través del procedimiento de la norma ISO 4406 y ASTM D893, se hace el conteo de partículas, que por lo general son cenizas

⁴³ TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté. 2005. 153-161 p.

producto de la combustión, estas cenizas dan información de la degradación del aceite a causa de una sustancia inorgánica, que no es normal. Estas cenizas algunas veces forman compartimientos de carbón en los pistones, anillos, válvulas, inyectoros y culata.

4.6.2.4 Detergencia⁴⁴. En el análisis se revisan las propiedades detergentes de los aditivos del aceite y cómo actúan dentro del motor. Este análisis de Detergencia se hace con un instrumento llamado fotómetro y está orientado en la medición por manchas dependiendo del tipo de mancha será su capacidad detergente - dispersante. Este proceso inicia con el calentamiento de la muestra a 250°C durante 5 minutos, esto se hace con el fin de llevar el aceite a un estado de intenso calentamiento casi cerca a la falla térmica u oxidativa, esto hace que la mancha se pueda evaluar claramente. Después de esto la muestra se deja enfriar y se toman aproximadamente 2 ml de aceite y se deposita sobre un papel cromatográfico y se calienta a 80°C durante una hora mientras se expande la muestra. Y luego se estudia sobre una luz para ver su nivel de Detergencia – dispersante; la estructura de la mancha evaluada en el análisis tiene la siguiente estructura:

Figura 20. Estructura típica de la mancha de aceite.



Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 109 p.

⁴⁴ Ibíd.

Donde:

- La zona central es caracterizada por su color oscuro y uniforme, lo cual detalla el contenido carbonoso del aceite.
- La aureola depende del grosor y su coloración, ya que este indica el contenido de partículas tanto carbonosas como la contaminación del aceite.
- La zona de difusión es usado como característica de dispersión del carbón por parte del aditivo de Detergencia encontrado en el paquete de aditivos del aceite.
- Y por último se encuentra la zona traslucida, la cual da a entender el grado de oxidación del aceite, como su mismo nombre lo dice: esta parte debe ser traslucida y no debe tener coloraciones distintas.

Las características mencionadas de la mancha de aceite son estudiadas bajo una serie de rangos, lo cual demuestra su condición a determinado uso del mismo, basado en esto, los resultados que pueden obtenerse resultante de la prueba son:

- **Índice de contaminación (IC):** Es la presencia de material carbonoso insoluble presente en el aceite, sus niveles de estudio van de 0,1 hasta 3%.
- **Nivel de Detergencia residual (MD):** Es la facilidad que tiene el aceite de separarse homogéneamente a lo largo de la muestra, lo cual está en manos del dispersante. La calidad de este estudio está determinada entre 0 y 100, siendo 100, la dispersancia ideal y 0, la falta de dispersante o acción de ello.

Dados algunos casos donde los resultados pueden dar muy distantes de otro, se perfiló un valor único de la muestra llamado “degradación ponderada”, donde mantiene los dos resultados anteriores en tela de juicio para la toma de decisiones y está dada por la Ecuación 2.

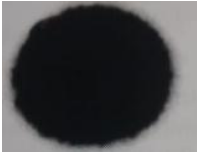
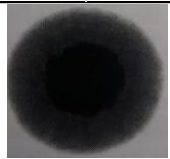
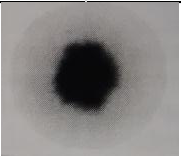
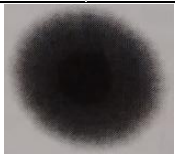
Ecuación 2. Degradación ponderada del aceite

$$DP = (100 - MD) \times IC \qquad \text{Ecuación 2}$$

Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 109 p.

Algunas pruebas hechas son relacionadas a continuación:

Tabla 3. Ejemplo de manchas analizadas en el fotómetro y parámetros obtenidos a partir de los criterios.

Tipo de mancha	Parámetros	Descripción de la mancha
	IC = 3.0	Alta concentración de materia carbonosa debido a un excesivo periodo de uso de aceite
	MD = 75	
	DP = 75	
	IC = 0.3	Baja dispersancia por fallo de refrigeración del motor
	MD = 60	
	DP = 12	
	IC = 0.2	Pobre dispersancia por excesivo periodo de uso del aceite
	MD = 65	
	DP = 7	
	IC = 0.8	Buena dispersancia
	MD = 95	
	DP = 4	
	IC = 0.5	Pobre dispersancia debido a la contaminación con refrigerante proveniente de una fuga
	MD = 28	
	DP = 36	
	IC = 1.1	Dispersancia ligeramente degradada debido a la oxidación del aceite como resultado de un malfuncionamiento del motor
	MD = 85	
	DP = 16	
	IC = 0.2	Excesiva contaminación del aceite con combustible
	MD = 59	
	DP = 8	

Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 164 p.

4.6.2.5 Oxidación y nitración. La oxidación es una consecuencia del agotamiento de las características del aceite y es uno de los parámetros de control del estado del aceite. El aceite al estar expuesto a sus grandes cambios de temperatura, tiende a alterar sus características produciendo esteres, cetonas o ácidos carboxílicos, contribuyendo a altos contenidos de ácido y adicionalmente al aumento de la viscosidad. Aunque el ácido no es neutralizado del todo por el paquete básico, este tiende a corroer las piezas metálicas, ya que los metales de desgaste suspendidos actúan como catalizador para que esta operación nociva se lleve a cabo.

La nitración es un fenómeno que ocurre en la oxidación del nitrógeno produciendo NOx, en el proceso de combustión, una de las consecuencias que tiene la nitración sobre el motor es la formación de lacas y barnices formando así películas espesas del aceite. Esto se debe a las mezclas ricas y pobres de combustible, pues en mezclas ricas se genera más potencia y mayor tendencia a la formación de carbón en las piezas, mientras que si la mezcla es pobre, se contribuirá a la reducción de consumo de combustible, a costo de generar mayor NOx y por ende la nitración del aceite. El procedimiento que se utiliza para la revisión de estos dos parámetros de la norma ASTM E2412.

4.6.3 Parámetros de estudio de contaminantes en el aceite⁴⁵. Por contaminación se refiere a todas las partículas o sustancias que son ajenas al aceite y que no hacen parte de la degradación normal y son nocivas para las funciones que son llevadas por el aceite y sus paquetes de aditivos, a continuación se presentaran las contaminantes que estropean el normal detrimento del aceite y que son causantes del 48,8% de la procedencia de los problemas en las muestras de aceite.

4.6.3.1 Silicio⁴⁶. El silicio como principal agente contaminante es encontrado nocivo para el motor debido a su alto impacto, cuando este es mezclado con el aceite. Sus orígenes están determinados por las entradas de aire (mangueras sueltas, filtros rotos o ineficaces, respiraderos, varillas del nivel de aceite, entre otros), ya que es donde la entrada de polvo y tierra ha sido evidente. El polvo en su mínima expresión puede determinarse por partículas que van desde 0,1 μm -1 μm vistas en 'nubes de polvo' y de 1 μm -150 μm en partículas de polvo, esta clase de polvo dentro de su formación molecular es encontrado el SiO₂ en cantidades hasta del 70%.

Es entendido que los materiales que son formados a partir de la sílice son capaces de rayar superficies duras como el acero por su considerable dureza. Dentro del motor este contaminante entra en contacto en el aceite como transporte, lo cual permite que este se aloje en algunas de las tolerancias piezas móviles y por efecto

⁴⁵ Ibíd.

⁴⁶ Ibíd.

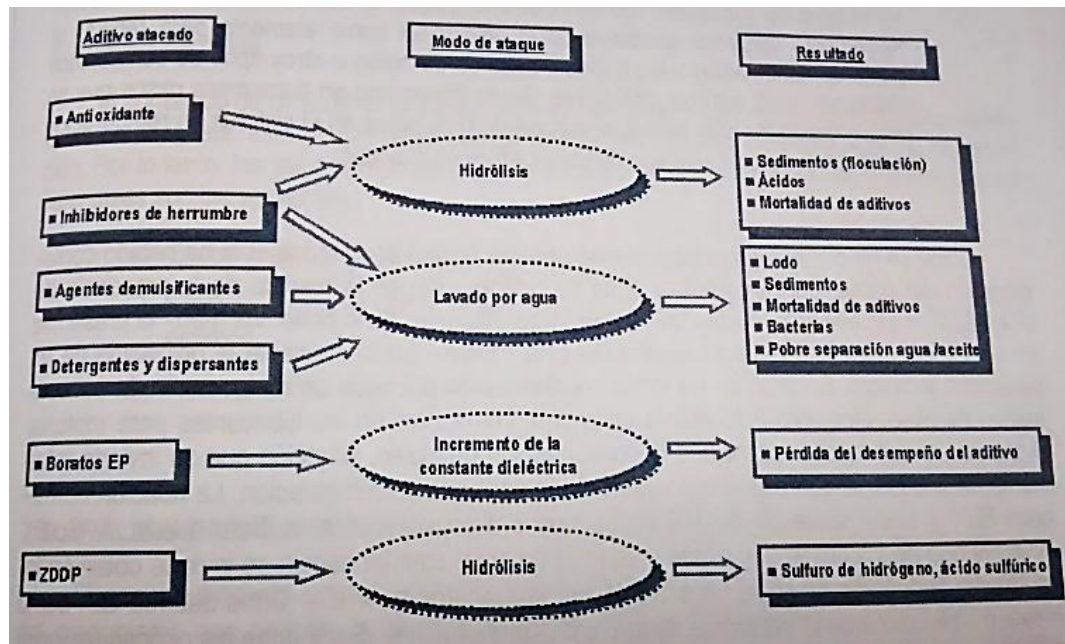
del movimiento y el flujo tanto del aceite como del mecanismo, raye las superficies de estas piezas contribuyendo al desgaste abrasivo de los mecanismos. En otros casos estos se alojan en las tolerancias creando interferencias en las piezas móviles, hace que la brecha que se tenía dentro de los límites del fabricante sea llenada de contaminantes que en condiciones de operación hace que esté sometido a esfuerzos fluctuantes cada vez mayores, haciendo que se flexione cada vez más continuo, lo cual acaba con el daño a la pieza por fatiga.

La prevención contra este tipo de contaminantes es por medio de la adecuada instalación de filtros originales y destinados para el tipo de función recomendados por la fábrica del motor.

4.6.3.2 Agua⁴⁷. Descrito por algunos fabricantes de motores, el agua es uno de los contaminantes más nocivos después del Sílice, puesto que este al entrar en contacto con el aceite altera las capacidades homogéneas de las funciones de los lubricantes, en otras palabras, el lubricante que se encuentre contaminado con agua puede romper la película hidrodinámica, causando que las piezas se encuentren vulnerables al contacto entre piezas, promoviendo la formación de oxidación actuado como catalizador, una muestra de esta condición es que: puede bajar hasta en un 90% la vida útil de un cojinete de contacto plano.. Adicionalmente el agua puede afectar el aislamiento dieléctrico del aceite, ayuda a la formación de espuma y entrada de aire (lo cual puede significar desgaste erosivo y por cavitación), formación de ácidos (por su alto poder de oxidación) y en el detrimento anormal del aceite.

⁴⁷ Ibíd.

Figura 21. Efecto de la contaminación con agua sobre los aditivos.



Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 202 p.

El aceite cuando es contaminado con agua afecta notablemente las propiedades de viscosidad generando varias concentraciones de agua, lo cual puede determinarse en su grado de inclusión a través de estos factores:

- **Agua disuelta:** En este grado de inclusión del agua, no se puede observar fácilmente debido a que las partículas se encuentran dispersadas por todo el lubricante y en tamaños demasiado pequeños. La mayoría de lubricantes es normal encontrar una cantidad de 200 ppm hasta 600 ppm dentro del lubricante, cuando estos son trabajados por un periodo largo, estos valores pueden duplicarse e incluso triplicarse.

- **Agua emulsionada:** En este punto el agua (glóbulos microscópicos) se puede observar por medio de un fenómeno parecido a la niebla, indicando el exceso de agua dentro del lubricante.

- **Agua libre:** Esta fase corresponde a niveles críticos de agua ya sea por fugas en sistema de refrigeración del aceite o contaminación externa; esta fase se puede observar en la separación de los fluidos debido al efecto de la densidad que existe entre los dos fluidos, es una zona criticidad elevada y requiere total asistencia por parte del operador.

Para la determinación de la cantidad de agua presente, se utiliza el método de Karl Fisher de acuerdo con la norma ASTM D1744 o la norma ASTM D-95

4.6.3.3 Dilución de combustible en el aceite⁴⁸. El combustible también es uno de los contaminantes más nocivos para el motor por sus características químicas; esta causa de dilución, es debido al mal funcionamiento del sistema de combustible, o por situaciones prevenibles tales como:

- En bombas de levante o de inyección (fuga a través de sus sellos).
- Por medio inyectores y líneas de suministro y drenado, se puede encontrar fugas de combustible ya sea por daño en sellos, goteos, dosificación irregular o por fugas debido a rupturas en las mangueras.
- Fuga de gases por operación de motor en vacío y/o daño en las camisas.

Cuando la falla ocurre por dilución y esta no es detectada a tiempo el aceite pierde características innatas como la viscosidad, pues el combustible al ser un fluido no viscoso, baja la viscosidad del aceite (cizallamiento de los mejoradores de viscosidad), rompiendo la película de lubricación y por consiguiente los elementos rotativos quedarán expuestos a la fricción metal-metal y finalmente al desgaste. Otro efecto nocivo es la disminución del porcentaje de TBN, pues el contenido de azufre dentro del combustible actúa de forma negativa sobre los aditivos, ocasionando que estos se vuelvan ácidos (oxidación) y por ende ayuden al desgaste por corrosión. Por último y no menos importante esta contaminación perjudica el punto de inflamación, ya que baja esta característica a rangos menores, y podría considerarse peligrosa, pues puede llegar a ser susceptible el índice de volatilidad en el aceite frente a condiciones de alta temperatura.

4.6.3.4 Materia carbonosa⁴⁹. La materia carbonosa comprende el 98% de carbón y esta resulta proveniente de los gases del proceso de combustión que entra al cárter por medio del fenómeno llamado Blow-by (causado por la ineficiencia u holgura en la presurización en los pistones), los carbonos tienen un rango de tamaño que van desde 0,01 μm hasta 0,05 μm y tienden a ser de forma esférica. Poseen características de atracción entre ellas debido a la fuerzas Van der Waals, reduciendo las capacidades de dispersión en el aceite, no obstante en lubricantes modernos con un amplio paquete de aditivos, el agente dispersante, dentro de sus funciones trata de aislar la zona polar de la molécula generando que esta se encuentre distribuida por el aceite, esto ocurre mientras se encuentre la disponibilidad de este aditivo. En ocasiones cuando este aditivo es agotado las moléculas se atraen entre si formando lodos y consecuentemente tapando los

⁴⁸ Ibíd.

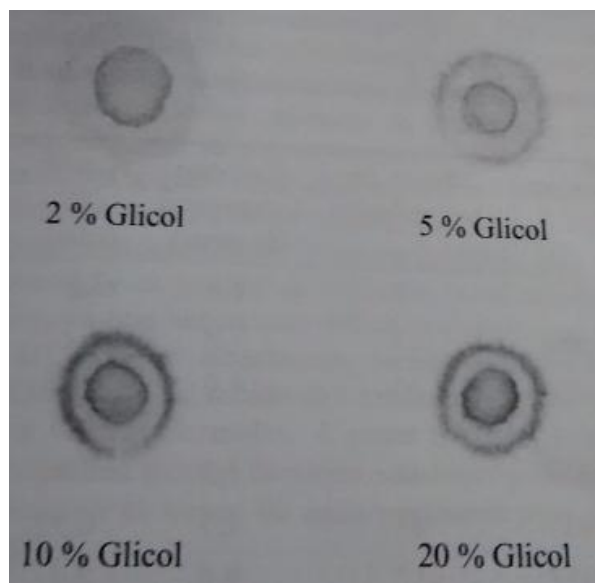
⁴⁹ Ibíd.

filtros o encontrando adheridos a algunas piezas metálicas (baja viscosidad), rompiendo la película límite y puede conseguir desgaste abrasivo.

4.6.3.5 Glicol. Este elemento es usado como ingrediente de los anticongelantes y/o refrigerantes y su función está en mantener refrigerado el motor sosteniendo las temperaturas de operación normales de funcionamiento. Al mezclarse con el aceite desencadena una serie de proporciones nocivas para el motor, como por ejemplo: la formación de emulsiones o de soluciones gelatinosas que en algunas ocasiones tienen contenidos ácidos, o que también pueden influir en la viscosidad del aceite.

Así como el aceite el refrigerante con contenido de glicol posee cantidades de aditivos, que impiden la formación de espuma (cavitación) y mantienen el pH dentro de sus valores establecidos; estos pueden ser alterados en su contaminación con aceite, pues sus aditivos como fosfatos, potasio, sodio, entre otros; pueden reaccionar con los aditivos del aceite formando diversas sustancias que pueden comprometer las piezas metálicas, debido a la formación de ácidos o de sustancias que pueden contribuir al desgaste. Para determinar el contenido de glicol dentro de una muestra, puede darse por medio del seguimiento de la norma ASTM D2982, de la cual se puede rescatar las siguientes imágenes (Figura 12.) de porcentaje de glicol más agua en un test por mancha de aceite.

Figura 22. Contenido de glicol en pruebas de macha de aceite.



Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 229 p.

4.6.3.6 Metales de desgaste. Los metales de desgaste son partículas que son incorporadas al aceite donde su origen está determinado por la fricción entre piezas metálicas, presión de gases o por corrosión de los componentes internos. Estos son identificados por su contenido en ppm (partes por millón) y se hace a través de la espectrofotogrametría de absorción atómica, la cual es un proceso en el cual la muestra de aceite es calentada de 8.000 a 10.000 grados donde los metales encontrados allí se convierten en gas y luego en plasma, lo que entrega a la máquina una serie de ondas de luz que comparadas con un patrón da a la determinación de los metales involucrados, los cuales podría ser:

- Hierro (camisas, anillos de pistón, válvulas, guías de válvulas, ejes, engranajes).
- Estaño (aleaciones con bronce o latón, tubos enfriadores de aceite, bujes, discos de fricción).
- Molibdeno (Culatas, anillos de pistón).
- Cobre (casquetes de bancada).
- Plomo (casquetes de bancada o/y biela, sellos, soldaduras).
- Cromo (impeler, bomba de agua, pistones, anillos de pistón).
- Aluminio (bielas de bombas de aceite, pistones, bloques, casquetes), entre otros.

El desgaste dentro de un motor diesel es inevitable, debido a que este se encuentra sometido a varias condiciones de operación, esto hace que pueda obtenerse de situaciones especiales, las cuales pueden no determinar el origen de un daño en motor. No obstante mediante prácticas de ensayo y error se pudo lograr la información que relaciona sobre la contaminación del aceite debido a algunos desgastes en metales utilizados en el ensamble de un motor diesel (Ver tabla 4):

Tabla 4. Tabla de contaminantes provenientes del desgaste de partes del motor diesel.

Parte del motor		Tipos de desgaste				
		Adhesivo	Corrosivo	Abrasivo	Por fatiga	Erosivo
Camisas, segmentos, pistones		X	X	X		
Levas, empujadores, balancines		X	X	X	X	
Vástago - guía de válvulas		X		X		
Apoyo - asiento de válvula				X		
Engranajes de distribución		X		X	X	
Muñones			X	X	X	
Cojinetes			X	X		X
Organos auxiliares	Bomba de aceite	X		X	X	
	Bomba de levante	X		X	X	
	Bomba de inyección	X		X	X	

Fuente: TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005. 46 p.

4.6.4 Orígenes y límites de contaminantes en el aceite en motores Cummins ISX®. El análisis de aceite para este tipo de motores no se ha estandarizado en Colombia, debido al desconocimiento de dueños de equipos que tengan instalado este tipo de motor, no previenen de eficaz forma el desgaste y el daño a los equipos dado por los distintos contaminantes exteriores como los generados internamente por la característica de funcionamiento del motor. Es por esto que ha sido de vital importancia conocer el límite de los contaminantes en aceite para tomar acciones correctivas; aunque algunas veces son usadas como control, los valores pueden categorizarse de acuerdo a su concentración de contaminantes y así mismo, del origen de los mismos, en la Tabla 5 se relacionan los valores de contaminantes del motor Cummins®

Tabla 5. Limites condenatorios de contaminantes para motores Cummins® de trabajo pesado.

Limites condenatorios en el aceite para Motores Cummins® de Rango trabajo pesado		
Variables	Usados	Recomendados
TBN min (Mg KOH/g)	2,0	2,5
TAN máx. (Mg KOH/g)	3,5	4,5
Dilución por combustible máx. (%)	5,0	5,0
Hollín, porcentaje en peso máx.	3,5	3
Contenido de agua, máx.	0,5	0,5
Nitración (abs/cm) ⁵⁰	25	25
Oxidación (abs/cm)	25	25
Metales de desgaste		
Hierro ppm (partes por millón), máx.	100	100
Plomo ppm (partes por millón), máx.	30	30
Cobre ppm (partes por millón), máx.	20	20
Aluminio ppm (partes por millón), máx.	15	15
Cromo ppm (partes por millón), máx.	15	15
Contaminantes metálicos		
Potasio ppm (partes por millón), máx.	40	20
Sodio ppm (partes por millón), máx.	40	20
Silicio ppm (partes por millón), máx.	15	15
Boro ppm (partes por millón), máx.	25	25

Fuente: Boletín de servicio Cummins® (4022060) y La Flota® (Confidencial),

En la Tabla 6 se encuentra el origen de los contaminantes (metales de desgaste y contaminantes metálicos), a excepción del hollín, combustible y del refrigerante, debido a que estos son provenientes de la combustión y de contaminaciones

⁵⁰ Absorbencia por centímetro.

provenientes de fugas o conexiones defectuosas, por lo tanto no se pueden describir puntualmente ya que estas pueden variar de acuerdo a su operación o falla.

Tabla 6. Origen de los contaminantes dentro del motor Cummins ISX®

Contaminante	Símbolo	Orígenes dentro del motor
Plomo	Pb	Cojinetes de biela, cojinetes de bancada, cojinetes de ejes de levas y buje del turbo
Zinc	Zn	Seguidor de los balancines de los ejes de levas de inyectores y válvulas y aditivo anti -oxidante
Aluminio	Al	Cuerpo de la bomba de aceite, placas de contención del eje de levas, cojinetes del eje de levas, contaminación con grasa, enfriador de aceite
Cromo	Cr	Anillos superior e intermedio del pistón y segmentos cromados (i.e. camisas)
Hierro	Fe	Camisas, bujes de los pistones, pistones, engranes, piñones de la bomba de aceite, eje de los balancines, cojinetes de los balancines y asbesto
Cobre	Cu	Cojinetes en general, enfriador de aceite, cajas de rodamientos
Estaño	St	Cojinetes de biela y de bancada (recubrimiento trimetalico), y tuberías de lubricante
Silicio	Si	Aditivos anti - espumantes, polvo atmosférico
Níquel	Ni	Cojinetes, válvulas, contaminación con combustible, aleaciones
Boro	B	Polvo atmosférico y fuga de refrigerante
Calcio	Ca	Aditivo detergente y grasas
Sodio	Na	Fuga de refrigerante
Manganeso	Ma	Válvulas y engranes de distribución

Fuente: ISX/QSX CM570 ENGINE QUALIFICATIONS TRAINING (21-25, Julio, 2014; Bogotá, Colombia). Familiarización. Bogotá; Cummins de los Andes, 2014.

4.7 DESGASTES EN UN MOTOR DIESEL

4.7.1 Desgaste conjunto pistón-anillos-camisa⁵¹. Para corregir algunas falencias de los productos por desgaste, los investigadores de las grandes empresas manufactureras de motores han optado por la utilización de materiales que pueden proteger el movimiento, con el fin de reducir la tasa de desgaste, uno de ellos es por ejemplo la implementación de materiales de aleación como el de aluminio – silicio usados en las camisas del motor, que permite conservar partículas de aceite dentro de la camisa usando sus micro – cavidades que admiten el alojamiento de aceite mientras se establece la película original. De igual manera para el pistón, las faldas y las cavidades de los anillos estos utilizan recubrimientos de estaño sobre el acero, ya que este le permite mayor vida útil en el rodamiento del mecanismo. Aunque algunas de las fallas han sido corregidas, no deja de haber situaciones en las que algunos agentes productores de la contaminación intervengan, es por esto que en su búsqueda de llevar sus productos a un nivel de mejor calidad, se ha usado la práctica del cromado como protección a agentes que pueden incidir por contaminación y en su defecto conducir al desgaste corrosivo o adhesivo.

Debido a los contactos que mantiene este mecanismo tales como aire, combustible, aceite a diferentes temperaturas, velocidades y presiones; este ha sido una de las partes más propensas a los desgastes, por lo cual cada una de los fabricantes de motores dentro de su trayectoria manufacturera de estos, ha incursionado unas mejoras, no obstante como se ha dicho anteriormente el desgaste es una situación inherente y demanda muchos esfuerzos para evitar su prevención.

A continuación se darán las explicaciones en cada uno de los posibles desgastes que puede presentar ese conjunto:

4.7.1.1 Desgaste adhesivo. El desgaste más influyente dentro de este mecanismo es el desgaste adhesivo, donde el lubricante tendrá puntos muertos que atender a bajas velocidades y a altas temperaturas (anillos - camisa), lo cual genera que la película hidrodinámica que por condición de operación es llevada a la lubricación por película limite. Cuando la película limite es muy delgada entre el sistema tribológico, permite el contacto entre piezas, permitiendo desprender partículas mínimas (menores a 30 μm) [libro guía], los cuales son transportados por medio de los gases de escape o en su defecto por los gases de admisión, hacia el cárter (contaminación del aceite) o a la misma pared de la camisa. Este tipo de desgaste será más pronunciado en eventos de alta potencia, ya que la temperatura y presión de operación se elevará generando así un desgaste

⁵¹ TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté, 2005.

premature. Es por esto que se deben cumplir las operaciones dadas por el fabricante, pues las operaciones serán catalogadas como un abuso o negligencia del operador. Una condición que lleva a desgaste adhesivo es: el arranque en frío, pues este acelera su desgaste, ya que la lubricación no llega a ser suficientemente rápida para llegar a las cavidades de contacto, lo cual dejara el evento de contacto libre (directo) entre piezas y permitiría la rápida dilución de combustible en el aceite.

4.7.1.2 Desgaste corrosivo. Este desgaste está determinado por el combustible en primera instancia, dado el contacto permanente que este tiene cuando el motor es puesto en funcionamiento. El combustible por tener cierto porcentaje de azufre proveniente de su tratado en la destilación del petróleo, este en contacto con vapores de agua y el resultado de la combustión o del aire, puede darse la formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en cantidades pequeñas (oxidación catalizado por la temperatura), que en contacto con el aceite puede llevar a la degradación acelerada del aceite (reducción del TBN) y consecuente daño a las piezas que se estén lubricando con cada una de ellas. Como se mencionó en el anterior tipo de desgaste, en el arranque del motor en frío permite que también sea atacado por los agentes de corrosión en el aceite, pues al no haber lubricación, las camisas, las faldas de los pistones y los anillos serán atacados de forma directa. Una solución aparte del mejoramiento de recubrimiento de las piezas de este mecanismo, es permitir que la lubricación llegue hasta el punto crítico del mecanismo y proceda a la aplicación de sus funciones.

Para evitar la formación de ácido sulfúrico, los fabricantes de aceites, dentro de su paquete de aditivos permiten la inclusión de carbonato de calcio ($CaCO_3$), el cual hace que el ácido o los productos de esa mezcla queden alojados en las camisas o se logren desarrollar como ácido potencialmente nocivos.

4.7.1.3 Desgaste abrasivo. Este tipo de desgaste está definido por las partículas ajenas al motor, es decir contaminaciones de provenientes del espacio atmosférico, es por esto que la filtración de partículas provenientes del aire es una de las mejores prevenciones que se hace para este tipo de abrasión, no obstante los contaminantes pueden ingresar por otras cavidades no solo de aire, sino también por el aceite lubricante (proceso de combustión, hollín, refrigerante, entre otros), eso da a entender de la razón de la instalación de los filtros de aceite ubicados en la línea del sistema de lubricación. El sílice (SiO_2) proveniente del polvo atmosférico es uno de los contaminantes potencialmente nocivos cuando este es detectado en el motor, pues su dureza que de por sí está por encima de la dureza del acero y del cromo respectivamente, puede contribuir al rayado de los componentes metálicos y llevando a cabo el desgaste. Sus granos pueden ir desde menos de una micra hasta las 50 micras en una carretera asfaltada en un 70% de polvo atmosférico, el resto corresponde a óxidos metálicos (CaO , MgO , Fe_2O_3 y Al_2O_3) [libro guía]. La mejor alternativa para evitar un desgaste de esta naturaleza, es optando por la filtración del aire atmosférico y la revisión de los

ductos de toma de aire, pues no hay aditivos en el aceite que pueda alcanzar a lidiar con los daños que pueda lograr este contaminante.

4.7.2 Desgaste en cojinetes⁵². Estas partes importantes de los árboles encontrados dentro del motor por su versatilidad de protegerlos y mantenerlos lubricados para su movimiento, su película de lubricación es demasiado pequeña (4 y 5 μm), la cual es una pieza que probablemente esté sometida a diferentes tipos de desgaste, se explica a continuación:

4.7.2.1 Desgaste adhesivo. Este tipo de desgaste va de acuerdo a la operación de los árboles donde están involucrado los cojinetes, esto hace que la película limite que mantiene los cojinetes se rompa y genere el aumento de la temperatura, dando por sí, los eventos de fricción del sistema tribológico. Las condiciones de operación tales como el aumento de carga son nocivos para la película de lubricación, ya que la película por ser delgada puede ocasionar elevación de la fricción y así aumentar la temperatura del sistema dejando condiciones favorables para la conducción eléctrica dentro del mecanismo.

Para evitar el desgaste de estos cojinetes los fabricantes de motores han optado por la utilización de aleaciones de aluminio – cobre, plomo – cobre y aluminio – estaño este con el objetivo de aprovechar las características de los materiales para así evitar daños por fricción pura.

4.7.2.2 Desgaste corrosivo. En cojinetes de plomo – cobre (comercialmente más usado), el desgaste corrosivo se debe a la degradación normal del aceite, pues este aceite al entrar en contacto con el cojinete, permite que este reaccione con el plomo del cojinete a altas temperaturas y produzca ácidos orgánicos y agua, que en mayor de las ocasiones son neutralizados por el paquete de TBN propuestos en el paquete de aditivos en el aceite.

4.7.2.3 Desgaste abrasivo. En cuanto al desgaste abrasivo, este se da por partículas encontradas dentro de la película lubricante del aceite, los cuales pueden ser contaminantes o metales usados en los aditivos del aceite para evitar la fricción. El daño ocasionado por las partículas es proporcional a su tamaño y dureza, pues estos dañan los cojinetes mediante la lubricación hidrodinámica normal que pasa a través del sistema mecánico.

4.7.3 Desgaste en el conjunto leva – empujador del balancín. Este mecanismo es el encargado de tener control sobre la apertura de las válvulas de escape y admisión y en algunos motores como el: Cummins ISX®, los inyectores son accionados por medio de un eje de levas mecánicamente. Es por esto que en algunas ocasiones la lubricación dentro de este mecanismo puede catalogarse

⁵² Ibíd.

como crítico, pues este (estos) ejes de leva(s), son movidos de acuerdo a la relación proveniente del cigüeñal, en otras palabras, si el cigüeñal tiene una velocidad alta, los ejes de levas también la tendrán, puesto que estos deben estar calibrados para el proceso de admisión y escape de los gases. Dentro del grupo de lubricación crítica, después del grupo de pistones y camisas del bloque, este conjunto es catalogado como crítico, debido a que las velocidades y presiones son grandes.

Las condiciones para la determinación de una clase de desgaste puede determinarse por medio de varios escenarios, el primero puede darse por una insuficiencia en el sistema de lubricación, lo cual deja desprotegido este mecanismo, y contribuiría al desgaste adhesivo, ya que al quedarse el mecanismo sin lubricación o lubricación límite, permitiría que el mecanismo tuviese contacto y finalmente a la fricción. En otra condición típica del motor se encuentra el desgaste por fatiga a bajas velocidades, que corresponde a los esfuerzos generados por el accionamiento de las rodajas del empujador al vencer la inercia de este, puede fatigar el material llevándolo a su desgaste, no obstante la película de aceite puede ayudar a la amortiguación de estos esfuerzos, una de las funciones del aceite para este mecanismo. Y otra condición pero no menos importante, es la que es llevada por los contaminantes del aceite, los cuales pueden actuar como agentes corrosivos o abrasivos y por ende dañar seriamente la superficie de esta clase de materiales. Para evitar que los materiales usados caigan en el desgaste por los métodos mencionados anteriormente, las empresas de manufactura de estos elementos a través de investigaciones de metalurgia y ensayo de materiales, uno de estas investigaciones es el uso de acero en vez de uso de fundiciones debido a su resistencia contra el desgaste prematuro (libro guía), otro es el uso del sistema common rail, usado en el sistema de inyección para evitar el uso de los ejes de levas para inyectoros (usados en motores electrónicos). Cabe mencionar que el desgaste también está influido de acuerdo al nivel de contaminación y degradación del aceite.

4.7.4 Desgaste en el conjunto balancín – válvulas – asiento de válvulas. En este tipo de conjunto la lubricación varía de acuerdo al accionamiento de las válvulas por medio de los balancines, por ende el desgaste que tiene lugar aquí no es tan nocivo como el de las camisas o de los balancines, pero esta condición puede acarrear en funcionamiento irregular de esta parte de la culata. El desgaste presentado en este mecanismo puede darse por condiciones normales de operación, puesto que las válvulas al encontrarse en altas temperaturas (combustión), el material tanto de los asientos como de las válvulas se dilatan y permiten que una pequeña cavidad de lubricación pase por este sistema, ocasionando que en pequeños lapsos de tiempo las piezas mecánicas tengan contacto y por ende fricción que terminara en desgaste adhesivo. No obstante este mecanismo puede tener desgastes anormales que no son causados por el movimiento del mismo, sino por causas externas, como por ejemplo el desgaste abrasivo - corrosivo provenientes de contaminantes provenientes del aceite y el

desgaste adhesivo – abrasivo por insuficiencias en el circuito de lubricación, permitiendo el contacto entre ellos provocando el termino conocido como pitting, que es picaduras por contacto. Para evitar que este tipo de eventualidades ocurran la tecnología metalúrgica ha permitido revestimientos y utilización de productos para evitar el rápido desgaste; podría catalogarse como uno de estos avances el uso de revestimientos de cromo en aceros austeníticos, para los vástagos de las válvulas y en los pistoncillos de los balancines; en las guías bronce fosforado y en los asientos de válvula revestimientos de cromo molibdeno y níquel⁵³. Las consecuencias dadas por cualquier tipo de desgastes mencionados pueden llevar a alto consumo de aceite debido a que sus tolerancias han sido modificadas.

⁵³ FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

5. METODOLOGIA DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto enfocado en la generación plan de mantenimiento para motores Cummins ISX®, se propone mostrar la estructuración de una serie de etapas, en los cuales tiene la finalidad de complementarse entre ellas y de esta forma contribuir en la evolución del proyecto, a continuación se presentan:

5.1 INDAGACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL MOTOR, PROPIEDADES DEL ACEITE LUBRICANTE Y LA CRITICIDAD DE LOS VALORES DE CONTAMINACIÓN DEL ACEITE LUBRICANTE DENTRO DEL MOTOR CUMMINS ISX®

Mediante la documentación por medio de fichas técnicas, manuales de servicio y algunos boletines de servicio descrito por el fabricante de motores Cummins ISX® y de los fabricantes de aceites lubricantes, se recopilan los datos necesarios para dar el punto de partida a la formulación del protocolo del plan de mantenimiento basado en la condición del aceite lubricante.

5.2 DOCUMENTACIÓN DE LOS CONTAMINANTES PROVENIENTES DE LOS MOTORES HACIA EL ACEITE LUBRICANTE.

De acuerdo a la información obtenida en el anterior ítem de los fabricantes de los lubricantes, se procede a revisar las fuentes potenciales de los contaminantes hacia el motor, que pueden afectar el normal desempeño del motor Cummins ISX®, de acuerdo a la documentación adquirida de los agentes potenciales nocivos para el motor.

5.3 INTERPRETACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DADAS EN EL INFORME DE ANÁLISIS DE ACEITE Y REVISIÓN DE LOS LÍMITES CONDENATORIOS

En esta etapa se adquiere la información correspondiente de las muestras de aceites de los años 2012 y 2013 en flotas que integren dentro de sus productos consumibles, aceite para motores diesel (15W40, CJ4 y el CI4). Esto se realiza teniendo en cuenta el procedimiento de toma de muestras de aceite y de igual forma a su interpretación. Luego, estos informes se compararán de acuerdo con los límites condenatorios⁵⁴, que tiene el fabricante del motor, en este caso Cummins® con este motor en particular.

⁵⁴ Los límites condenatorios hacen mención al límite de una cierta cantidad de partículas contaminantes encontradas dentro del aceite lubricante proporcionada por el fabricante del motor que denota el nivel de desgaste dentro del motor.

5.4 FILTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS

De acuerdo con la base de datos obtenida en el periodo comprendido entre 2012 a 2013 se tomó la base poblacional del proyecto a todos los vehículos que tuviesen motor Cummins ISX®, por lo cual estos fueron ordenados de acuerdo al primer criterio correspondiente a la valoración de cada una de las muestras obtenidas, de acuerdo al nivel de cumplimiento con los límites condenatorios y a las ciudades en las cuales se les tomo la muestra.

5.5 ESTUDIOS ESTADÍSTICOS DE LOS CASOS

Una vez filtrados los datos por ciudad y por categoría de alarma, se procede a la revisión por casos encontrados de variables por fuera de especificaciones evaluados anteriormente, de acuerdo a los límites condenatorios del aceite en los resultados de las muestras. Se tomaron los casos de las muestras como un dato singular, ya que las muestras pueden dar lugar a un gran sinnúmero de combinaciones de variables, por lo que podría ser contraproducente a la solución que se quiere dar a conocer. Una vez identificadas las variables, estas se filtran y se organizan en cada ciudad y de acuerdo a los casos presentados por cada ciudad se realiza un Pareto⁵⁵, con la cual se establecen prioridades en cuanto a análisis de las variables que llegasen a afectar determinada ciudad.

5.6 ORGANIZACIÓN DE DATOS Y TOMA DE DECISIONES

De acuerdo a los datos obtenidos en el punto anterior, se determinaron las variables a intervenir mediante protocolos de diagnóstico e intervención; a partir de esto se procedió a la revisión bibliográfica de los manuales de servicio, libros, características del motor Cummins ISX® informes técnicos, entre otros; donde da lugar a la estructuración de los protocolos de mantenimiento, de acuerdo a las sustancias encontradas en el análisis (metales de desgaste, contaminantes externos, productos de mala combustión, etc.). Las tareas que serán realizadas por los técnicos serán consignadas en un documento considerando los procedimientos exigidos para la intervención del equipo estipulado por Cummins Inc. (fabrica). Adicionalmente se hizo un manejo estadístico de los casos críticos, en los cuales tenían las variables por fuera de especificación, para lo cual se realizaron recomendaciones del empleo de los protocolos hechos para cada una de las situaciones.

Nota: Cabe aclarar que para el tratamiento estadístico del proyecto se darán las siguientes condiciones para su posterior análisis:

⁵⁵ CÁMARA AR4GENTINA DE LUBRICANTES. Clasificación de los lubricantes. Buenos Aires, Argentina. 2014. Disponible en: www.cal.org.ar/clasificación.pdf.

- Los equipos involucrados en este proyecto deben hacer el cambio de aceite dentro de las instalaciones de Cummins de los Andes S.A, mínimo tres veces para tomarse en cuenta dentro del estudio.
- La muestra poblacional corresponde a siete mil muestras de aceite de los equipos mencionados anteriormente, donde corresponderán a un aproximado de dos mil muestras discriminando por equipos de ciudades.
- Los casos serán tomados a partir de los resultados de las muestras aquellas que demuestren estar por fuera de especificaciones (limite condenatorio).

6. REGISTRO DE LA INFORMACION

El registro de los datos está basado en la información proveniente de resultados de analizar las muestras de aceite de los vehículos, que contengan motores Cummins ISX® y los cuales han hecho cambios de aceite en las instalaciones de 'Organización Equitel – La Flota durante el año 2013 en las diferentes ciudades (Bogotá, Medellín, Ibagué, Villavicencio y Barranquilla). A continuación se encuentra la ficha técnica de la estadística realizada:

Tabla 7. Ficha técnica del estudio probabilístico

Universo	13901 Motores Cummins ISX operativos en Colombia
Muestra	6489 Vehículos equipados con motor Cummins ISX que hicieron cambios de aceite en la 'Organización Equitel – La Flota' en el año 2013
Periodo de recolección	De Enero 1 hasta Diciembre 31
Tipo de investigación	Muestral
Diseño de muestreo	No probabilístico por cuotas (ciudades)
Margen de error	No aplica, ya que es el diseño de muestreo no es probabilístico

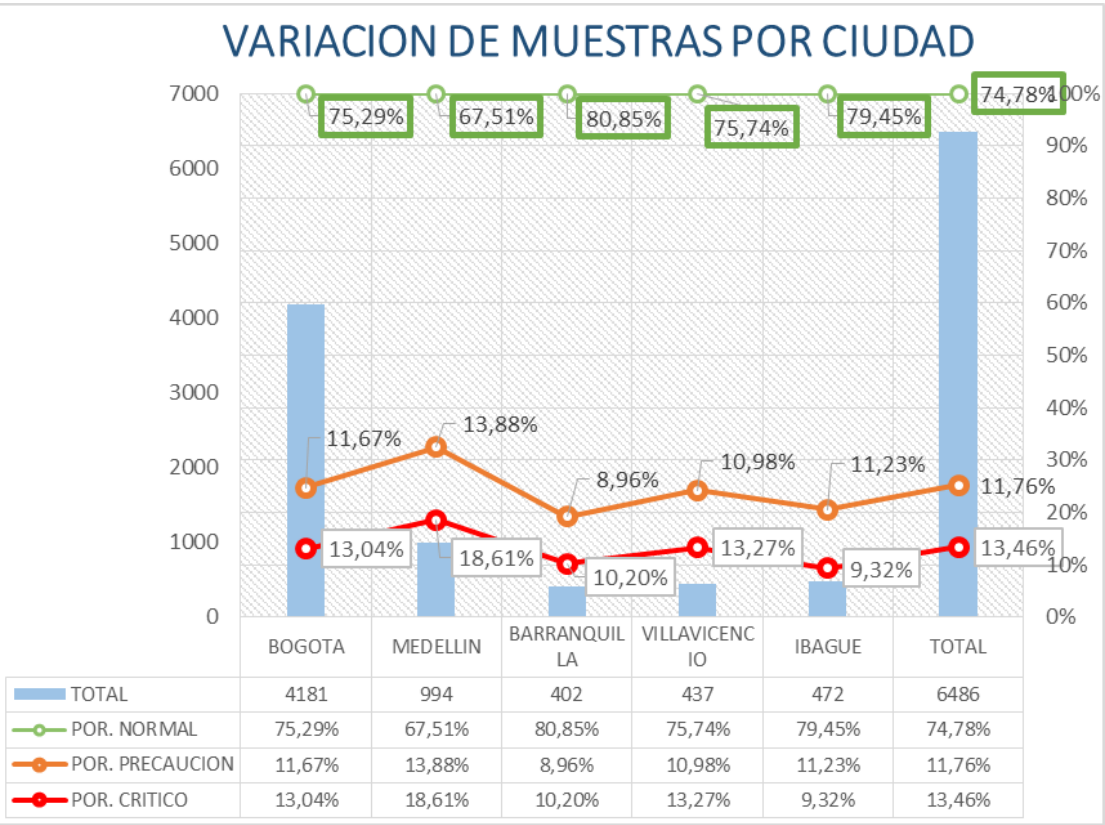
La “Organización Equitel – La Flota” de donde son provenientes los datos para su análisis, es una empresa que pertenece al grupo de empresas que conforma la ‘Organización Equitel’, esta empresa es la encargada del mantenimiento de los componentes que tienen en contacto los fluidos, adicionalmente se encarga de los análisis de fluidos que recorren el motor y se comisiona del mantenimiento de las partes que tienen contacto el vehículo para su desplazamiento (frenos, llantas, etc.). Esta empresa tiene como objetivo el ahorro programado que puede tener el cliente sobre el recorrido que el vehículo del cliente pueda llegar a tener y de esta manera que el mismo sienta respaldo de los integrantes de la misma.

6.1 FILTRACIÓN DE DATOS

A partir de la base de datos de cambio de aceite por parte de los vehículos Cummins ISX® en la “Organización Equitel – La Flota” se procedió a la filtración de los datos a través del tipo de alarma, por lo cual se ha catalogado la muestra

(Normal, precaución y crítico) y el comportamiento que se encontraba en cada uno de las ciudades donde se realizaba el cambio. En la gráfica 1 se encuentra la el desarrollo de la primera filtración de los datos:

Gráfica 1. Tendencia de las muestras por tipo de alarma con base en la cantidad de muestras analizadas.



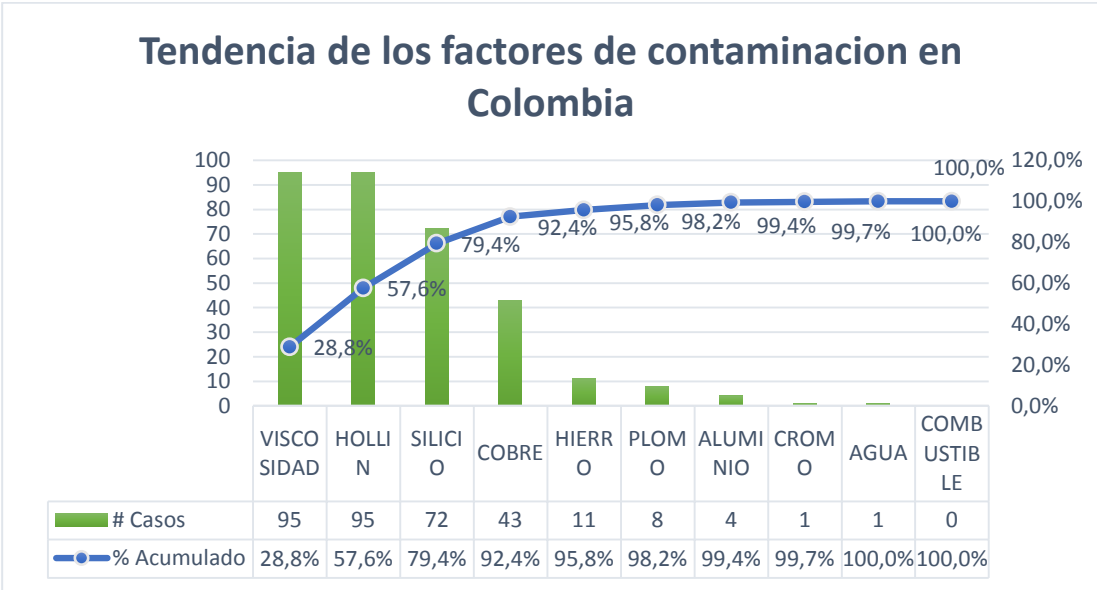
En la anterior grafica se muestra que la cantidad de análisis de muestras con el criterio “Crítico” corresponde a 873, es decir al 13,45% de la muestra poblacional.

La condición “Crítico” en el tipo de alarma es usado para dar una alerta imperativa, de acuerdo a alguna anomalía presentada aceite lubricante causada por niveles altos de metales de desgaste o contaminaciones que son encontrados por fuera del rango, de acuerdo a los limites condenatorios del aceite usados (Tabla 5, capítulo 5). La condición “Preventivo” es usada cuando los resultados del análisis de aceite están cercanos a los límites fijados como parámetro en los límites condenatorios de aceite y es necesario hacer un seguimiento hacia futuro del equipo. Y finalmente la condición “Normal” se cataloga a los resultados del análisis de aceite, cuyo resultado esté alejado prudencialmente de los límites condenatorios.

Después de esta primera fase de filtración de datos se cataloga como importante usar la cantidad de 873 resultados de análisis que coinciden bajo la condición de “Crítico”, pues es necesario realizar operación contingentes para los casos que lleguen bajo estas condiciones. Pero cabe aclarar que a pesar de que las muestras hayan sido 873, las condiciones por las que se haya declarado la muestra como “Crítico” pueden ser más de una posibilidad. A estas posibilidades se denotarán como casos, cada caso se denotará como un valor por fuera de especificaciones, teniendo en cuenta la tabla de límites condenatorios.

La siguiente gráfica representa la cantidad de casos registrados a nivel nacional, que se encuentran por fuera de especificaciones en cada uno de los contaminantes o metales de desgaste encontrados:

Gráfica 2. Tendencia de los factores de contaminación a nivel nacional.



A pesar de que en la anterior gráfica se registran los contaminantes a nivel nacional y la incidencia que tuvieron dentro de las muestras catalogado como “Crítico”, estos factores deben evaluarse de acuerdo a la afectación que estos tienen sobre las ciudades, ya que el combustible usado, las condiciones geográficas y topográficas que rodean al punto donde los análisis son tomados, determinan las condiciones de criticidad que tengan los motores al llegar a estos puntos de cambio. Por lo tanto, es necesario evaluar cada ciudad por contaminantes y tendencias que tengan cada uno de estos, a partir de la condición de operación del motor.

La tabla de casos que se muestra en la Tabla 8. Muestran la cantidad de casos que son encontrada dentro de las muestras consideradas críticas, esta tabla se encuentra organizada por ciudad, ya que el comportamiento puede variar los

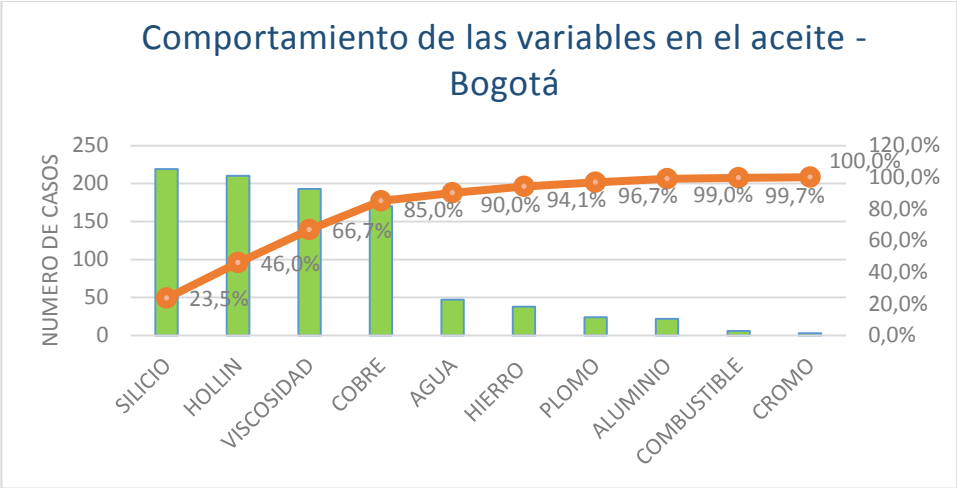
resultados por ciudad; esto quiere decir que los resultados varían debido a que los caminos que rodean las ciudades donde el vehículo cambia el aceite pueden afectar el resultado de las muestras.

Tabla 8. Filtración de datos de los resultados “Crítico” en función de los casos.

CASOS CRITICOS	BOGOTA	MEDELLIN	BARRANQUILLA	VILLAVICENCIO	IBAGUE
<i>HIERRO</i>	38	10	5	6	5
<i>CROMO</i>	3	0	0	0	0
<i>COBRE</i>	170	30	6	9	5
<i>SILICIO</i>	219	71	25	39	25
<i>ALUMINIO</i>	22	4	2	3	1
<i>PLOMO</i>	24	18	0	1	3
<i>HOLLIN</i>	210	71	9	13	14
<i>AGUA</i>	47	23	3	6	2
<i>COMBUSTIBLE</i>	6	0	1	0	1
<i>VISCOSIDAD</i>	193	87	12	15	16

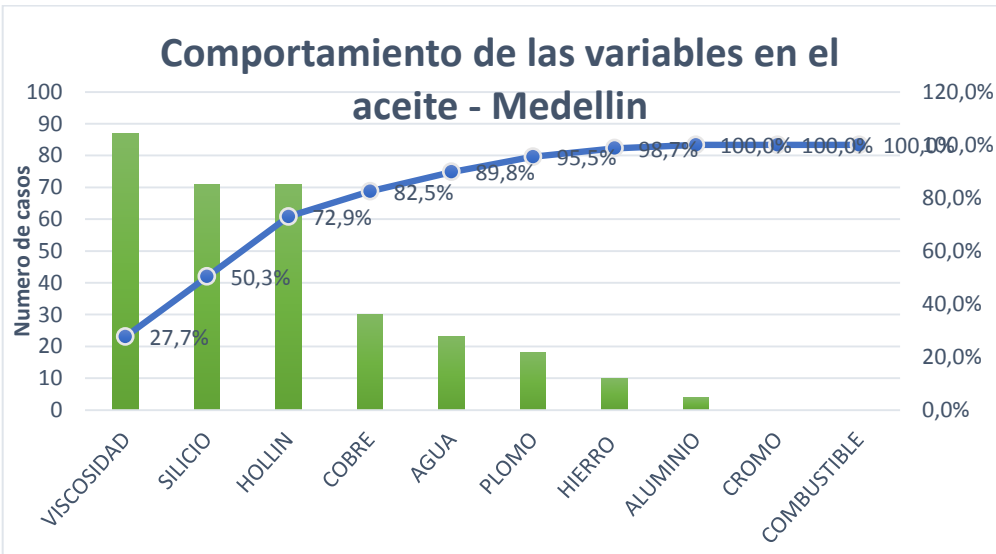
De la tabla anterior se puede inferir que el comportamiento del aceite puede tener variaciones de acuerdo a la calidad del combustible (Ver Anexo 2) y a la topografía de las carreteras que conducen hacia las instalaciones de “La Organización Equitel – La Flota” desde distintos orígenes en el país, por lo cual es necesario determinar los factores más importantes que puedan generar contaminación en el aceite. Para esto se evaluará los factores de mayor a menor concurrencia en las ciudades para definir la causa raíz de estas anomalías en los análisis de aceite a través de la gráfica llamada “Pareto”, la cual dará a conocer el inicio del desarrollo del plan de mantenimiento. En la gráfica 3 se muestra el comportamiento de los casos encontrados en los resultados de los casos en las muestras de aceite.

Gráfica 3. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Bogotá.



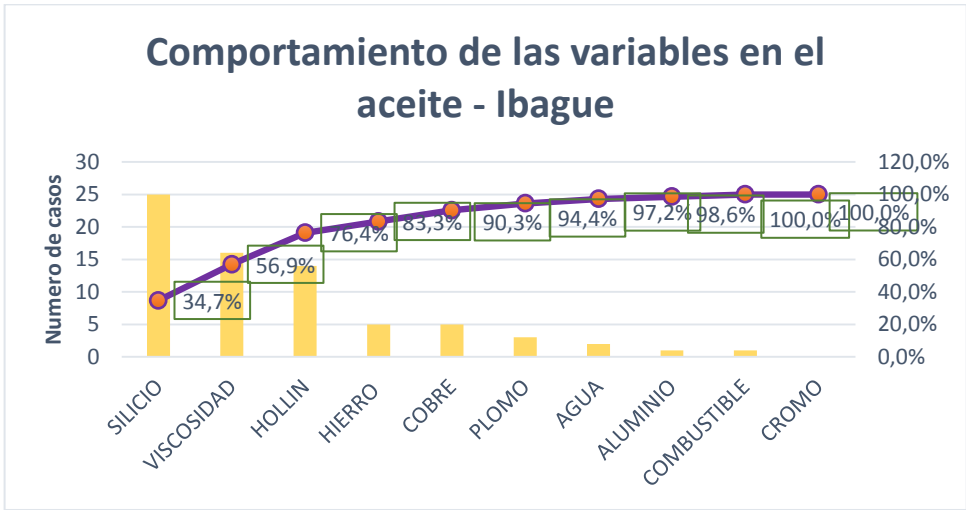
De la anterior gráfica se puede inferir que los factores que amenazan la contaminación del aceite son el silicio, el hollín, la viscosidad (alta o baja) y el cobre, por lo cual para la ciudad de Bogotá, el plan de mantenimiento estará enfocado en la disminución de estos casos críticos. La gráfica 4 está orientada a los casos que se encontraron en la ciudad de Medellín.

Gráfica 4. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Medellín.



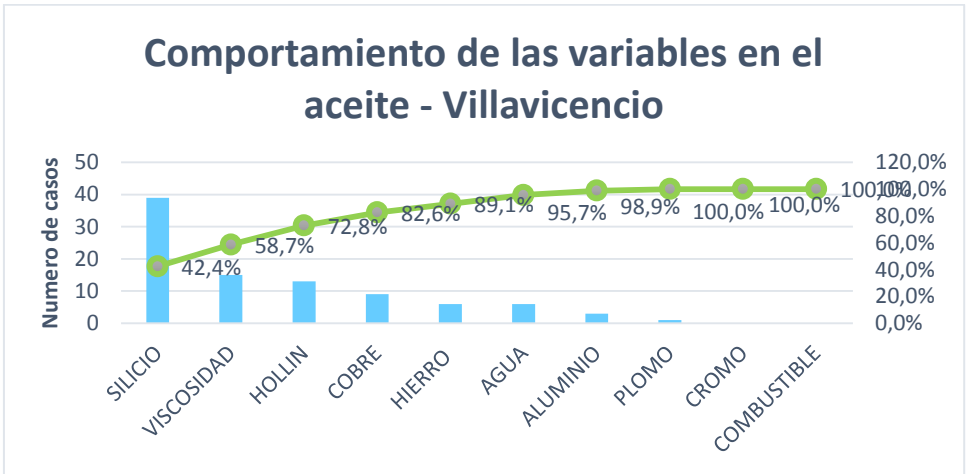
De esta gráfica se evidencia el crecimiento de casos, de acuerdo a los factores de: viscosidad (alta o baja), silicio y hollín. En la gráfica 5 se evidencia la tendencia de estos factores en la ciudad de Ibagué.

Gráfica 5. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Ibagué.



En Ibagué el resultado de la tendencia de contaminantes en el aceite se ve marcada por el silicio consecutivamente por la viscosidad (alta o baja), lo cual es necesario para el plan de acción que se debe tomar para esta ciudad. Para determinar la tendencia de los casos en la ciudad de Villavicencio se encuentra la gráfica 6 que se muestra a continuación:

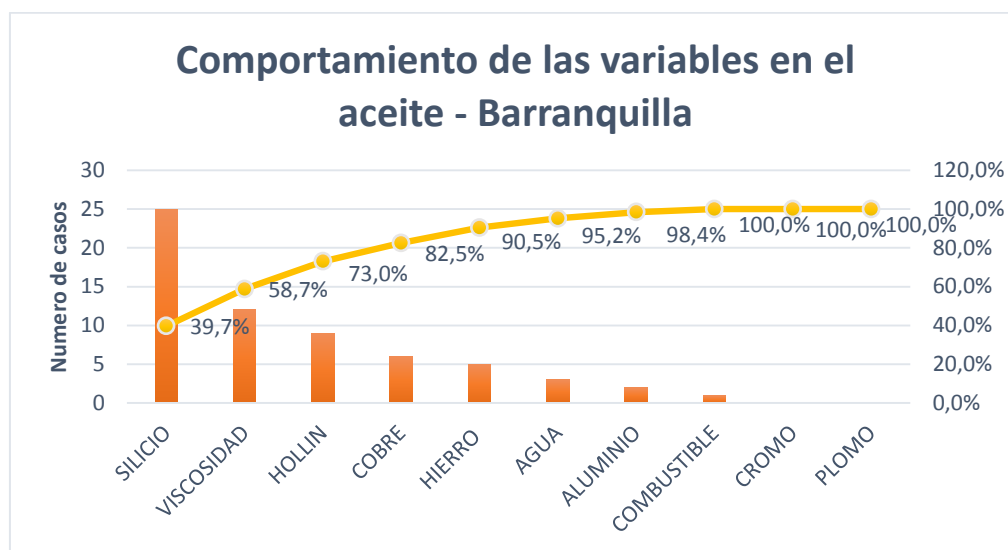
Gráfica 6. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Villavicencio.



En la anterior gráfica se nota la acentuación del silicio como el contaminante más concurrente en la ciudad de Villavicencio, la cual determina los planes de acción que deben tomarse para mitigar este componente.

Y finalmente se muestran los resultados para la ciudad de Barranquilla los cuales se pueden observar en la gráfica 7.

Gráfica 7. Comportamiento de los factores de contaminación en el aceite para la ciudad de Barranquilla.



De acuerdo con la anterior gráfica el silicio es uno de las causas raíces de la contaminación del aceite por ende se tomarán acciones preventivas para moderar esta cifras alarmantes.

De acuerdo a los factores que contribuyen a la contaminación del aceite en las diferentes ciudades del país, es necesario crear planes de mantenimiento para los siguientes agentes registrados como “Crítico” en los resultados de análisis de aceite:

- Viscosidad (Alta o baja)
- Hollín
- Silicio
- Cobre.

7. PROTOCOLOS

Teniendo en cuenta los factores que son nocivos para el motor y que están contenidos en el aceite (mostrados en el final del punto anterior), se hace necesario la implementación de cazafallas con el propósito de prevenir posibles inconvenientes causados por la alteración de la composición del aceite. Estos cazafallas se basan de acuerdo a los reportes generados en las sedes de la 'Organización Equitel – La flota' y al panorama de incidencias causados por agentes contaminantes. Los cazafallas son herramientas de decisión, capaces de guiar técnico en la búsqueda de la causa o raíz de la falla y realizar las correcciones según el caso; cabe aclarar que estas estructuras se organizaron de acuerdo a los posibles orígenes de contaminantes y en la ruta de inspección de las partes contaminadas mediante los procedimientos descritos para este motor. Estos son organizados por numeraciones los cuales hace referencia al procedimiento a realizar, y pueden ser consultados en el manual de servicio para este motor (Cummins ISX[®]), cuya disponibilidad se encuentra exclusivamente para los distribuidores autorizados de la marca Cummins[®].

Adicionalmente de acuerdo a los datos suministrados en la revisión de las muestras de aceite por ciudades y sus intervalos de kilometrajes en el cambio de aceite, se revisaron la frecuencia de las incidencias de contaminantes en el aceite que son catalogadas como críticas. De la cual se hace necesaria la sugerencia de diagnóstico preventivo, esta sugerencia se hace de acuerdo a los contaminantes presentados en los resultados de los análisis del aceite. Cabe denotar que los intervalos usados son entre 0 – 20.000 Kilómetros de diferencia entre cambios de aceite, en dado caso que el kilometraje supere el límite de 20.000 Kilómetros, se debe realizar una contra-muestra (esta se calcula de la siguiente forma: $(\text{Km actual} - \text{Km anterior})/2$), luego se debe hacer el posterior análisis y recomendaciones dado el caso.

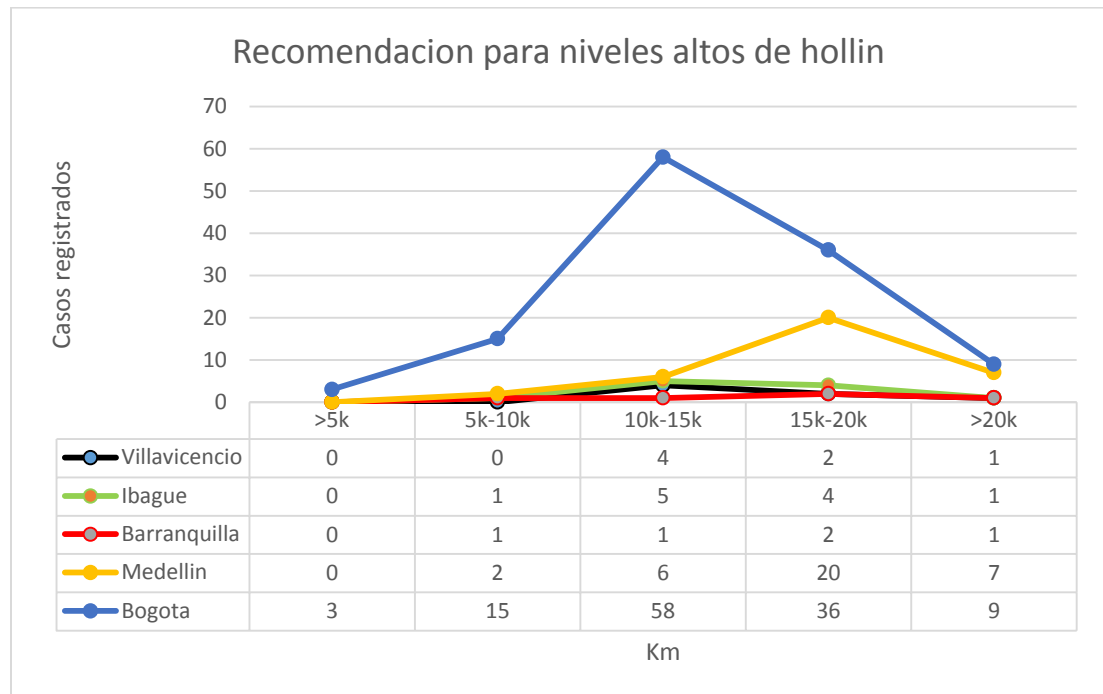
Cabe resaltar que para un mayor control sobre los procedimientos realizados en los vehículos como parte del seguimiento a los clientes, toda la información relacionada con el cambio de aceite (tipo de aceite, marca, filtros, etc.), protocolo (o cazafallas) usado y reparaciones efectuadas serán registradas en un formato electrónico utilizado dentro de la "Organización Equitel", esto para mantener la información disponible a nivel nacional en las sedes donde el cliente requiera un servicio.

7.1 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – HOLLÍN (Anexo 1)

7.1.1 Sugerencias de uso del cazafallas. De acuerdo a las incidencias reportadas en la base de datos utilizada para este estudio, es considerado realizar una revisión de tipo preventivo cuando los resultados del análisis de aceite estén cercano o exceda el valor de 2.5%, conforme a lo expresado en la Tabla 5, que detalla los límites condenatorios para la alteración del aceite. A continuación se

muestra en la gráfica (Ver gráfica 8), donde se observa la tendencia de las novedades de acuerdo al kilometraje de los equipos registrada en la base de datos usada.

Gráfica 8. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alto índice de hollín en el aceite.



Teniendo en cuenta el kilometraje de cambio de aceite recomendados por el uso y la operación del motor a través de la “Organización Equitel – La Flota” y el manual de uso operación del motor Cummins ISX[®], se recomienda en las ciudades de Villavicencio, Ibagué y Bogotá, el uso del cazafallas como medida preventiva entre los 10.000 – 15.000 Kilómetros y en las ciudades de Medellín y Barranquilla entre el intervalo de 15.000 – 20.000 Kilómetros; con el fin de prolongar la vida útil al aceite.

7.1.2 Cazafallas por hollín en el aceite. Esta estructura de decisión está diseñada para los equipos reportados con parámetro de contaminación por hollín, fuera de especificaciones determinadas por el criterio del estudio de resultados de análisis de aceite. A continuación se muestra el diagrama a utilizar y las instrucciones correspondientes que se deben tomar para cada uno de los casos, dichas instrucciones deben ser acompañadas con el manual de servicio para motores Cummins ISX[®].

Diagrama 1. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por hollín.

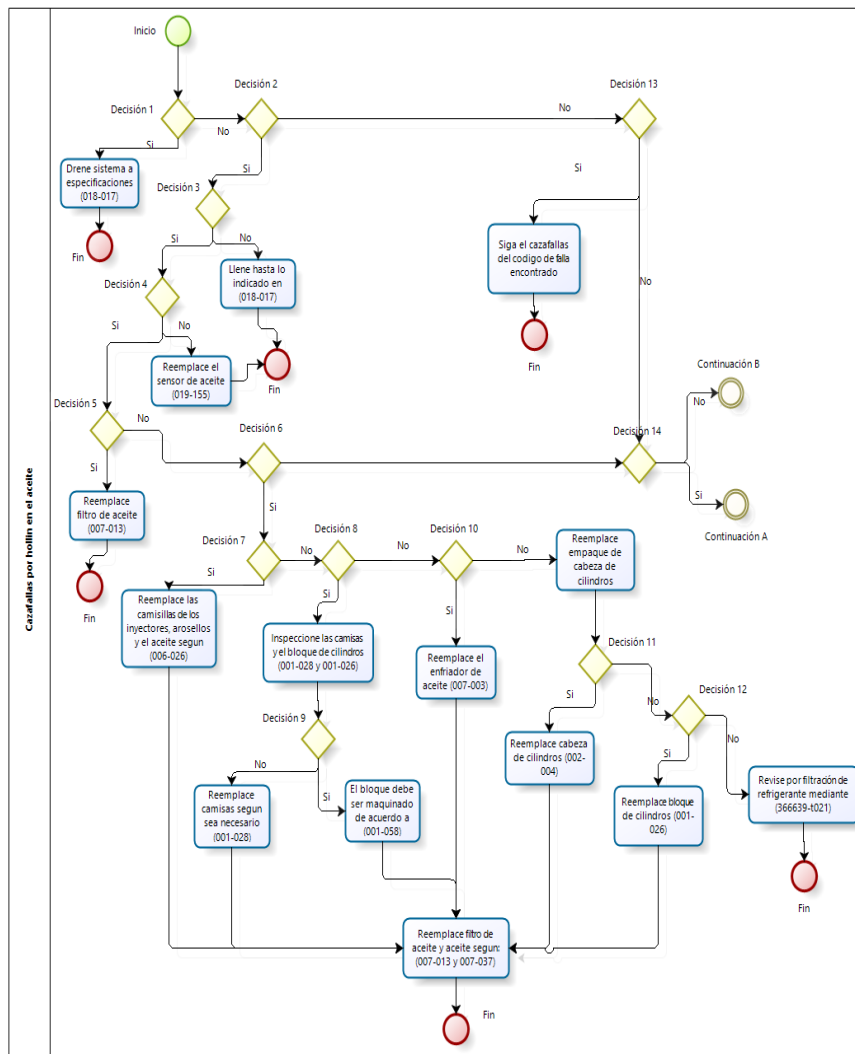
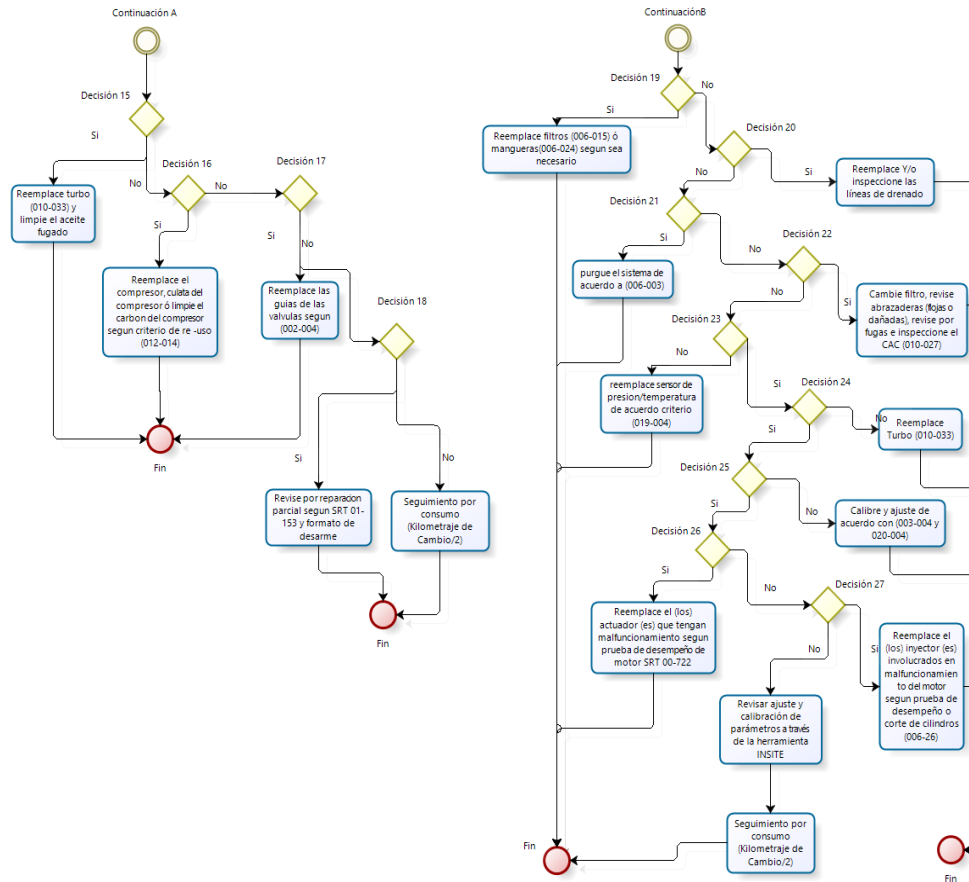


Diagrama 2. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por hollín. (Continuación).



Pasos a seguir de izquierda a derecha y arriba hacia abajo:

 Inicio

 **Decisión 1:** ¿El nivel de aceite esta por fuera de especificaciones? (Max 12 galones para la aplicación automotriz, revisar procedimiento 018-017).

Flujos

Si:

☐ Drene sistema a especificaciones (018-017)



No:

 **Decisión 2:** A través de la inspección con la herramienta electrónica INSITE, ¿hay códigos de protección por baja presión de aceite?

Flujos

Si:

 **Decisión 3:** ¿El nivel de aceite se encuentra en especificaciones según (018-017)?

Flujos

No:

☐ Llene sistema según lo indicado en: (018-017)



Si:

 **Decisión 4:** Mediante un manómetro manual y la herramienta INSITE, la presión de aceite; ¿La lectura es la misma?

Flujos

No:

☐ Reemplace el sensor de aceite (019-155)



Si:

 **Decisión 5:** Inspeccione el filtro de aceite a través del procedimiento (007-013), ¿Se encontró la caída de presión superior a 25 Psi?

Flujos

Si:

☐ Reemplace filtro de aceite (007-013)

 Fin

No:

 **Decisión 6:** ¿Hay rastros de agua en el aceite?

Flujos

Si:

 **Decisión 7:** ¿Las camisas de los inyectores están fugando refrigerante por los aro – sellos o se ve en el alojamiento de los inyectores de la cabeza de cilindros con rastros de agua? (Referencia procedimiento (006-026))

Flujos

Si

☐ Reemplace las camisas de los inyectores, aro – sellos y el aceite según (006-026)

☐ Reemplace filtro de aceite y aceite según:(007-013 y 007-037)

 Fin.

No:

 **Decisión 8:** Remueva el cárter de aceite según (007-025) y aplique la prueba descrita en el procedimiento (001-027), ¿Alguna fuga de refrigerante fue encontrada?

Flujos

Si:

☐ Inspeccione las camisas y el bloque de cilindros (001-028 y 001-026).

 **Decisión 9:** De acuerdo al procedimiento (001-028), ¿Las camisas fueron encontradas aptas para su re – uso?

Flujos

No:

☐ Reemplace camisas según sea necesario (001-028)

☐ Reemplace filtro de aceite y aceite según:(007-013 y 007-037)

 Fin.

Si:

☐ El bloque debe ser maquinado de acuerdo a (001-058)

☐ Reemplace filtro de aceite y aceite según:(007-013 y 007-037)

 Fin.

No:

 **Decisión 10:** Mediante el procedimiento (007-003) inspeccione el enfriador de aceite, ¿Se encontró alguna novedad?

Flujos

Si:

☐ Reemplace el enfriador de aceite (007-003)

☐ Reemplace filtro de aceite y aceite según:(007-013 y 007-037)

 Fin.

No:

☐ Reemplace empaque de cabeza de cilindros

 **Decisión 11:** Inspeccione por grietas, poros o daños en la cabeza de cilindros de acuerdo con el procedimiento 002-004, ¿se encontraron algún tipo de daños?

Flujos

Si:

☐ Reemplace cabeza de cilindros (002-004)

☐ Reemplace filtro de aceite y aceite según:(007-013 y 007-037)

 Fin.

No:

 **Decisión 12:** Inspeccione por grietas, poros o daños en el bloque de cilindros de acuerdo con el procedimiento 001-026, ¿se encontraron algún tipo de daños?

Flujos

Si:

☐ Reemplace bloque de cilindros (001-026)

☐ Reemplace filtro de aceite y aceite según:(007-013 y 007-037)

 Fin.

No:

☐ Revise por filtración de refrigerante mediante (366639-t021)

 Fin.

 **Decisión 13:** A través de inspección con la herramienta INSITE, ¿Se encontraron códigos de falla?

Flujos

Si:

☐ Siga el cazafallas del código de falla encontrado.

 Fin.

No:

 **Decisión 14:** Inspeccione el nivel de Blow – By en el motor mediante el procedimiento (014-010) y resultado en (018-023), ¿Se encuentra dentro de especificaciones?

 Continuación A

 **Decisión 15:** Inspeccione el turbocargador de acuerdo con el procedimiento (014-010), ¿Se encontró fugas de aceite?

Flujos

Si:

☐ Reemplace turbo (010-033) y limpie el aceite fugado

 Fin.

No:

 **Decisión 16:** Revise el compresor de aire por fugas de aceite (según, 012-030) y/o por carbonamiento (revise: 012-003), ¿Hay algún detalle que detalle a la vista?

Flujos

Si:

☐ Reemplace el compresor, culata del compresor o limpie el carbón del compresor según criterio de re -uso (012-014)

 Fin.

No:

 **Decisión 17:** Revise de acuerdo al procedimiento de las guías de válvula (002-004), si estas son aptas para su re – uso.

Flujos

Si:

☐ Reemplace las guías de las válvulas según (002-004)

 Fin.

No:

 **Decisión 18:** Revise el tren de potencia (Anillos, pistones y camisas) por desgaste de acuerdo a los procedimiento (001-043, 001-047 y 001-020), ¿Estos componentes se encuentran aptos para su re – uso?

Flujos

Si:

☐ Revise por reparación parcial según SRT 01-153 y formato de desarme

 Fin.

No:

☐ Seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.



Continuación B



Decisión 19: Revise la restricción de combustible en la entrada del sistema según procedimiento (006-020), ¿Se encuentra excesiva restricción?

Flujos

Si:

☐ Reemplace filtros (006-015) o mangueras (006-024) según sea necesario.

 Fin.

No:



Decisión 20: ¿Se encuentran restricciones altas en el sistema de drenado de combustible de acuerdo con el procedimiento (006-012)?

Flujos

Si:

☐ Reemplace Y/o inspeccione las líneas de drenado

 Fin.

No:

 **Decisión 21:** ¿Hay aire en el combustible, según (006-003)?

Flujos

Si:

 Purgue el sistema de acuerdo a (006-003)

 Fin

No:

 **Decisión 22:** Revise el sistema de admisión y busque por restricciones mayores a 25 pulgadas de H₂O, de acuerdo al procedimiento (010-031), ¿Fue encontrado una restricción por fuera de especificaciones?

Flujos

Si:

 Cambie filtro, revise abrazaderas (flojas o dañadas), revise por fugas e inspeccione el CAC (010-027)

 Fin.

No:

 **Decisión 23:** Mediante la herramienta INSITE y un manómetro manual revise la presión registrada en el sensor de presión/temperatura, ¿Las medidas son iguales?

Flujos

No:

☐ Reemplace sensor de presión/temperatura de acuerdo criterio (019-004)

 Fin.

Si:

 **Decisión 24:** Revise por malfuncionamiento del turbo de acuerdo a l proceso (010-033), ¿Se encontró juego axial o radial por fuera de especificaciones?

Flujos

No:

☐ Reemplace Turbo (010-033)

 Fin.

Si:

 **Decisión 25:** ¿Los ajustes de freno motor (020-004), válvulas e inyectores (003-004) se encuentran calibradas apropiadamente según especificaciones?

Flujos

No:

☐ Calibre y ajuste de acuerdo con (003-004 y 020-004)

 Fin.

Si:

 **Decisión 26:** Inspeccione mediante la prueba de desempeño de motor, los actuadores de sincronización y dosificación de acuerdo a (019-010) y (019-011). ¿Fue encontrado algún malfuncionamiento de los actuadores?

Flujos

Si:

☐ Reemplace el (los) actuador (es) que tengan malfuncionamiento según prueba de desempeño de motor SRT 00-722.

 Fin.

No:

 **Decisión 27:** Inspeccione mediante la prueba de desempeño de motor, los inyectores de combustible según procedimiento (006-026). ¿Fue encontrado algún malfuncionamiento de los inyectores?

Flujos

Si:

☐ Reemplace el (los) inyector (es) involucrados en malfuncionamiento del motor según prueba de desempeño o corte de cilindros (006-26)

 Fin.

No:

☐ Revisar ajuste y calibración de parámetros a través de la herramienta I

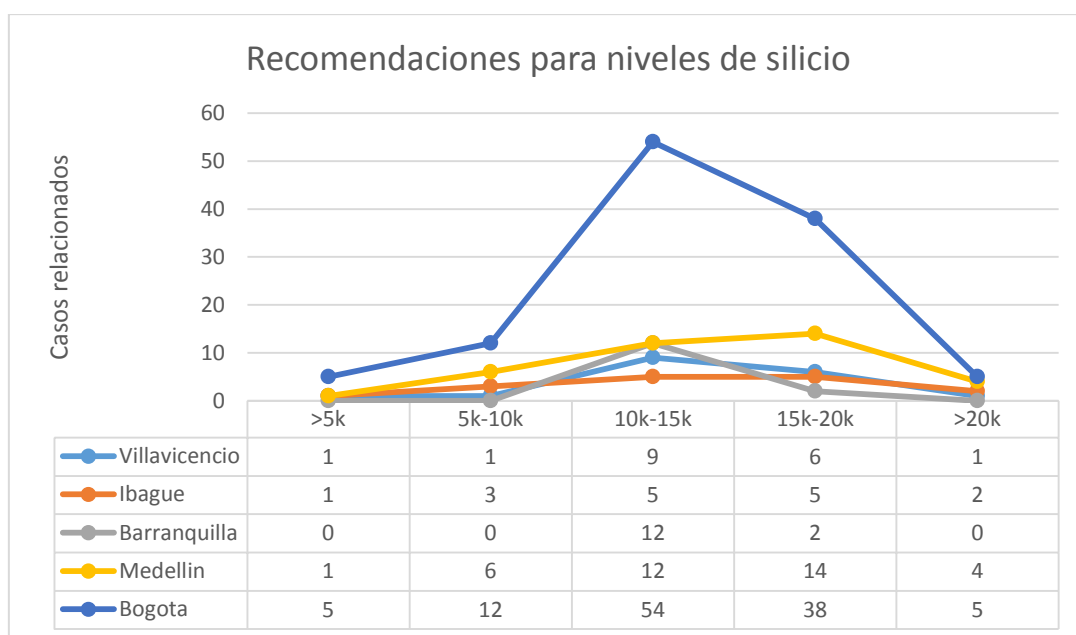
☐ Seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

7.2 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – SILICIO (Anexo1)

7.2.1 Sugerencia de uso del cazafallas. De acuerdo a las incidencias reportadas a través de la base de datos es considerado realizar un estudio del motor cuando las ppm (partes por millón) excedan o se acerquen al límite de valor 15 ppm, considerando la información relacionada en la tabla 5. A continuación se registra la frecuencia de novedades relacionadas en las muestras de aceite y que sugieren la intervención del motor por prevención (Gráfica 9.).

Gráfica 9. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alto índice de silicio en el aceite.



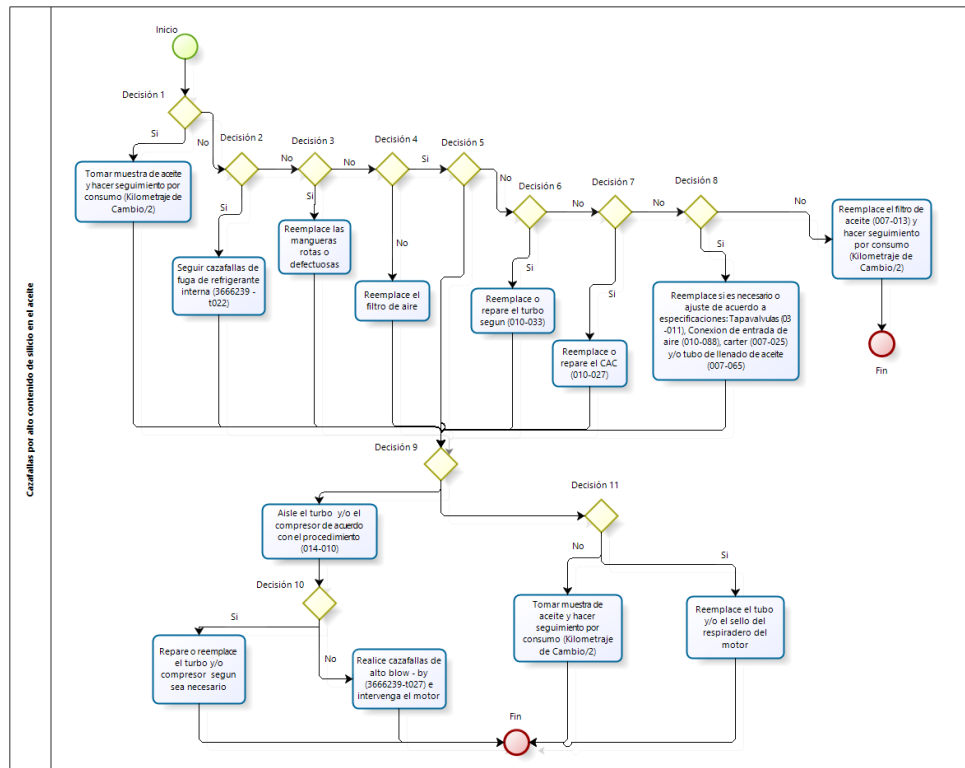
Teniendo en cuenta el kilometraje de cambio de aceite recomendados por el uso y la operación del motor a través de la “Organización Equitel – La Flota” y el manual de uso operación del motor Cummins ISX®, se recomienda en las ciudades de Villavicencio, Ibagué Barranquilla y Bogotá, el uso del cazafallas como medida preventiva entre los 10.000 – 15.000 Kilómetros y en la ciudad de Medellín entre el intervalo de 15.000 – 20.000 Kilómetros; con tal de prolongar la vida útil al aceite.

7.3 CAZAFALLAS POR ALTO CONTENIDO DE SILICIO EN EL ACEITE

Esta estructura de decisión está diseñada para los equipos reportados con el parámetro de contaminación por silicio por fuera de las especificaciones determinadas por el criterio del estudio de resultados de análisis de aceite. A

continuación se muestra el diagrama a utilizar y las instrucciones correspondientes que se deben tomar para cada uno de los casos, dichas instrucciones deben ser acompañadas con el manual de servicio para motores Cummins ISX[®].

Diagrama 3. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por silicio.



Pasos a seguir de izquierda a derecha y arriba hacia abajo:

 Inicio

 **Decisión 1:** ¿El motor ha sido reparado últimamente (En la reparación general o parcial se aplicó productos como silicatos para el sellado)?

Flujos

Si:

☐ Tomar muestra de aceite y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso).

No:

 **Decisión 2:** ¿Se encontró rastros de refrigerante en el aceite?

Flujos

Si:

☐ Seguir cazafallas de fuga de refrigerante interna (3666239 - t022)

 Decisión 9 (Remitirse a este paso)

No:

 **Decisión 3:** Inspeccione visualmente por entradas de tierra en las mangueras y/o ductos, ¿Se encontraron flojas o rotas?

Flujos

Si:

☐ Reemplace las mangueras rotas o defectuosas

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

 **Decisión 4:** ¿Se encuentra el filtro en buenas condiciones (No debe estar con signos de estar sacudido, soplado pliegues abiertos o con la carcasa rota)?

Flujos

Si:

☐ Reemplace el filtro de aire

 Decisión 9 (Remitirse a este paso)

No

 **Decisión 5:** Una vez removido los conductos de admisión, ¿Hay evidencias de entradas de tierra?

Flujos

Si:

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

 **Decisión 6:** El turbo tiene evidencias de tierra o de polvo (inspección de tornillo de montaje, abrazaderas o Impeler), según el criterio (010-033), ¿Hay rastros de desgaste abrasivo en la ruda compresora?

Flujos

Si:

☐ Reemplace o repare el turbo según (010-033)

 Decisión 9 (Remitirse a este paso)

No:

 **Decisión 7:** Inspeccione el CAC por daños de acuerdo al procedimiento (010-027), ¿Se encontraron daños?

Flujos

Si:

☐ Reemplace o repare el CAC (010-027)

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

 **Decisión 8:** ¿Se encontró alguna ruptura o fisura en el tubo de llenado, tapa válvulas, cárter o conexión de la entrada de aire?

Flujos

No:

☐ Reemplace el filtro de aceite (007-013) y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

Si:

☐ Reemplace si es necesario o ajuste de acuerdo a especificaciones: Tapa válvulas (03-011), Conexión de entrada de aire (010-088), cárter (007-025) y/o tubo de llenado de aceite (007-065)

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

 **Decisión 9:** ¿La medida de Blow – by está por fuera de especificaciones de acuerdo con el procedimiento (014-010)?

☐ Aísle el turbo y/o el compresor de acuerdo con el procedimiento (014-010)

 **Decisión 10:** ¿La diferencia en la medida de *Blow – by* cuando el turbocargador o el compresor de aíslan superan el 30%?

Flujos

Si:

☐ Repare o reemplace el turbo y/o compresor según sea necesario

 Fin.

No:

☐ Realice cazafallas de alto blow - by (3666239-t027) e intervenga el motor

 Fin.

 **Decisión 11:** ¿El tubo de desfogue o sello del respiradero tiene altas restricciones o está tapado?

Flujos

No:

☐ Tomar muestra de aceite y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

Si:

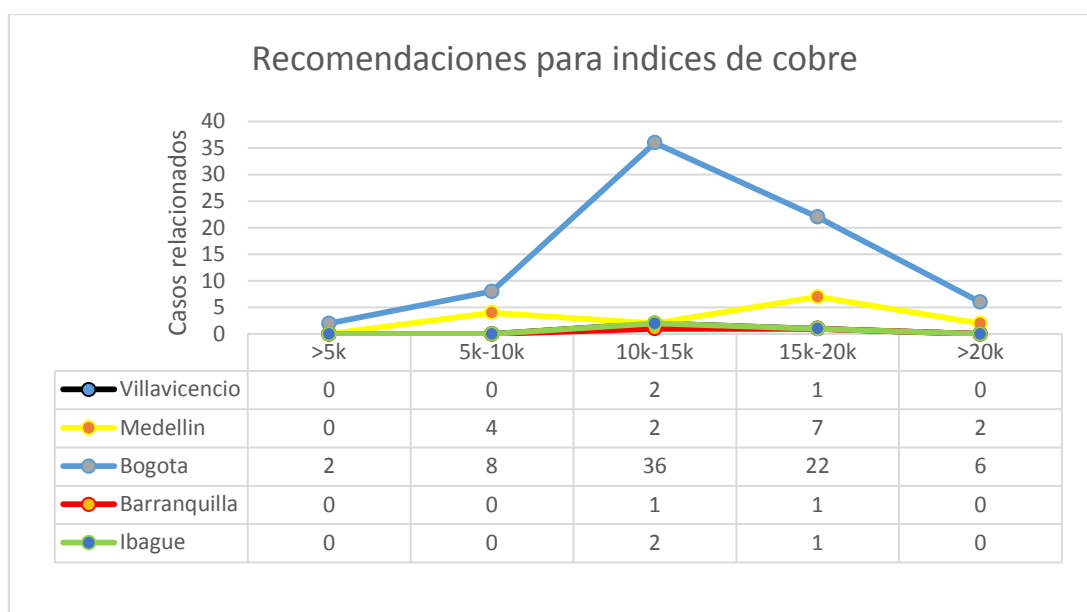
☐ Reemplace el tubo y/o el sello del respiradero del motor.

 Fin.

7.4 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – COBRE (Anexo1)

7.4.1 Sugerencia por índices altos de cobre. En la base de datos se encuentran una serie de incidencias por este tipo de contaminante en el aceite, ya que el nivel de contaminación ha excedido o estado en los límites cercanos al 20 ppm (partes por millón,) de acuerdo a la tabla 5, sobre límites condenatorios para la clase de motor que se está estudiando. A continuación se mostrará la gráfica 10, donde se anota la frecuencia de incidencias del cobre encontrado en el aceite declarado como muestra crítica.

Gráfica 10. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alto índice de cobre en el aceite.

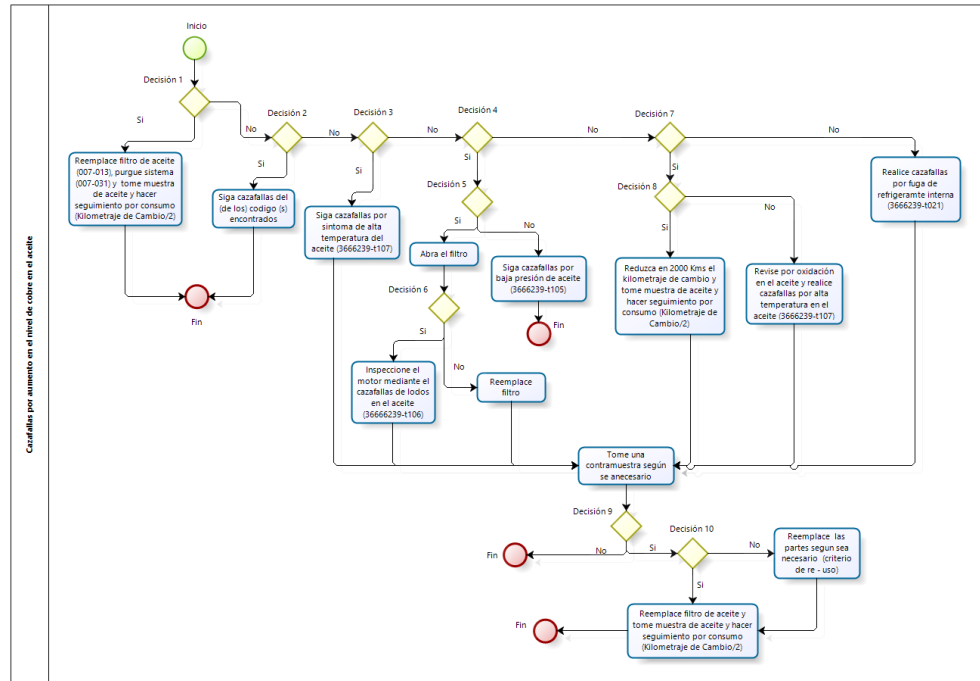


Teniendo en cuenta el kilometraje de cambio de aceite recomendados por el uso y la operación del motor a través de la “Organización Equitel – La Flota” y el manual de uso operación del motor Cummins ISX®, se recomienda en las ciudades de Villavicencio, Ibagué Barranquilla y Bogotá, el uso del cazafallas como medida preventiva entre los 10.000 – 15.000 Kilómetros y en la ciudad de Medellín entre el intervalo de 15.000 – 20.000 Kilómetros; con tal de prolongar la vida útil al aceite.

7.4.2 Cazafallas por aumento en el nivel de cobre en el aceite. Esta estructura de decisión está diseñada para los equipos reportados con el parámetro de contaminación por cobre por fuera de especificaciones determinadas por el criterio del estudio de resultados de análisis de aceite. A continuación se muestra el diagrama (figura 25), utilizar las instrucciones correspondientes que se deben

tomar para cada uno de los casos, dichas instrucciones deben ser acompañadas con el manual de servicio para motores Cummins ISX[®].

Diagrama 4. Estructura de decisión para parámetro de contaminación por cobre.



Pasos a seguir de izquierda a derecha y arriba hacia abajo:

 Inicio

 **Decisión 1:** ¿El motor ha sido reparado últimamente (Parcial o general)?

Flujos

Si:

 Reemplace filtro de aceite (007-013), purgue sistema (007-031) y tome muestra de aceite y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

No:

 **Decisión 2:** A través de inspección con la herramienta INSITE, ¿Se encontraron códigos de falla?

Flujos

Si:

☐ Siga cazafallas del (de los) código (s) encontrados

 Fin.

No:

 **Decisión 3:** A través de la inspección con la herramienta electrónica INSITE, ¿hay códigos de protección por alta temperatura de refrigerante y/o aceite?

Flujos

Si:

☐ Siga cazafallas por síntoma de alta temperatura del aceite (3666239-t107)

☐ Tome una contra muestra según se necesario

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

 **Decisión 4:** A través de la inspección con la herramienta electrónica INSITE, ¿hay códigos de protección por baja presión de aceite?

Flujos

Si:

 **Decisión 5:** ¿La diferencia de presiones en el filtro esta por fuera de especificaciones? ($\Delta P=25$ Psi)

Flujos

Si:

☐ Abra el filtro

 **Decisión 6:** ¿Fue encontrado excesivo hollín?

Flujos

Si:

☐ Inspeccione el motor mediante el cazafallas de lodos en el aceite (36666239-t106)

☐ Tome una contra muestra según se necesario

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

☐ Reemplace filtro

☐ Tome una contra muestra según se necesario

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

☐ Siga cazafallas por baja presión de aceite (3666239-t105)

 Fin.

No:

 **Decisión 7:** ¿Es el nivel de TBN es bajo o acido?

Flujos

Si:

 **Decisión 8:** ¿Los periodos de cambio de aceite son extensos?

Flujos

Si:

☐ Reduzca en 2000 Kms el kilometraje de cambio y tome muestra de aceite y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

☐ Tome una contra muestra según se necesario

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

☐ Revise por oxidación en el aceite y realice cazafallas por alta temperatura en el aceite (3666239-t107)

☐ Tome una contra muestra según se necesario

 **Decisión 9** (Remitirse a este paso)

No:

☐ Realice cazafallas por fuga de refrigerante interna (3666239-t021)

☐ Tome una contra muestra según se necesario

 **Decisión 9:** ¿Los niveles de cobre se mantienen altos o incrementan?

Flujos

No:



Si:



Decisión 10: Inspeccione las siguientes partes:

- Bujes del turbo (010-033)
- Enfriador de aceite (007-003)
- Cojinetes de cigüeñal o bancada (001-066)
- Bujes de los ejes de elevas de inyectores (002-027) y válvulas (002-026)
- ¿Estas partes se encuentran aptas para su re – uso?

Flujos

Si:



Reemplace filtro de aceite y tome muestra de aceite y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)



No:



Reemplace las partes según sea necesario (criterio de re - uso)



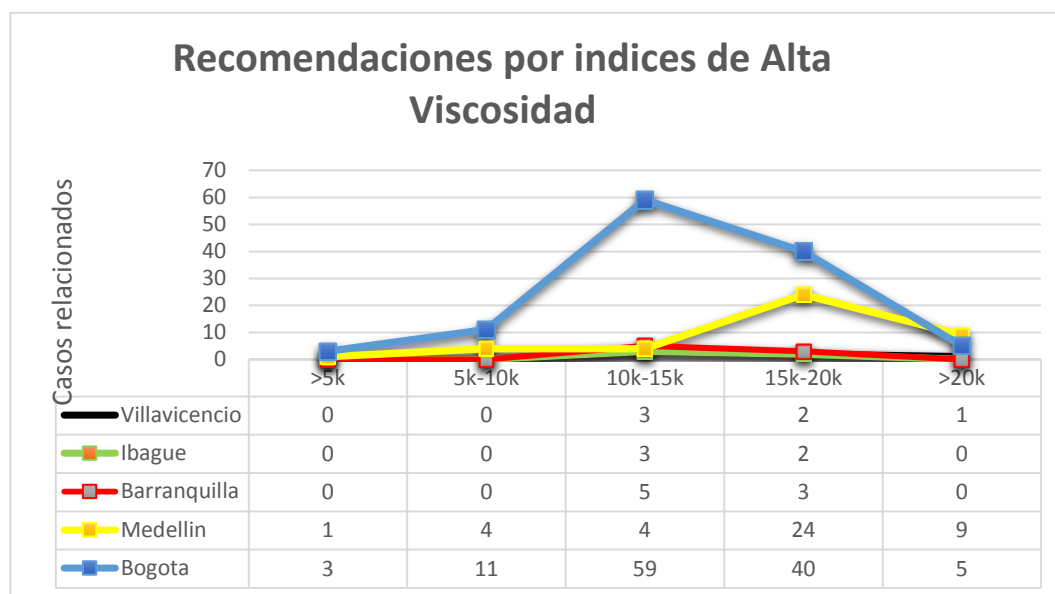
Reemplace filtro de aceite y tome muestra de aceite y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)



7.5 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – ALTA VISCOSIDAD EN EL ACEITE (Anexo 1)

7.5.1 Sugerencia de uso del cazafallas. De acuerdo a las incidencias reportadas se considera hacer una revisión preventiva al motor cuando este supere el índice de viscosidad en el valor de 16.3 de acuerdo a las muestras de aceite analizadas y la información de límites condenatorios (tabla 5) que pudieron alterar la viscosidad del aceite. A continuación se muestra en la gráfica (Gráfica 11), donde es observada la tendencia de las novedades de acuerdo al kilometraje de los equipos registrada en la base de datos usada.

Gráfica 11. Comportamiento de la frecuencia de los casos reportados por alta viscosidad.

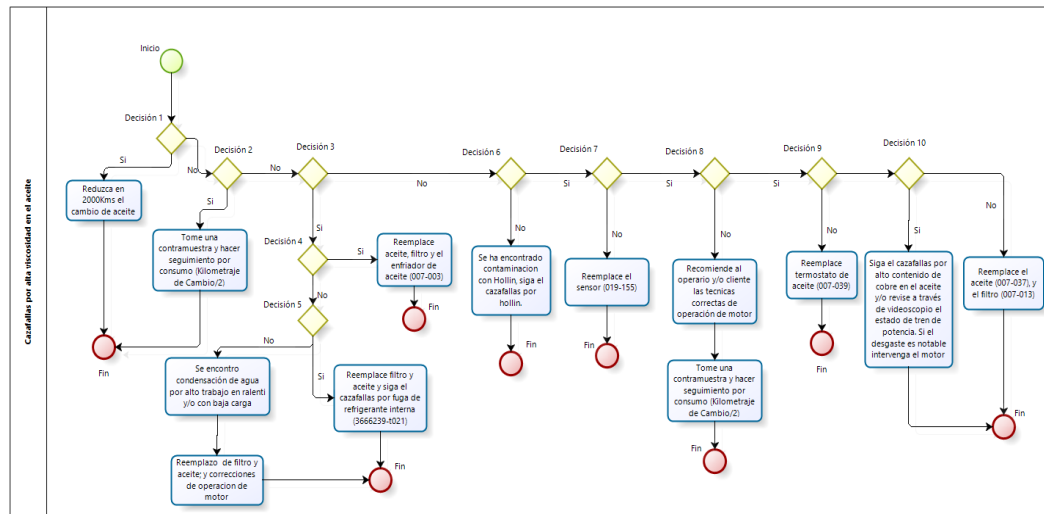


Teniendo en cuenta el kilometraje de cambio de aceite recomendados por el uso y la operación del motor a través de la “Organización Equitel – La Flota” y el manual de uso operación del motor Cummins ISX®, se recomienda en las ciudades de Villavicencio, Ibagué Barranquilla y Bogotá, el uso del cazafallas como medida preventiva entre los 10.000 – 15.000 Kilómetros y en la ciudad de Medellín entre el intervalo de 15.000 – 20.000 Kilómetros; con tal de prolongar la vida útil al aceite.

7.5.2 Cazafallas por alta viscosidad en el aceite. Esta estructura de decisión está diseñada para los equipos reportados con el parámetro de alta viscosidad en el aceite, determinado por el criterio del estudio de resultados de análisis de aceite. A continuación se muestra el diagrama (Figura 26) a utilizar y las

instrucciones correspondientes que se deben tomar para cada uno de los casos, dichas instrucciones deben ser acompañadas con el manual de servicio para motores Cummins ISX[®].

Diagrama 5. Estructura de decisión para parámetro de alta viscosidad en el aceite.



Pasos a seguir de izquierda a derecha y arriba hacia abajo:

 Inicio

 **Decisión 1:** ¿Es el periodo de cambio de aceite extendido de kilometraje?

Flujos

Si:

 Reduzca en 2000Kms el cambio de aceite

 Fin.

No:

 **Decisión 2:** ¿El motor ha sido reparado últimamente (Parcial o general)?

Flujos

Si:

☐ Tome una contramuestra y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

No:

 **Decisión 3:** ¿Según los resultados del análisis de aceite, fue también encontrado rastros de agua en el aceite?

Flujos

Si:

 **Decisión 4:** ¿De acuerdo al procedimiento (007-003) para su re – uso, el enfriador de aceite presenta burbujas?

Flujos

Si:

 **Decisión 5:** ¿A través del procedimiento (014-010), se encontró fugas?

Flujos

No:

☐ Se encontró condensación de agua por alto trabajo en ralentí y/o con baja carga

☐ Reemplazo de filtro y aceite; y correcciones de operación de motor

 Fin.

Si:

☐ Reemplace filtro y aceite y siga el cazafallas por fuga de refrigerante interna (3666239-t021)

☐ Reemplace aceite, filtro y el enfriador de aceite (007-003)

 Fin.

No:

☐ Reemplace aceite, filtro y el enfriador de aceite (007-003)

 Fin.

No:

 **Decisión 6:** Inspeccione el nivel de *Blow – By* en el motor mediante el procedimiento (014-010) y resultado en (018-023), ¿Se encuentra dentro de especificaciones?

Flujos

No:

☐ Se ha encontrado contaminación con Hollín, siga el cazafallas por hollín.

 Fin.

Si:

 **Decisión 7:** Mediante la herramienta INSITE y un manómetro manual revise la presión registrada en el sensor de presión/temperatura del aceite, ¿Las medidas son iguales?

Flujos

No:

☐ Reemplace el sensor (019-155)

 Fin.

Si:

 **Decisión 8:** A través de la inspección con la herramienta electrónica INSITE, ¿hay códigos de protección por alta temperatura de aceite?

Flujos

No:

☐ Recomiende al operario y/o cliente las técnicas correctas de operación de motor

☐ Tome una contramuestra y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

Si:

 **Decisión 9:** ¿El termostato está funcionando adecuadamente (007-039)?

Flujos

No:

☐ Reemplace termostato de aceite (007-039).

 Fin.

Si:



Decisión 10: ¿Los niveles de Cu (Cobre), Fe (Hierro), Cr (Cromo), Pb (Plomo) o Al (Aluminio); se encuentran altos?

Flujos

Si:



Siga el cazafallas por alto contenido de cobre en el aceite y/o revise a través de videoscopio el estado de tren de potencia. Si el desgaste es notable intervenga el motor



Fin.

No:



Reemplace el aceite (007-037), y el filtro (007-013)



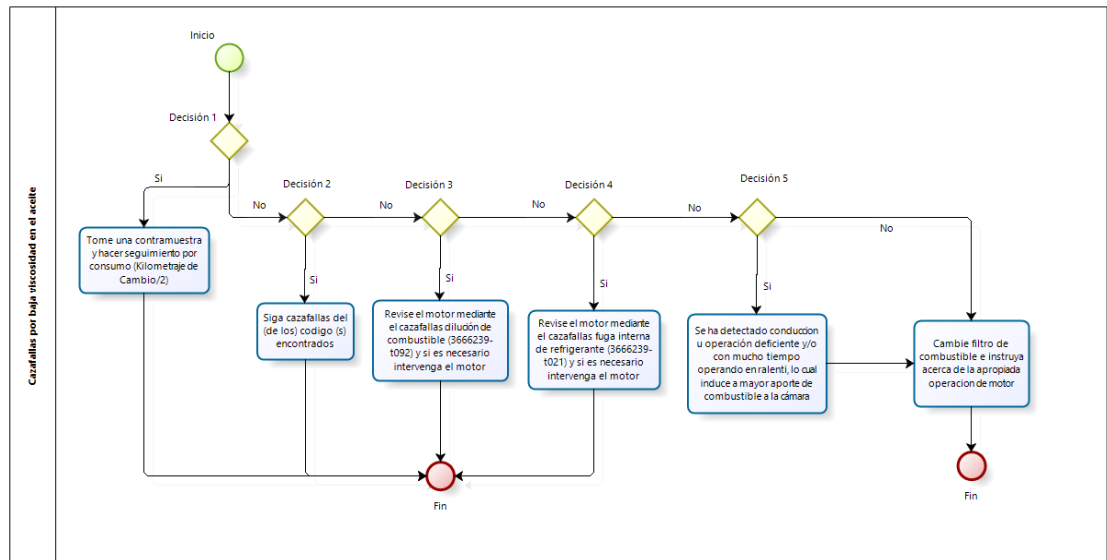
Fin.

7.6 ESTRUCTURA DE DECISIÓN – BAJA VISCOSIDAD EN EL ACEITE (Anexo1)

7.6.1 Sugerencia para el uso del cazafallas. En este punto no hay sugerencias de inspección por kilometraje, ya que este factor se ha mostrado en situaciones aisladas, por lo que la inspección debe manejarse a través del cazafallas en el menor tiempo posible, pues esta incidencia es una de las más destructivas para la estructura original del aceite y en su mayoría de ocasiones es detectado a simple vista por el operador del motor.

7.6.2 Cazafallas por baja viscosidad en el aceite. Esta estructura de decisión está diseñada para los equipos reportados con el parámetro de baja viscosidad en el aceite, determinado por el criterio del estudio de resultados de análisis de aceite. A continuación se muestra el diagrama (Figura 27) utilizando las instrucciones correspondientes que se deben tomar para cada uno de los casos, dichas instrucciones deben ser acompañadas con el manual de servicio para motores Cummins ISX®.

Diagrama 6. Estructura de decisión para parámetro de baja viscosidad en el aceite.



Pasos a seguir de izquierda a derecha y arriba hacia abajo:

 Inicio

 **Decisión 1:** ¿El motor ha sido reparado últimamente (Parcial o general)?

Flujos

Si:

 Tome una contramuestra y hacer seguimiento por consumo (Kilometraje de Cambio/2)

 Fin.

No:

 **Decisión 2:** A través de inspección con la herramienta INSITE, ¿Se encontraron códigos de falla relacionado con el sistema de combustible?

Flujos

Si:

☐ Siga cazafallas del (de los) código (s) encontrados

 Fin.

No:

 **Decisión 3:** ¿Hay rastros de combustible en el aceite?

Flujos

Si:

☐ Revise el motor mediante el cazafallas dilución de combustible (3666239-t092) y si es necesario intervenga el motor

 Fin.

No:

 **Decisión 4:** ¿Hay rastros de agua en el aceite?

Flujos

Si:

☐ Revise el motor mediante el cazafallas fuga interna de refrigerante (3666239-t021) y si es necesario intervenga el motor.

 Fin.

No:

 **Decisión 5:** Mediante la herramienta INSITE revise la información de viaje. ¿El tiempo en ralentí y/o con baja carga fue excesivo?

Flujos

Si:

☐ Se ha detectado conducción u operación deficiente y/o con mucho tiempo operando en ralentí, lo cual induce a mayor aporte de combustible a la cámara.

☐ Cambie filtro de combustible e instruya acerca de la apropiada operación de motor

 Fin.

No:

☐ Cambie filtro de combustible e instruya acerca de la apropiada operación de motor

 Fin.

8. CONCLUSIONES

La objetividad de este proyecto fue desarrollado para proveer una herramienta integral (Cazafallas) que apoye en la prevención, vigilancia y mantenimiento del motor Cummins ISX®, esto dado en la interpretación de informes de aceite. A continuación se exponen las conclusiones de este proyecto:

- Se concluye que el mejor método de recolección de muestras es el método de grifo (acople rápido) ya que las muestras son tomadas en el recorrido que hace el aceite por el motor, no obstante estas deben tomarse en una ubicación antes del filtro de aceite con el fin de lograr el reconocimiento de las partículas retiradas por el aceite de los componentes mecánicos.

- Mediante el estudio de datos, se concluye que una afectación directa al aumento de la viscosidad del aceite, obedece a la contaminación con hollín, debido a las siguientes causas:

- a. El empleo de combustible con porcentajes altos de azufre.

- b. Mezclas ricas en combustible dentro de la cámara de combustión

- c. Holguras demasiado amplias ubicadas en pistón, camisa y anillos; evitando que este se queme en su totalidad y se mezcle con el aceite.

- Del estudio de datos proporcionados por “La Flota” sobre el comportamiento de cada una de las ciudades que hace mantenimiento de fluidos, se concluye que la variación de contaminantes encontrados por ciudad en las muestras obedecen a cambios en los factores climáticos (pisos térmicos), fallas en los sistemas de inyección, operación en carretera por parte del conductor y a los insumos usados (combustible, aceite, filtros, etc.).

- Debido al volumen de ingreso de vehículos a la sede de ‘La Flota’ en Bogotá se hace necesario la implementación de protocolos en un índice mayor que las demás ciudades.

- De acuerdo a la ley 1205 de 2008, de la resolución de minas y energías 180689 de 2010. “El límite máximo de contenido de azufre en el combustible debe ser 50 PPM a partir del 31 de diciembre del 2012”, no obstante de acuerdo a los informes realizados en cuanto a calidad del combustible para el uso de motores diesel (Anexo2), no se está cumpliendo los estándares de porcentaje de azufre dentro del combustible.

- De acuerdo al estudio realizado, se concluye que el rango de kilometraje en condición crítica recomendada para la aplicación de los protocolos en las ciudades de Bogotá, Villavicencio, Ibagué y Barranquilla es de 10.00 a 15000 kilómetros,

mientras que la ciudad de Medellín se recomienda usarla en el rango de 15.000 a 20.000 kilómetros

- Independientemente del método de recolección usado, la muestra de aceite es propensa a la contaminación a causa del polvo en el ambiente, lo que puede significarse un error en la toma, lo que en el informe de aceite podría traducirse en la elevación de contenido de silicio.

- A través del método de Pareto usado en este trabajo, se ayudó en la identificación de los contaminantes potenciales que deben ser considerados como críticos para el motor Cummins ISX, así priorizar las condiciones de uso de los protocolos con tal de evitar las condiciones de contaminación.

- Cabe resaltar que en este proyecto se está dando a conocer una solución para el 79,4% de los contaminantes que contribuyen en la condición crítica en los vehículos con motor Cummins ISX, sin embargo para el 20,6% restante no se implementó un plan de acción para mitigar el daño.

- Los estándares de límites condenatorios usados por “La Flota” son más estrictos en comparación a los recomendados por fábrica, esto con tal de ofrecer al cliente la información oportuna del estado del motor, lo cual lleva a priorizar a los vehículos en condición crítica en un 29,59% con respecto a las recomendaciones que se harían por Cummins Inc.

- Las deficiencia en la filtración de aceite para los motores Cummins ISX genera la potencial contaminación del aceite y por consiguiente el desgaste prematuro del motor.

- Se concluye que el mayor censo a nivel nacional de alteración de las características del aceite dentro del motor Cummins ISX, es la variación de la viscosidad del aceite, seguido por contaminación en el aceite a causa del silicio, cobre y hollín.

- Considerando los resultados del análisis de datos se encontró que en la mayoría de muestras que contenían altos indicadores de silicio en el aceite, también habían indicadores de contaminación con metales de desgaste, de lo cual se puede definir que el silicio al ser un agente de abrasivo, ocasiona que en lapsos muy pequeños de tiempo tome el lugar de la lubricación y quede entre las dos placas de metal ocasionando desgaste entre las piezas.

- La situación donde se muestra mayor desgaste dentro del motor Cummins ISX, es en el periodo de arranque en frío debido a que el contacto por fricción es directa (metal – metal), lo cual da el aumento de partículas de desgaste de metal en el aceite.

- La condición de ralentí dentro de un motor Cummins ISX es más propensa a la contaminación, esto se debe a que el contenido inyectado dentro de la cámara de combustión sea mayor a la necesitada permitiendo el paso de combustible al aceite y contribuya a la degradación anormal del aceite.

- La misión que ha tenido “La Flota” al tratar de llevar a cabo el aumento de la productividad de los clientes, a través de extensiones en cambios de aceite, se ha visto reflejado durante 6 (seis) años de operación mediante monitoreo a los análisis de aceite, lo cual ha hecho que desde enero hasta septiembre del año 2014, se hagan 540 extensiones de cambio a vehículos con motor Cummins ISX, por lo que se ha evitado el desecho de 1.814 galones de aceite hacia el medio ambiente y el uso de 540 filtros (lo que equivale a 27 árboles). Con la implementación de este proyecto a nivel nacional, se pretende reducir el número de vehículos en condición crítica (557 registrados en 2013). Al identificarlos, se vio la necesidad de la creación de este proyecto con tal de reducir la cifra de galones de aceite y filtros ahorrados, tanto para el cliente como para el medio ambiente.

- En la búsqueda de cumplimiento de las responsabilidades adquiridas por parte del cliente, “La Flota” mediante la aplicación de los protocolos de mantenimiento, da cumplimiento a su promesa pactada sobre el aumento de rendimiento del vehículo que hace parte de la flota del cliente, permitiendo que este último cumpla el compromiso con su cliente final, estrechando así lazos de confianza, empatía, honestidad y solidaridad entre la empresa “La Flota”, el cliente y su cliente final, convirtiéndose en aliados del camino.

Los cazafallas presentados en este proyecto solo son para motores Cummins ISX® que no cuenten con sistema de riel común de inyección, es decir, de vehículos modelo 2015 y anteriores. Por lo cual pueden plantearse como un proyecto a futuro.

9. RECOMENDACIONES

- Debido a la gran afluencia del motor Cummins ISX[®] en las flotas de transporte de carga y a la disponibilidad que se requiere, es conveniente implementar los análisis de aceite a todas las unidades que estén equipadas con tal de tomar las acciones pertinentes de acuerdo al estado que se haya encontrado el aceite con tal de no afectar la operación.
- Es recomendado utilizar la información y procedimientos tenidos en cuenta en los manuales de mantenimiento y operación del motor que son entregados a los clientes de los equipos.
- Se recomienda utilizar los cazafallas solamente cuando el motor es utilizado con combustible diesel basado en la legislación Colombiana actual(*Véase Anexo2*).
- Se debe contar con un mantenimiento preventivo local a nivel de inspección de fluidos con los que el motor funciona a diario (cambios de filtro, cambios de fluidos, depuración de contaminantes, entre otros.)
- Aumentar la implementación de estos cazafallas a motores tales como Cummins ISM[®], Cummins ISC[®] y Cummins ISL[®]; con tal de mejorar el rendimiento y la disponibilidad de los equipos sin intervenir a fondo en el vehículo.
- A pesar de que algunas variables que son vistas en el análisis se acerquen al límite condenatorio de contaminación y/o degradación del aceite se recomienda tomar una contra – muestra para evitar inspeccionar el vehículo por errores en la toma de muestras.

BIBLIOGRAFIA

AEROMEXICO. Servicio de Mantenimiento.

AIR FORCE E-PUBLISHING, UNCLASSIFIED FILE. "Joint Oil Analysis Program: Summary of Change".

ALBARRACIN, Pedro. "Análisis de laboratorio a aceites industriales y automotrices SAAU", Tribos - Ingeniería (portafolio de negocios). 2014.

ALFONZO, Wilmer. CBM - Mantenimiento Basado en la Condición. 2014.

AMERICAN PETROLIUM INSTITUTE (API), "El aceite para motor es importante ¿Qué tipo de aceite es el adecuado para usted?". 2014.

ANAC DIAGNOSIS. "Sobre el análisis de aceite". Lyon, Francia.

BRADY, Robert. Manual moderno de tecnología diesel. Traducido por Salvador González. México. Prentice-Hall Hispanoamérica. 1997.

CÁMARA ARGENTINA DE LUBRICANTES. Clasificación de los lubricantes. Buenos Aires, Argentina. 2014.

CATEDRA. Imagen de motor Cummins ISX®.

CATERPILLAR, SOS SERVICE. "Ask to the expert".

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES Y NORMAS DE CALIDAD EN LOS ACEITES. 2014.

CORTÉS, Juan. Comp. "Interpretación de análisis de aceite usado" [diapositivas]. Cummins Chile. 2007.

CUMMINS INC. "Manual de servicio Cummins para motores ISX (3666239)". Información no disponible al público.

CUMMINS ENGINE COMPANY, INC. Diagnosis of engine lubricant system. Inventores: David L. Reid, Dennis O. Taylor. 1982. Número de publicación: US4311041 A.

DOUG, Hillary, "Used oil analysis". Revista: 'Bob is the oil guy'.

ESSOMOBILBORUR. "Aceite sintéticos vs convencionales". 2014.

EXXON MOBIL, “Grados de viscosidad del aceite”.

FIDENA. Apuntes sobre lubricación. 2014.

FORERO, Carlos y MARTINEZ, Julián. Informes técnicos sobre diagnósticos de falla (Cummins de los Andes S.A). Información no disponible al público.

FRANCO, Irene. “Mantenimiento predictivo”. 2014.

GONZALEZ, Francisco. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Madrid. Fundación Confemetal. 2005. 575 p.

HIGGINS, Lindley. Maintenance engineering handbook. 6th Ed. New York, Editorial McGraw-Hill. 2002. 1.297 p.

HINES, William. Probabilidad y estadística para ingeniería. Traducido por Gabriel Nagore y Ana García. 3 Edición. México. Compañía Editorial Continental. 2005. 780 p.

HYUNDAI MOTOR COMPANY, KOREA, REPUBLIC OF. Method and system for measuring engine oil deterioration. Inventores: Hyundai Motor Company, Korea Research Institute Of Chemical Technology. 2014. Número de publicación: US8752415 B2.

ISX/QSX CM570 ENGINE QUALIFICATIONS TRAINING. Familiarización. Cummins de los Andes. Bogotá. Colombia. 2014.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE FLUIDOS (S.O.S). Portfolio de servicios, División de Minería. Gecolsa. Barranquilla. Atlántico. 2012.

LUFTHANSA. LABORATORY SERVICES. “Aircraft fluid monitoring”.

MARTINEZ, Ciro. Estadística y muestreo. 13^a. Edición. Bogotá D.C. Ecoe Ediciones. 2012. 874 p.

MASTERKUSH, “Sistema Tribológico”. 2014.

MIRAS, J. Imagen de extracción de aceite de un transformador.

MOBIL DISTRIBUTOR. “Interpretación de análisis de aceite”. Información basado en diapositivas. Publicado por “ferrari.edgardo646”. 2014.

NORIA. “Lo que se debe y no se debe hacer al tomar muestras de aceite”. 2014.

ORGANIZACIÓN EQUITEL S.A. Información restringida. 2014

POBLACIÓN DE MOTORES CUMMINS ISX. Cummins de los Andes. Bogotá D.C. Septiembre de 2013.

POLEY, Jack; MURPHY, Michel. "The History of Oil Analysis". Revista Machinery Lubrication. 2013.

PUBLICAMIÓN. "Preocupante disminución en el registro de vehículos pesados". Se destacaron la población de tractocamiones de marcas Kenworth® e International® portadores de motores Cummins ISX®.

QUESNEL, Bill. "Getting Started: Lay the groundwork for an oil analysis program". Revista "Planteng Ineering & Maintenance". 2013.

SALINAS, Oscar. "Motor Cummins ISX Un Aliado En El Transporte".

SIMS, Jerry. Land line magazine. "Using Oil analysis as a predictive tool to get longer life out of your engine". 2010.

SMITH, Mark. "Fundamentos del análisis del aceite". Información en texto. publicado por Rubilar, Cristian. 2013.

STOCK UNION CANARIAS, "Normas ACEA calidad de lubricantes".

TIPOS DE LUBRICANTES. Diferencias. 2014.

TORMOS, Bernardo. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Barcelona. Editorial Reverté. 2005. 373 p.

TORRES, Erick. "Tribología y lubricación". Información en texto. 2014.

TOTAL LUBRICANTES. PARTNERSHIPS,

TRUJILLO, Roberto. "Fortalezas y debilidades del programa de análisis de aceite". Revista "Con mantenimiento productivo". Artículo Febrero–Marzo. 2012.

U.S ARMY MACHINERY. "*Army's Oil Analysis Program Saves money, Protect Personal*". Lubrication Magazine.

VOLKSWAGEN AG. Method and device for monitoring and/or determining motor oil quality. Inventores: Detlef Pickert, Volker Schumacher, Harald Sölter, Martin Völtz. 2004. Número de publicación: US6732572 B1.

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT. Analyse for better planning.

WANG, Lian Hai and XU, Sheng. Explore of the Cause of the Damage of Crosshead Guide of 5S50MC-C Diesel Engine. Advance Materials research, volumen 616 – 618. 2012.

WANG, W. and ZHANG, W. A model to predict the residual life of aircraft engines based upon oil analysis data. Naval Research Logistics. 2005. 52: 276–284 p.

www.publicamion.com.co/noticias/runt_2013_1.html

<http://www.pem-mag.com/Features/Getting-Started-Lay-the-groundwork-for-an-oil-analysis-program.html>.

www.redjbm.com/catedra/index.php/tecnologia/74-motor-cummins-isx-un-aliado-en-el-transporte.

<http://www.scientific.net/AMR.616-618.569>

www.pedroalbarracinaguillon.com/inicio/imagenes/files/servicios/ANALISIS-DE-ACEITES.PDF

<http://mantipi.blogspot.com/>

http://www.api.org/certification-programs/engine-oil-diesel-exhaust-fluid/-/media/file/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publication/Enfine-Oil-Guide_Spanis-3Q2012.ashx

http://www.anac-diagnosis.com/Lub/lubanac.nsf/VS_opm/b8e4399e180C8095C12571D10032B11F?OpenDocument

<http://www.redjbm.com/catedra/images/sem20131/motorcummins.JPG>

www.cal.org.ar/clasificación.pdf

http://www.lubricantes.elf.com/Es/eself.nsf/VS_OPM/DD87477D4C7F7F1BC1256EE500477843?OpenDocument

<http://www.essomobilborur.com/files/06-Sinteticos%20Vs%20Minerales.pdf>

<http://www.essomobiborur.com/files/05-GRados%20de%20Viscosidad-20Miltigrados.pdf>.

http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/MAQUINAS/Lubricacion_Libro%20de%20Tribologia%20y%20Lubricantes.pdf

<http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistema-Tribologico/4288546.html>

<http://www.jcmiras.net/jcm2/wp-content/uploads/2008/transformer-oil-samplin.jpg>

<http://es.scribd.com/doc/61231350/Interpretacion-Analisis-de-Aceite-Mobil>

http://www.noria.mx/nla/index.php?option=com_content&view=article&id=434&Itemid=73

<http://es.scribd.com/doc/447726140/FUNDAMENTOS-DEL-ANALISIS-DE-ACEITE>

<http://tratamientosparamotores.com/normas-de-calidad-acea-y-apis-en-los-aceites>

<http://www.tiposde.org/general/398-tipos-de-lubricantes/>

<http://es.scribd.com/doc/13318734/TRIBOLOGIA-Y-LUBRICACION>

<http://www.conmentenimiento.com.mx/component/content/article/1-ultimas/92-articulo-febrero-marzo-2012>

<http://www.machinerylubrication.com/Read/1113/history-of-oil-analysis>

<http://www.machinerylubrication.com/Read/2468/oil-analysis-program-saves-money>

http://www.apd.army.mil/jw2/xmldemo/r700_132/main.asp

<http://www.bobistheoilguy.com/used-oil-analysis/>

<http://www.lufthansa-technik.com/documents/100446/101443/Data+sheet+Air+crafft+Fluid.pdf>

<http://aeromexico.com/co/conocenos/acerca-de-aeromexico/mantenimiento/mantenimiento.html>

http://www.cat.com/en_US/support/maintenance/sos-services/videos.html

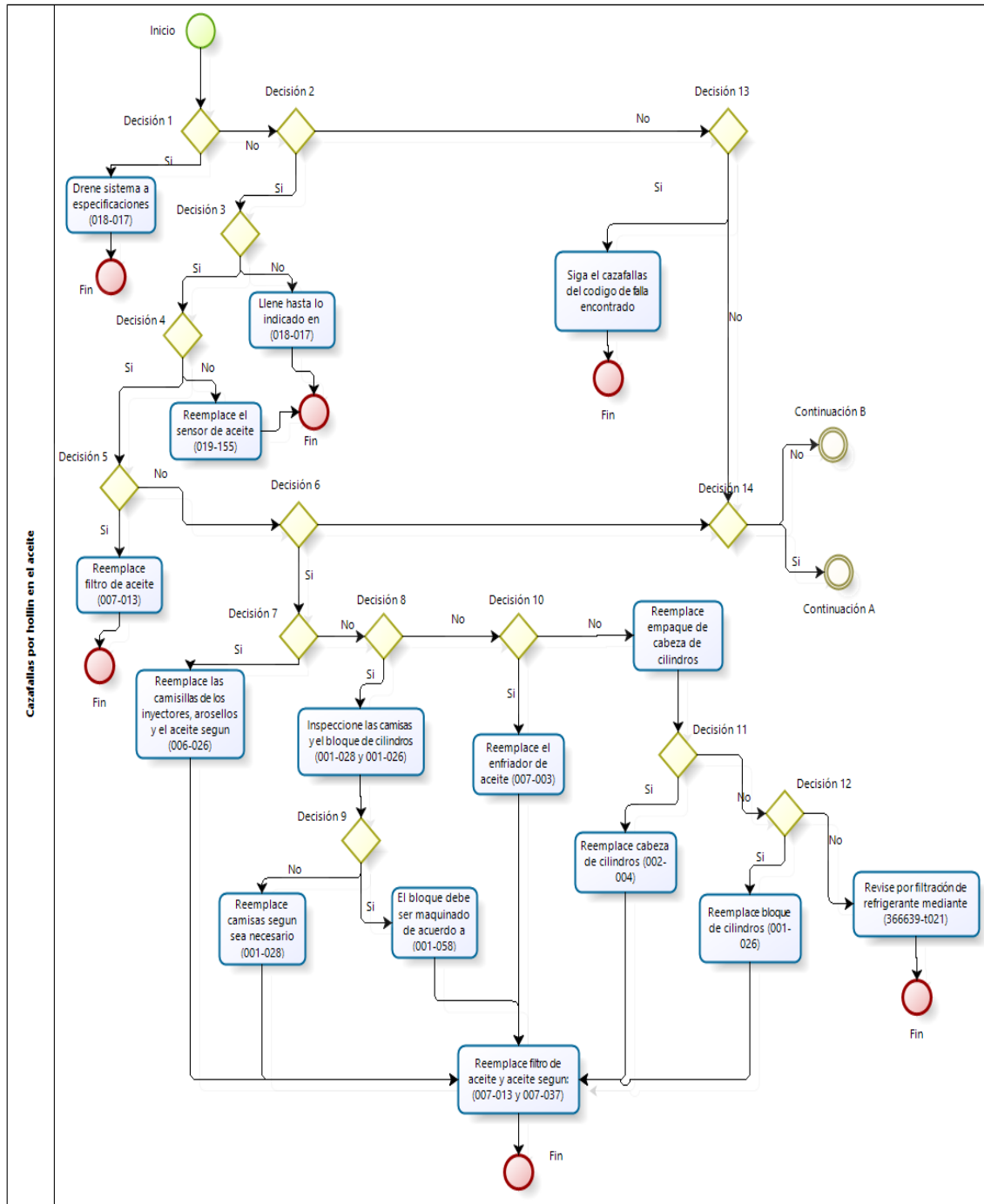
<http://www.volvoce.com/dealers/en-gb/vcegb/partsservice/lubricants/Pages/oillanalysis.aspx>

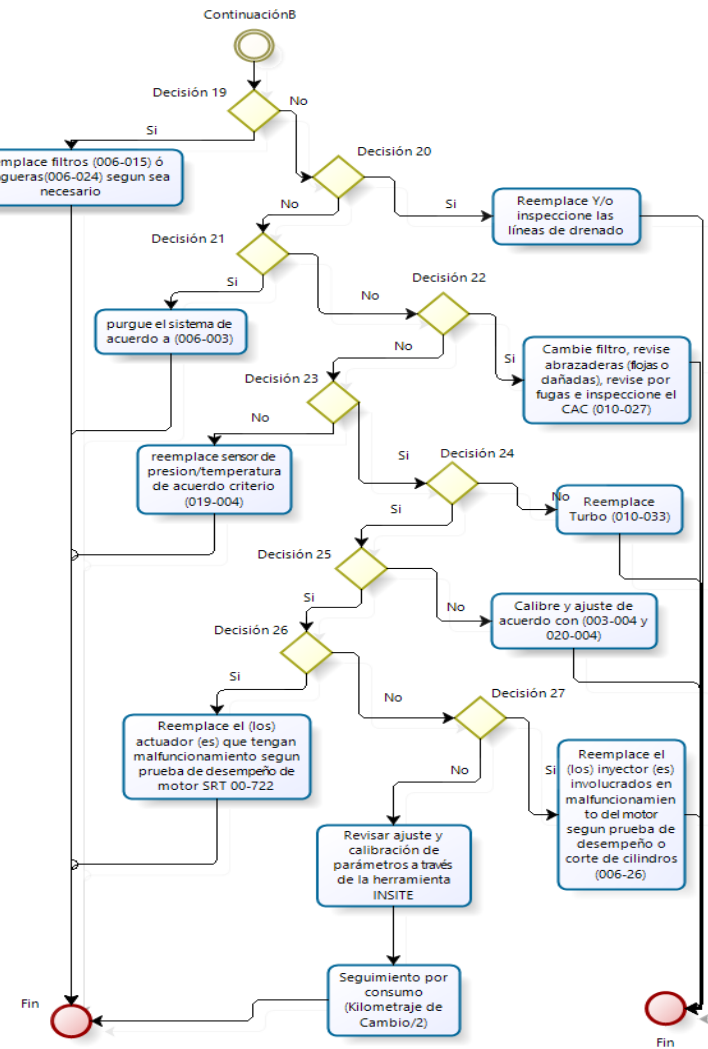
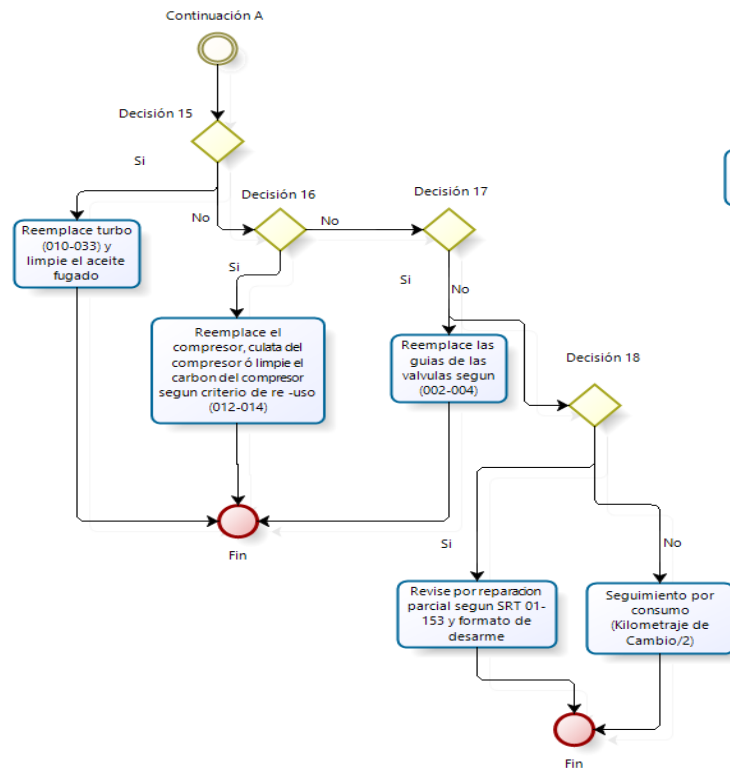
<http://www.landlinemag.com/Magazine/2010/May/BottomLine/Oil-analysis.aspx>

<http://www.lubricants.total.com/partnerships/automotive-partnerships.html>

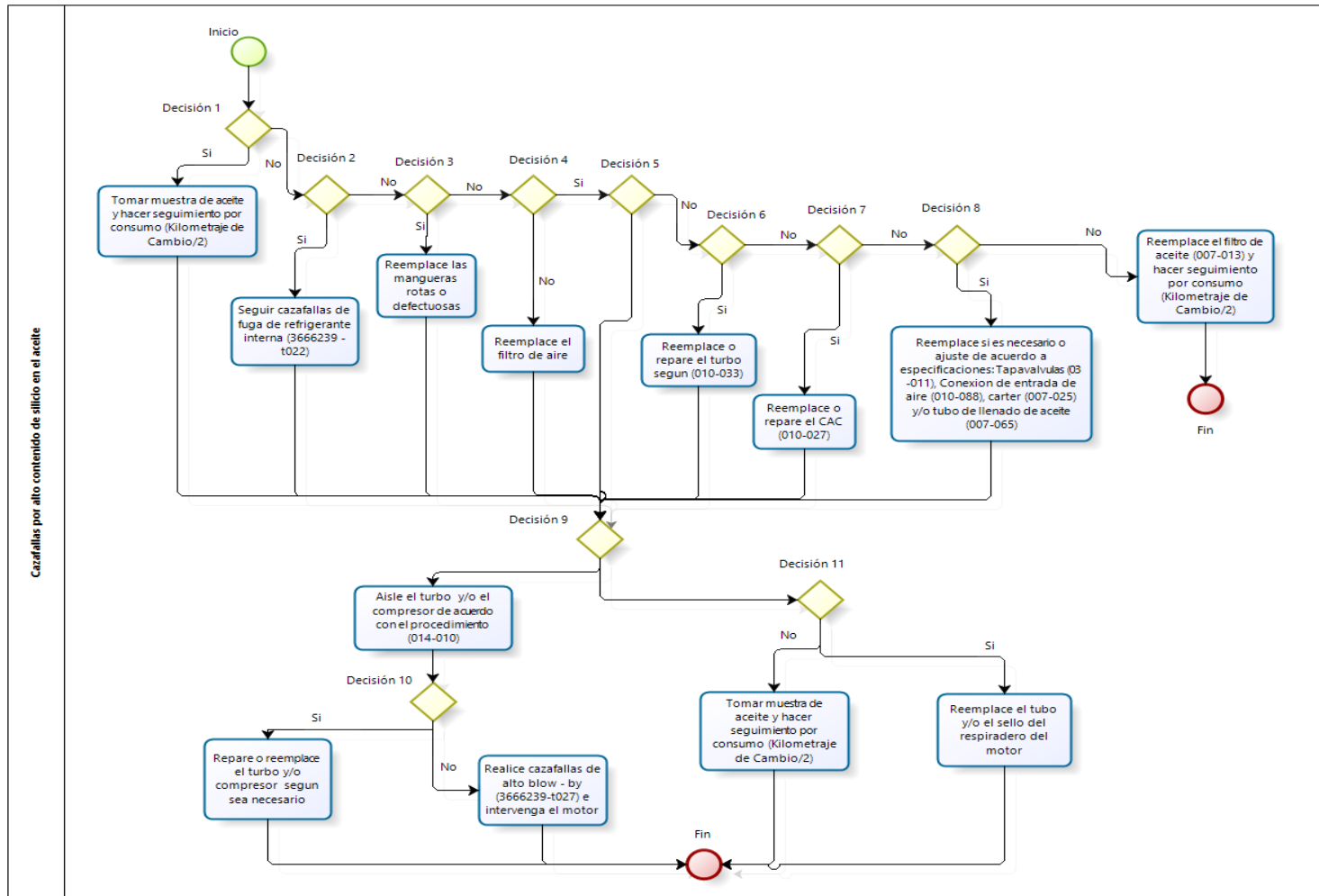
ANEXOS

ANEXO 1 CAZAFALLAS POR ALTO ÍNDICE DE HOLLÍN

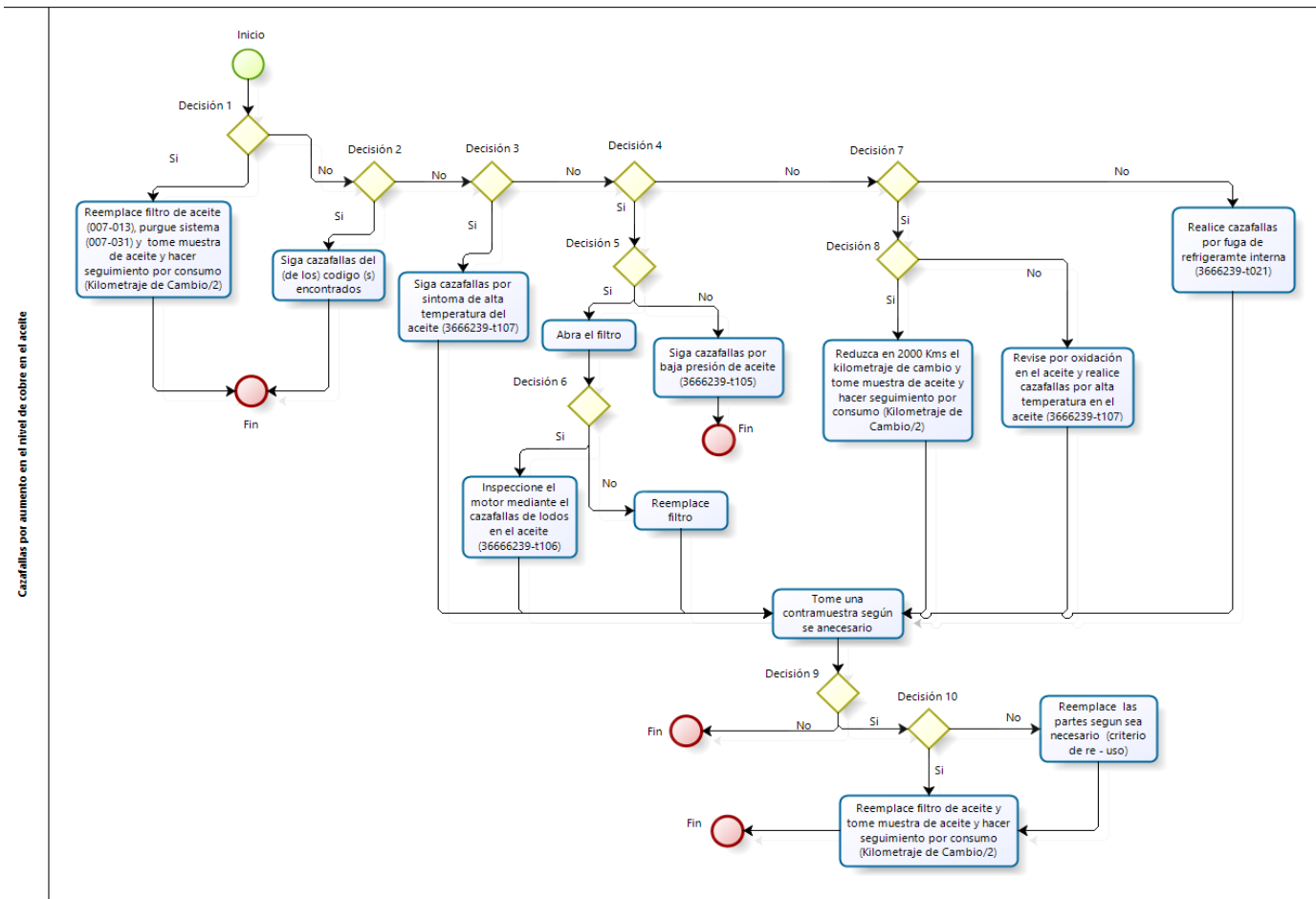


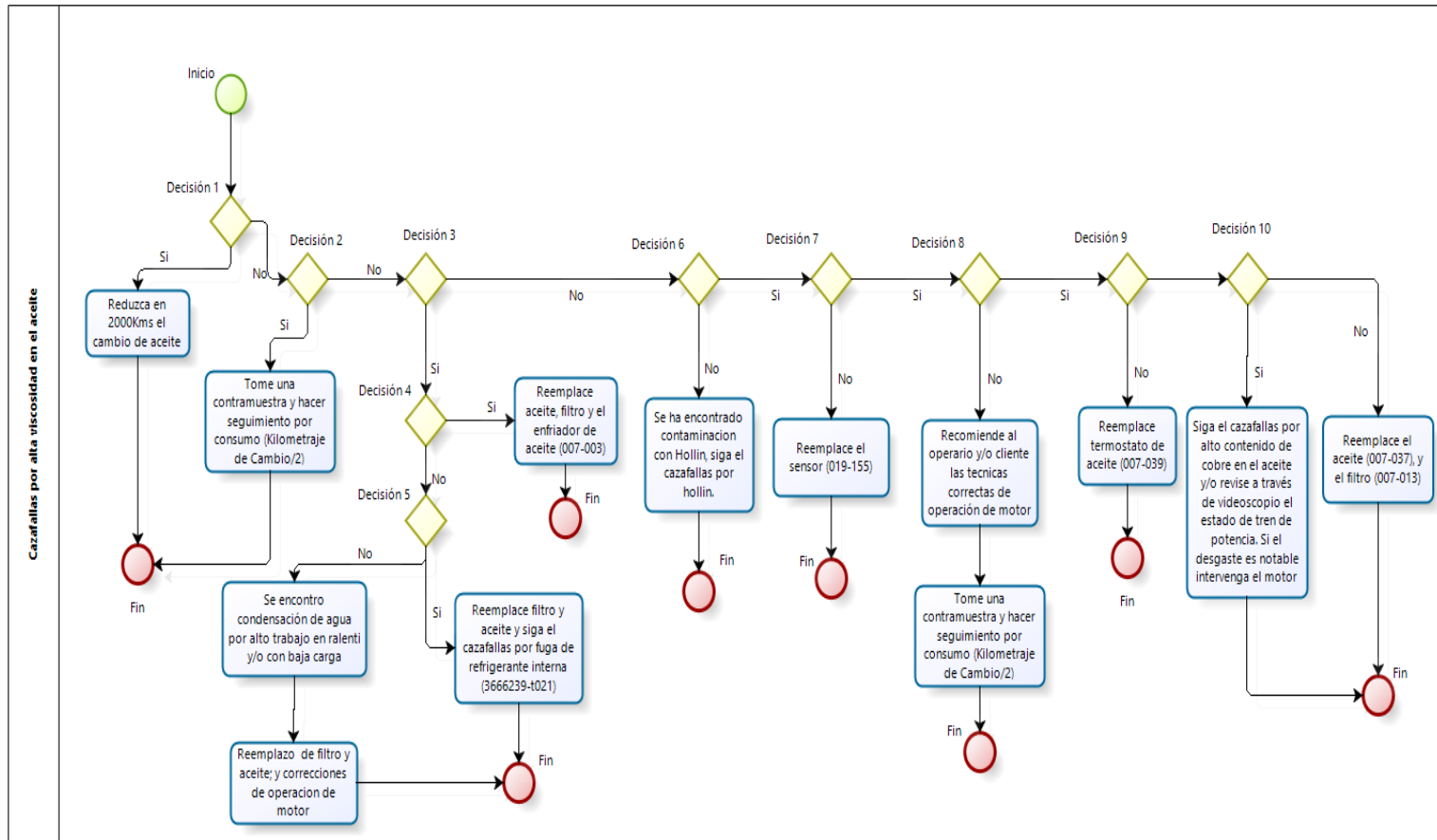


- Cazafallas por alto índice de Silicio

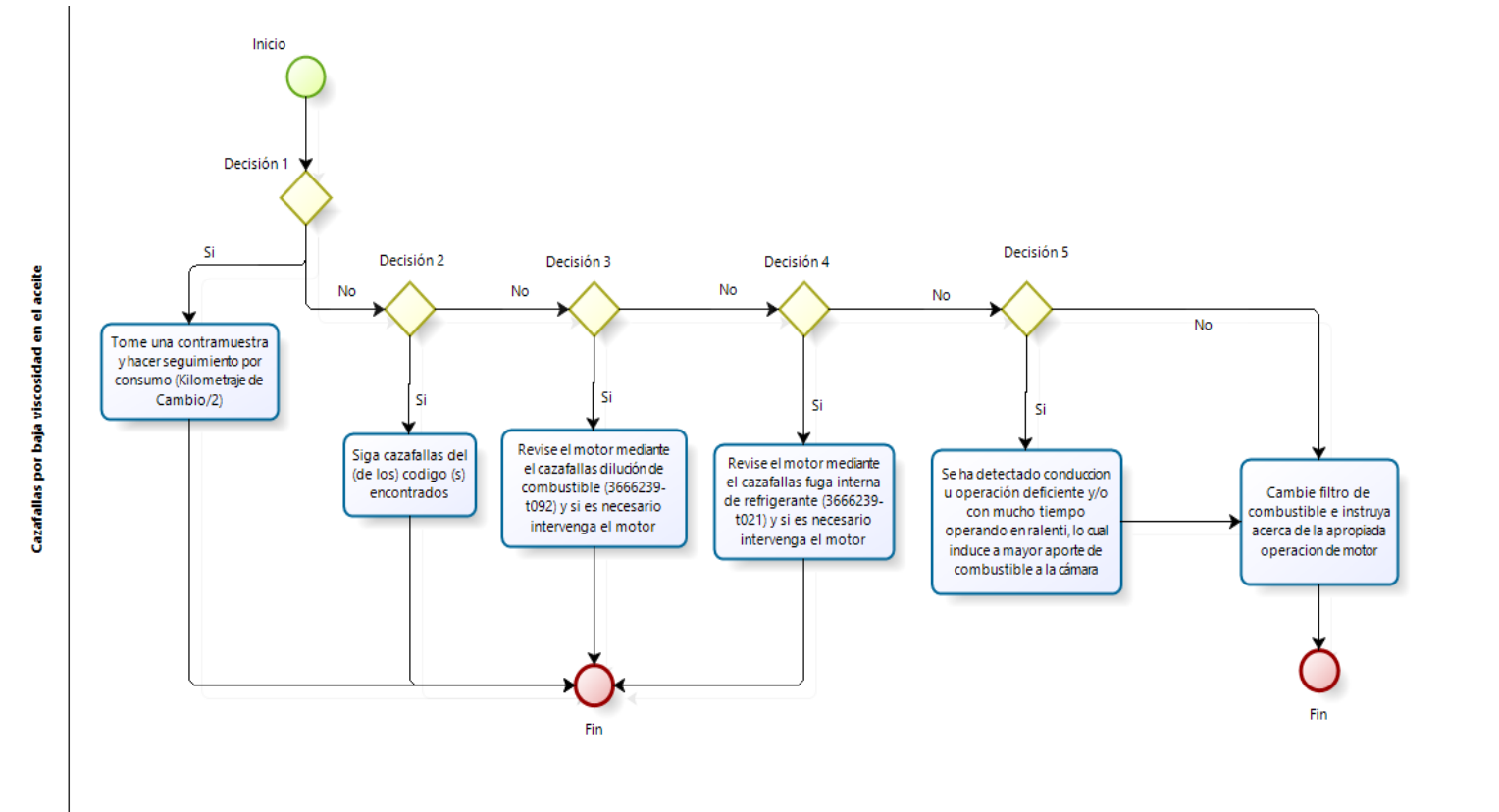


- Cazafallas por alto índice de cobre.





- Cazafallas por bajo índice de viscosidad.



ANEXO 2



BOGOTÁ D.C. Sede Occidente. Av Ciudad de Cali # 11 - 22 Tel. (1) 294 84 44
BOGOTÁ D.C. Sede Norte. Calle 82 # 9 - 25 Tel. (1) 257 26 68
MEDELLÍN Cra 52 # 10 - 184 Tel. (4) 255 42 00
BARRANQUILLA Calle 110 # 4 - 76 Tel. (5) 385 23 61
IBAGUÉ Glorieta Mirolindo Via Bogotá Tel. (8) 269 05 73 / 69 / 70
VILLAVICENCIO Via Catama. Entrada Barrio Manantial. Tel. (8) 684 98 44 / 77 / 79 / 81

ORGANIZACIÓN EQUITEL 

FECHA: 08/04/2014.

EMPRESA: CIMMUNS INC.

EQUIPO: N.A.

ACTIVIDAD REALIZADA: Verificación de características de combustible en Medellín, Ibagué, Barranquilla, Villavicencio y Bogotá.

1. INTRODUCCIÓN.

Este informe tiene como objetivo documentar el resultado de los análisis realizados a cinco muestras de combustibles tomadas en Barranquilla, Medellín, Ibagué, Bogotá y Villavicencio, con este análisis se busca establecer la calidad del combustible en cada una de estas ciudades.

Para definir la calidad se verifica:

- Porcentaje de agua por KARL FISCHER.
- Conteo de partículas con norma ISO 4406.
- Concentración de biodiesel con norma ASTM D-7371.
- Contenido de Azufre con norma ASTM D-4294.

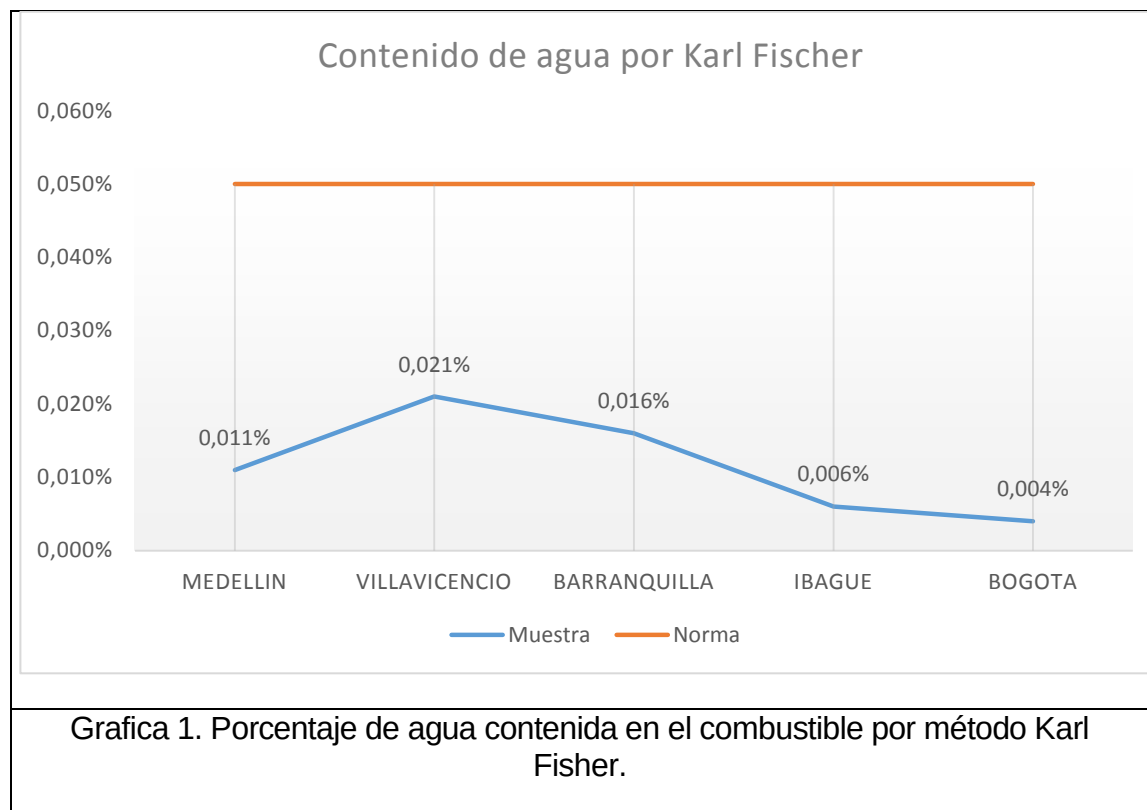
Relación de muestras por ciudad, estación y cantidad en volumen de muestra examinada.

Ciudad.	Estación de servicio.	Cantidad de muestra.	Observaciones.
Medellín	XXXXX	1 Galón	Muestra tomada del dispensador de combustible.
Villavicencio	XXXXX	1 Galón	Muestra tomada del dispensador de combustible.
Barranquilla	XXXXX	1 Galón	Muestra tomada del dispensador de combustible.

Ibagué	XXXXX	1 Galón	Muestra tomada del dispensador de combustible.
Bogotá	XXXXX	1 Galón	Muestra tomada del dispensador de combustible.

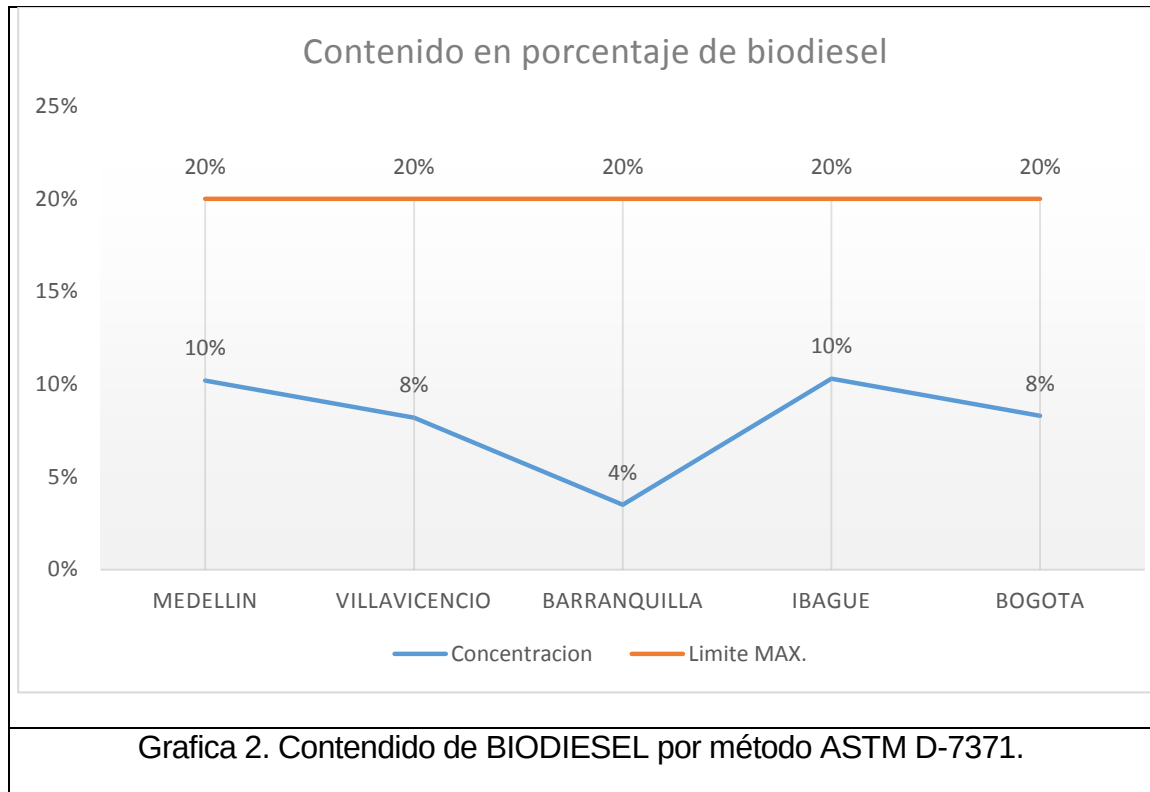
2. RESULTADOS DE LABORATORIO.

- Según la **RESOLUCIÓN No. 180782 DE MAYO 30 DE 2007** resuelve que el límite máximo es de 0,05 % en el volumen total de agua que se debe encontrar en los tanques de almacenamiento de combustible a nivel nacional.



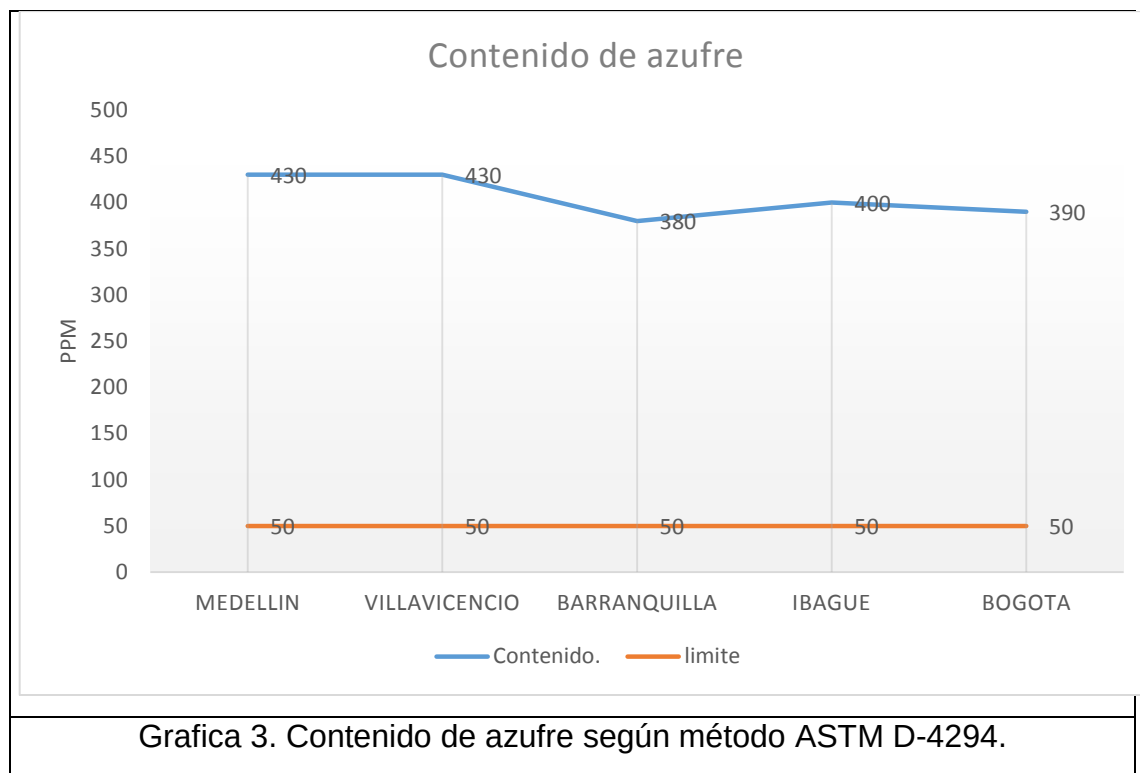
Los datos arrojados por el laboratorio, muestran el porcentaje de agua dentro de los parámetros establecidos en la resolución.

- Para esta prueba se toma como límite máximo el 20% en el contenido de biodiesel, con el cual CUMMINS INC tiene establecido para la operación de sus equipos.



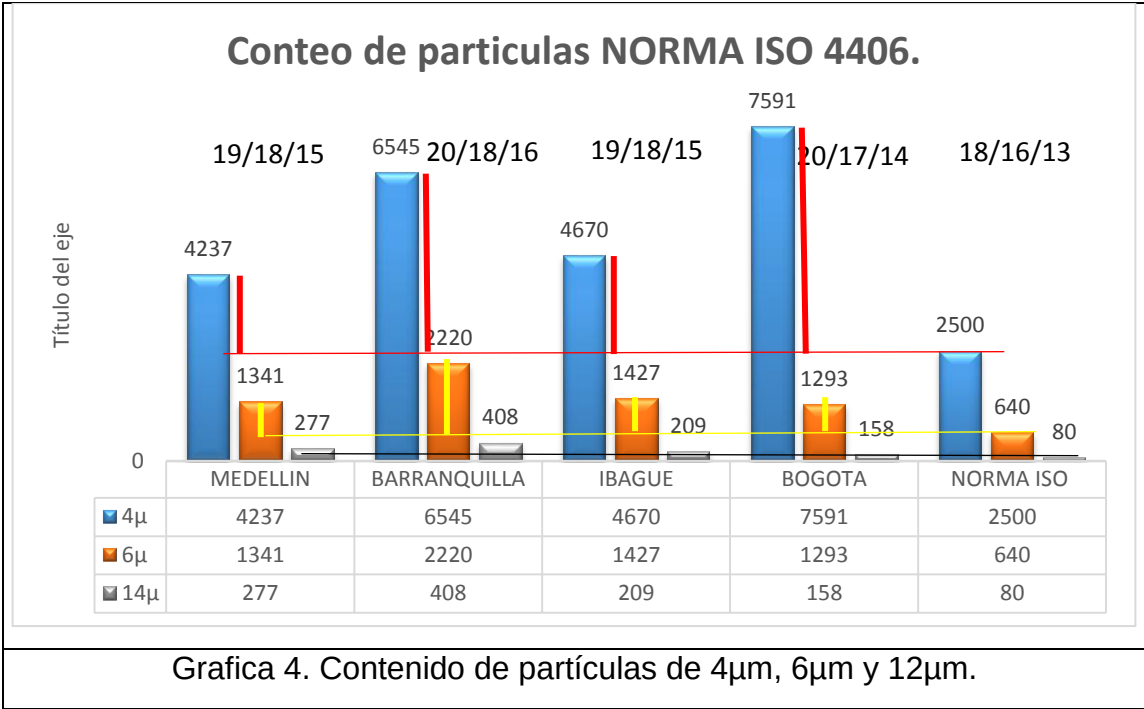
Los resultados de esta prueba muestran las que el porcentaje de biodiesel se encuentra dentro de los parámetros establecidos por CUMMINS INC.

- Según la ley 1205 de 2008. De la resolución de minas y energías 180689 de 2010. EL límite máximo es de 50 PPM a partir de 31 de diciembre de 2012 en el contenido de azufre.



Los datos obtenidos en esta prueba muestran el contenido en partes por millón de azufre por fuera de las especificaciones técnicas.

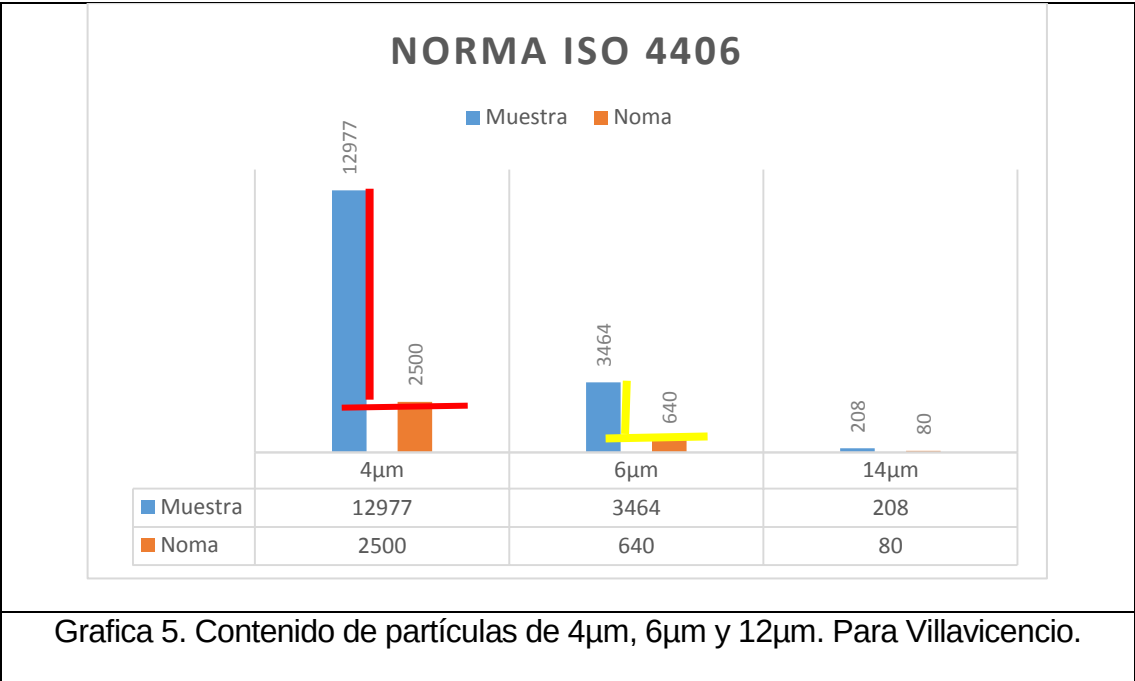
- Según la norma ISO 4406 para almacenamiento de combustible se debe cumplir la norma 18/16/13. Donde hace referencia a la cantidad de partículas contenidas en el combustible.



El resultado de este análisis en las muestras de Medellín, Barranquilla, Ibagué y Bogotá, se encuentran por fuera de las especificaciones mínimas.

La línea roja muestra la diferencia entre el límite permitido y lo encontrado en las muestras después de realizar el conteo de partículas para 4µm.

La línea amarilla muestra la diferencia entre el límite permitido y lo encontrado en las muestras después de realizar el conteo de partículas para 6µm.



Los resultados de este análisis muestran que Villavicencio no cumple las especificaciones según las norma.

La línea roja muestra la diferencia entre el límite permitido y lo encontrado en las muestras después de realizar el conteo de partículas para 4µm.

La línea amarilla muestra la diferencia entre el límite permitido y lo encontrado en las muestras después de realizar el conteo de partículas para 6µm.

3. OBSERVACIONES.

- Los resultados del análisis realizado con el método de KARL FISCHER, con fin de verificar el porcentaje de agua muestra que todas las ciudades se encuentran dentro de los parámetros establecidos.
- El resultado del análisis realizado por el método ASTM D-7371, con fin de verificar el porcentaje de BIODIESEL, muestra que todas las ciudades se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

- El resultado del análisis realizado por el método ASTM D-4294, con fin de verificar el porcentaje de azufre, muestra que todas las ciudades se encuentran por fuera de los parámetros establecidos.
- Se establece que las condiciones del combustible analizado no cumplen con los requerimiento mínimos de las normas nacionales y la norma ISO 4406.
- El combustible a pesar que cumple los parámetros de porcentaje de agua y biodiesel no se encuentra en condiciones para ser utilizado en motor diesel en Colombia.